

Educação e Competências para o Futuro **Hidrogênio Verde**



Executado por:



Em parceria com:



EDUCAÇÃO E COMPETÊNCIAS PARA O FUTURO

HIDROGÊNIO VERDE

Executado por:



Em parceria com:



CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA | CNI

Presidente

Antonio Ricardo Alvarez Alban

Vice-Presidentes Executivos

Josué Christiano Gomes da Silva

José Ricardo Montenegro Cavalcante

Jamal Jorge Bittar

Antonio Carlos da Silva

Gilberto Porcello Petry

Vice-Presidentes

Eduardo Eugênio Gouvea Vieira

Mario Cezar de Aguiar

Carlos Valter Martins Pedro

Ricardo Essinger

Flávio Roscoe Nogueira

Silvio César Pereira Rangel

Amaro Sales de Araújo

Marcelo Thomé da Silva de Almeida

José Carlos Lyra de Andrade

Sérgio Marcolino Longen

José Conrado Azevedo Santos

Leonardo Souza Rogerio de Castro

1º Diretoria Financeira

Cristhine Samorin

2º Diretoria Financeira

Eduardo Prado de Oliveira

3º Diretoria Financeira

Francisco de Assis Benevides Gadel

1ª Diretor-Secretário

Sandro da Mabel Antonio Scodro

2ª Diretor-Secretário

Edilson Baldez das Neves

3ª Diretor-Secretário

Roberto Magno Martins Pires

Diretores

Antonio Jose de Moraes Souza Filho

Izabel Cristina Ferreira Itikawa

José Adriano Ribeiro Da Silva

Luiz Cesio de Souza Caetano Alves

Jorge Alberto Vieira Studart Gomes

Roberto Pinto Serquiz Elias

José Henrique Nunes Barreto

Paulo Afonso Ferreira

Gilberto Ribeiro

Jandir José Milan

Gilberto Seleme

Alessandro Jose Rios de Carvalho

Jorge Wicks Corte Real

Alexandre Herculano Coelho de Souza Furlan

Edson Luiz Campagnolo

Conselho Fiscal

Membros Titulares

Hilton Moraes Lima

Fernando Cirino Gurgel

José da Silva Nogueira Filho

Membros Suplentes

Clerlanio Fernandes de Holanda

Francisco de Sales Alencar

Edmilson Matos Candido

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO CEARÁ | SISTEMA FIEC

Presidente

José Ricardo Montenegro Cavalcante

Primeiro Vice-Presidente

Carlos Prado

Vice-Presidentes

André Montenegro de Holanda

Roseane Oliveira de Medeiros

Jaime Bellicanta

Diretor Administrativo

Luiz Francisco Juaçaba Esteves

Diretor Administrativo Adjunto

Germano Maia Pinto

Diretor Financeiro

Edgar Gadelha Pereira Filho

Diretor Financeiro Adjunto

Carlos Rubens Araújo Alencar

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL | SENAI | DR-CE

Presidente

José Ricardo Montenegro Cavalcante

Diretor Geral

Paulo André de Castro Holanda

SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA | SESI | DR-CE

Presidente

José Ricardo Montenegro Cavalcante

Superintendente Regional

Paulo André de Castro Holanda

INSTITUTO EUVALDO LODI (IEL)

Diretor-Presidente

José Ricardo Montenegro Cavalcante

Superintendente

Danadette Andrade Nunes

SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO | SDE | GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Secretário do Desenvolvimento Econômico

Domingos Filho

Secretário Executivo de Planejamento e Gestão Interna

Rennys Frota

Secretário Executivo do Agronegócio

Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima

Secretária Executiva da Indústria

Brígida Miola

Secretário Executivo de Comércio, Serviços e Inovação

Vicente Ferrer

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO ESTADO DO CEARÁ | ADECE | GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

Diretor Presidente

Danilo Gurgel Serpa

Diretora de Suporte à Infraestrutura e Patrimônio

Liana Cláudia Fujita de Carvalho Rocha

Diretor de Fomento

Luis Eduardo Fontenelle Barros

Diretora de Economia Popular e Solidária

Silvana Maria Parente Neiva Santos

Diretora de Planejamento e Gestão

Maria Inês Cavalcante Studart Menezes

Diretor de Suporte a Negócios

Rafael Aureliano Gonçalves Branco

EXECUÇÃO

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA | CNI

Presidente

Antonio Ricardo Alvarez Alban

*DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL,
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO*

Diretor

Jefferson de Oliveira Gomes

Diretor-Adjunto

Mario Sergio Telles

*SUPERINTENDÊNCIA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL
DA INDÚSTRIA*

Superintendente

Márcio Guerra Amorim

Gerente de Produtos de Inteligência e Rede

Colaborativa

Marcelo Bispo

Coordenadora da Rede Colaborativa

Ellen Felizari

OBSERVATÓRIO DA INDÚSTRIA CEARÁ | SISTEMA FIEC

Economista-Chefe/Gerente

Guilherme Muchale de Araújo

Coordenação Técnica

Mariana de Matos Jerico e Silva

Autores I Observatório da Indústria Ceará

Gabriel Vidal Gaspar

Guilherme Muchale

Simone Sartori

Emilia Cristina Viana Barros

Cibele Mayra Viana Lourenço

*Autores I Fundação de Apoio a Serviços Técnicos,
Ensino e Fomento a Pesquisas I FASTEF*

José de Paula Barros Neto

Michael Santos Duarte

José Cleiton Sousa dos Santos

Francisco Izaías da Silva Aires

Izaías Aires

Raul Lima de Queiroz

Steven Edward Santos Duarte

Coordenação Criativa

Aline Campelo Valente

Revisão Ortográfica

Rejane de Paula Guerreiro

Diagramação

Eric dos Santos Catunda

Joaquim Oliveira

Leilson da Silva Barbosa

Apoio à Gestão

Nathália Duarte Fernandes

Equipe Técnica e de Projetos

Adauto Bezerra Neto

Aline Mota Albuquerque

Ana Kelly da Costa Quinto

Anderson Alcântara Medeiros

Bárbara Nepomuceno Guimarães

Benjamim Girão de Freitas Neto

Camila Almeida Assunção

Camila Pinho Rodrigues

Carla Valeria Reis Frota

Carolina de Sousa Martins Arrais

Cibele Mayra Viana Lourenço

Cíntia Farias de Brito

Claudiana Lira de Souza

Cloves Anderson Mendes Pinho

Davi de Oliveira Saraiva Leão

Dayane Cavalcante Sampaio

Denis Alexandre da Silva

Denise da Fonseca Lucena

Djyllier Garcia da Silva

Eduardo Luiz Gomes

Elandio Cavalcante de Amorim Neto

Emília Cristina Viana Barros

Fernanda Ferreira do Nascimento

Francisco Assuero Monteiro Saraiva

Francisco José Barbosa de Brito Júnior

Francisco José Matos Nogueira Filho

Francisco Sandro Lima Costa Filho

Gabriel Vidal Gaspar

Gladson Rabelo Freitas

Hélio Rocha Vieira de Couto Junior

Indira Ponte Ribeiro

Jessica Leite dos Santos

João Pedro Viana Rodrigues

Josânia Freitas da Cunha

Julia de Albuquerque Cabral

Juliana Lima de Freitas

Julyene Lopes Figueiredo

Larissa Souza da Silva

Laura Meneses de Freitas

Leilson da Silva Barbosa

Lígia Alves Viana

Lucas Emerson Morais da Silveira

Lucas Galante Serafim

Madson Luiz Dantas Dias

Maria Eduarda Saldanha Nogueira de Almeida

Mariana Costa Biermann

Mariana de Matos Jericó e Silva

Mateus Pinheiro de Goes Carneiro

Melissa Marques Pinheiro

Miguel Angelo Vasconcelos Jeremias

Miquéias Silva Araujo

Natália de Castro Medeiros

Nathália Duarte Fernandes

Priscila de Santis Moller de Almeida

Ricardo Garcia Machado Vianna

Rita de Cássia Pinto Gonçalves

Roberto de Paula Aguiar

Rodolfo Finatti

Rubens Bruno Evangelista Gomes

Sanches Franklin Teixeira dos Santos

Sibelle Moreira Goes Costa

Simone Sartori

Sinthya Maria Barbosa Bezerra

Sulaneide Bastos de Souza

Thatianne Santos Xavier Porto

Thiago Noronha Pinto

Tiago Felipe Souza

Vitor Hugo de Goes Sampaio

Wilkerson Carvalho Fernandes

Yuri Timbó Castelo Branco

REALIZAÇÃO

Confederação Nacional da Indústria | CNI

Presidente

Antonio Ricardo Alvarez Alban

Federação das Indústrias do Estado do Ceará | SISTEMA FIEC

Presidente

José Ricardo Montenegro Cavalcante

Serviço Social da Indústria | Departamento Regional do Ceará | SESI-CE

Superintendente Regional

Paulo André de Castro Holanda

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial | Departamento Regional do Ceará | SENAI-CE

Diretor Regional

Paulo André de Castro Holanda

Instituto Euvaldo Lodi | Departamento Regional do Ceará | IEL-CE

Superintendente

Danadette Andrade Nunes

Observatório da Indústria | SISTEMA FIEC

Gerente

Guilherme Muchale

EDUCAÇÃO E COMPETÊNCIAS PARA O FUTURO HIDROGÊNIO VERDE

Observatório da Indústria Sistema FIEC

Economista-Chefe/Gerente
Guilherme Muchale

Coordenação Executiva
Lucas Emerson Moraes da
Silveira

Coordenação Técnica
Mariana de Matos Jerico e Silva

Autores

Gaspar, G. V.;
Muchale, G.;
Sartori, S.;
Viana Barros, E. C.;
Lourenço, C. M. V.;
Barros Neto, J. P.;
Silva Aires, F. I.;
Santos Duarte, M.;
Sousa dos Santos, J. C.;
Santos Duarte, S.E.;
Queiroz, R. L.

FICHA CATALOGRÁFICA

Educação e competências para o futuro [livro eletrônico] : hidrogênio verde. -- 1. ed. --Fortaleza, CE : Federação das Indústrias do Ceará - FIEC : Fundação de Apoio a Serviços Técnicos, Ensino e Fomento a Pesquisas I FASTEF, 2025.
ePub

Vários autores

Bibliografia

ISBN 978-65-89780-17-5

1. Desenvolvimento industrial 2. Economia 3. Energia 4. Futuros
5. Hidrogênio 6. Mudanças climáticas 7. Profissionais 8. Sustentabilidade
9. Transição energética.

25-316703.0

CDD-333.9539

Índices para catálogo sistemático:

1. Fontes energética : Economia 333.9539

Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	12
2. INTRODUÇÃO	17
3. O HIDROGÊNIO VERDE COMO VETOR DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	23
3.1 Papel do H2V na descarbonização	23
3.2 Oportunidades para o Brasil e o Nordeste	25
3.3 Cadeias produtivas e desafios de qualificação profissional	28
3.4 Sinergia com políticas públicas: Nova Indústria Brasil (NIB) e Programas de Hidrogênio	31
3.5 Situação atual da formação no Brasil	34
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
5. RESULTADOS DO PROJETO	41
1. Análise de Risco e da Segurança do Processo de Produção	60
2. Armazenamento e Logística do Hidrogênio e Derivados	62
3. Bioconversão e Soluções Energéticas Naturais	64
4. Cadeia Produtiva do Hidrogênio Verde	66
5. Certificação e Rastreabilidade na Cadeia do Hidrogênio	68
6. Estratégias Climáticas e Governança Sustentável	70
7. Estratégias de Sustentabilidade e Economia Circular para Transição Energética	72
8. Gerenciamento Integrado de Soluções Energéticas Sustentáveis	74
9. Gestão em Processos Termoenergéticos com Hidrogênio	76

Sumário

10. Gestão Financeira da Cadeia de Hidrogênio Verde	78
11. Hidrogênio Verde e demais Combustíveis Derivados	80
12. Inovação para Transição Industrial Sustentável	82
13. Justiça Socioambiental para a Transição Energética	84
14. Manufatura de Equipamentos da Cadeia de Hidrogênio Verde	86
15. Negociações e Alianças Colaborativas para o Hidrogênio	88
16. Operação e Manutenção de Equipamentos	90
17. Processos Eletroquímicos Aplicados	92
18. Projeto, Construção e Montagem de Plantas de Hidrogênio e Derivados	94
19. Regulação na Cadeia Produtiva do Hidrogênio	96
20. Saúde, Segurança e Meio Ambiente na Cadeia do Hidrogênio	98
21. Soluções de Conversão Energética para a Indústria do Hidrogênio	100
22. Soluções Hídricas Sustentáveis para a Transição Energética	102
23. Soluções para Armazenamento Energético	104
24. Tecnologias de Captura, Armazenamento e Utilização de Carbono (CCUS)	106
25. Veículos Sustentáveis e Infraestruturas para Mobilidade a Hidrogênio	108
6. ESPECIALISTAS DO SETOR	110
7. REFERÊNCIAS	114

1. APRESENTAÇÃO



RICARDO CAVALCANTE

Presidente da FIEC

A transição energética global redesenha o futuro, e o Ceará assume seu protagonismo. A consolidação do nosso estado como um Hub de Hidrogênio Verde avança pela força de uma aliança estratégica que une o Sistema FIEC, o Governo do Ceará, nossa academia e as indústrias que impulsionam este novo setor.

Essa publicação, “Educação e Competências para o Futuro”, nasce dessa sinergia. Elaborada com a colaboração de nossas instituições de ensino superior, ela revela o pilar que definirá nosso êxito: o desenvolvimento de capital humano qualificado.

Para que os expressivos investimentos anunciados expressem todo o seu valor transformador, é imperativo que caminhem lado a lado com a qualificação da nossa população. Alinhar a oferta formativa, do nível técnico ao superior, às demandas emergentes da cadeia produtiva de hidrogênio é condição essencial para a sustentabilidade da nossa indústria.

Em plena consonância com o Masterplan do Hidrogênio Verde do Ceará, este mapeamento orienta o alinhamento entre a formação de talentos e as tendências tecnológicas, mercadológicas e socioambientais que estruturam o setor. É dessa maneira que construiremos não apenas o sucesso do Hub, mas um legado duradouro de desenvolvimento sustentável e prosperidade para todos os cearenses.

Que este projeto seja um marco na construção desse novo tempo: o futuro se constrói com educação, e ele começa agora.



DOMINGOS GOMES DE AGUIAR FILHO

Secretário da Secretaria do Desenvolvimento Econômico do Estado (SDE)

A transição energética global encontra no Ceará um de seus pilares. O estado se consolida como referência na produção de Hidrogênio Verde (H₂V), destacando-se pelo pioneirismo em energia renovável, base construída ao longo de décadas com investimentos em eólica e solar.

O Ceará não apenas acompanha, mas lidera a transição energética no Brasil e no mundo. A primeira planta de H₂V do país foi instalada aqui, reforçando nossa vocação para atrair novos investidores. Condições climáticas favoráveis, localização estratégica e infraestrutura robusta fortalecem essa posição.

Outro diferencial é a mão de obra capacitada, resultado de programas como o Projeto H-Tech, que prepara jovens e profissionais para atuar nas indústrias do futuro. Esse investimento em qualificação garante ao Ceará não só energia limpa, mas também empregos de qualidade, inovação tecnológica e um novo ciclo de crescimento industrial.

Sob a gestão visionária do governador Elmano de Freitas, o Ceará reafirma seu compromisso em unir desenvolvimento econômico e sustentabilidade, consolidando-se como protagonista da transição energética global.



FÁBIO FERREIRA FEIJÓ

Presidente da Zona de Processamento de Exportação (ZPE Ceará)

Desde sua fundação, em 2013, a ZPE Ceará tem acreditado firmemente que o desenvolvimento sustentável começa pela educação. A parceria entre Governo do Estado e Sistema FIEC fortalece a formação de competências para a cadeia do Hidrogênio Verde, em sintonia com o propósito da nossa instituição: transformar gerações. Estamos construindo projetos estruturantes no presente, e, com este trabalho, garantiremos as competências dos profissionais do futuro. A adequação da oferta educacional, em todos os níveis, alinhada ao Masterplan de Hidrogênio Verde, é essencial para preparar talentos diante dos desafios tecnológicos e socioambientais, consolidando o Ceará como referência na transição energética.



DANILO SERPA

Presidente da Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará

Para além do crescimento do PIB, a economia cearense vivencia a chegada de grandes investimentos, com a perspectiva de reposicionar o estado no mapa econômico mundial por meio da atração de empresas que reúnem eficiência, inovação e proximidade com mercados estratégicos.

É preciso estar preparado para os frutos que o Ceará vem colhendo após os esforços dos últimos anos. Tendo em vista a importância de qualificar a mão de obra necessária para atender à nova economia, é de suma importância a parceria entre Governo do Ceará, iniciativa privada e academia.

A publicação a seguir tem o objetivo de contribuir para a competitividade industrial, inclusão social e sustentabilidade ambiental do Ceará.

**CUSTÓDIO LUÍS SILVA DE ALMEIDA**

Reitor da Universidade Federal do Ceará (UFC)

É com grande satisfação que a Universidade Federal do Ceará (UFC) participa deste livro, que apresenta os resultados de um trabalho minucioso de levantamento de tendências e perfis profissionais da cadeia produtiva do Hidrogênio Verde.

Esta publicação nasceu da convergência de esforços em torno de um tema que transcende os limites da técnica e da economia, pois diz respeito também à construção de um futuro sustentável e justo. O hidrogênio verde é um vetor energético de alcance global, capaz de transformar nossa matriz energética, impulsionar novos setores produtivos e, sobretudo, abrir horizontes para oportunidades econômicas e sociais. Diante desse cenário, investir em educação e na formação de competências nesta área é necessário e estratégico para o futuro da nação, sendo condição indispensável para que possamos não apenas participar, mas assumir protagonismo nessa transição histórica.

Ao longo da construção desta obra, foram mapeadas tendências relacionadas à cadeia produtiva do hidrogênio verde, identificados perfis profissionais emergentes e levantadas as necessidades de qualificação em diferentes níveis de ensino. O resultado é uma publicação direcionadora da oferta formativa cearense, destinada a apoiar instituições educacionais, setor produtivo e formuladores de políticas públicas na definição de estratégias mais afinadas às exigências do futuro.

Espero que este trabalho contribua para consolidar o Ceará como polo de referência internacional em energias renováveis e hidrogênio verde, fortalecendo, ao mesmo tempo, nossa capacidade de formar recursos humanos críticos, criativos e altamente qualificados. O mapeamento de tendências e competências aqui apresentado não apenas orienta investimentos em educação, pesquisa e inovação, mas também reforça o compromisso coletivo de assegurar que o capital humano acompanhe, em sua dignidade e em sua potência transformadora, a velocidade das mudanças tecnológicas e industriais em curso.

Em nome da Universidade Federal do Ceará, registro meu reconhecimento pelo trabalho desenvolvido em parceria com a FIEC, o Observatório da Indústria do Ceará e a FASTE. Que este esforço conjunto se traduza em novas possibilidades para a juventude, em maior competitividade para o setor produtivo e, sobretudo, em desenvolvimento humano e sustentável para o nosso estado.

2. INTRODUÇÃO

A transição para uma economia de baixo carbono, impulsionada por metas climáticas globais e políticas de descarbonização, está remodelando cadeias produtivas, modelos de negócio e perfis ocupacionais. O Hidrogênio Verde, produzido a partir de fontes renováveis por meio da eletrólise da água, desponta como vetor energético estratégico para essa transição, com potencial de descarbonizar setores de difícil eletrificação, gerar novas cadeias industriais e criar empregos altamente qualificados^{1;2}. Nesse contexto, antecipar e alinhar os perfis profissionais às necessidades futuras da economia do hidrogênio é um imperativo para assegurar competitividade industrial, inclusão social e sustentabilidade ambiental.

Diversos estudos internacionais de *foresight* e prospectiva tecnológica apontam que a adoção massiva do Hidrogênio Verde requer uma força de trabalho capaz de operar em ambientes complexos, com elevada integração entre disciplinas e setores^{2;3;4}. Isso implica não apenas na atualização de currículos e programas de formação técnica e superior, mas também na criação de novos perfis profissionais, capazes de integrar conhecimentos técnicos, digitais, socioambientais e de gestão da inovação.

Inspirado em abordagens consolidadas de *foresight* estratégico, o projeto **Educação e Competências para o Futuro - Hidrogênio Verde** adota métodos de inteligência coletiva e análise prospectiva para identificar e qualificar perfis estratégicos para a cadeia do Hidrogênio Verde. A metodologia combina análise de tendências setoriais, consultas a especialistas e exercícios de posicionamento estratégico, permitindo construir uma visão sistêmica sobre a evolução da demanda por perfis, em alinhamento com a escola francesa de prospectiva.

Além de identificar os perfis para os profissionais que atuarão na área, a pesquisa incorpora um conjunto de indicadores de posicionamento, como **Relevância das Tendências para os Perfis, Situação Atual do Perfil, Importância para o Setor, Intensificação da Demanda, Grau de Maturidade das Tendências, Elos da Cadeia Produtiva e Demanda por Qualificação**. Esses levantamentos oferecem uma percepção mais integrada da necessidade e do potencial de demanda de cada perfil para impulsionar a transição energética no Ceará. A abordagem metodológica visa gerar um diagnóstico da situação atual, bem como subsidiar políticas públicas, estratégias institucionais, programas de qualificação profissional e planos de preparação industrial, alinhados a um horizonte de 1, 3, 5 e 10 anos.

1 INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen**: A guide to policy making. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: https://h2.pe/uploads/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_-1.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

2 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acesso em: 27 jul. 2025.

3 FUEL CELLS AND HYDROGEN JOINT UNDERTAKING (FCH JU). **Hydrogen Roadmap Europe**: a sustainable pathway for the European energy transition. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. 52 p. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2843/275063>. Acesso em: 27 jul. 2025.

4 INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Skills for a greener future**: skills for energy transition. Geneva: ILO, 2022. Disponível em: <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/skills-and-lifelong-learning/skills-green-jobs>. Acesso em: 27 jul. 2025.

Portanto, o projeto **Educação e Competências para o Futuro – Hidrogênio Verde** é um esforço estratégico voltado à antecipação das qualificações profissionais necessárias para impulsionar o desenvolvimento da economia do hidrogênio no Ceará. Ao compreender as capacidades requeridas por esse novo setor, o projeto contribui para alinhar a oferta educacional às exigências de um novo cenário industrial mais sustentável e inovador.

O conteúdo se organiza em três blocos:

- ◆ O **primeiro bloco** aborda a apresentação do projeto, o papel do H₂V na descarbonização, oportunidades para o Brasil e o Nordeste, cadeias produtivas e desafios de qualificação profissional, além da situação atual da formação no Brasil;
- ◆ O **segundo bloco** apresenta a condução metodológica, os esforços de cooperação e o público-alvo; e
- ◆ O **terceiro bloco**, por sua vez, reúne um conjunto de informações direcionadas para o Setor de Hidrogênio Verde, exibindo: (i) as tendências sociais e tecnológicas com grande impacto em seu contexto futuro; e (ii) os perfis profissionais identificados como necessários para o desenvolvimento setorial.

Com os resultados desse exercício prospectivo, espera-se induzir transformações nas ofertas de formação cearense, de modo a prover os perfis profissionais necessários para responder aos desafios do setor de **Hidrogênio Verde** e, ao mesmo tempo, impulsionar o processo de transição atual da sociedade em direção a uma economia mais sustentável e competitiva.

O PROJETO

O projeto Educação e Competências para o Futuro - Hidrogênio Verde é uma iniciativa do Sistema FIEC, por meio do Observatório da Indústria Ceará, em parceria com o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) e a Agência de Desenvolvimento Econômico do Estado do Ceará (ADECE), com o objetivo central de induzir a oferta de formação de perfis profissionais que tragam novas perspectivas ao desenvolvimento industrial e ao progresso da sociedade.

Como objetivos específicos, o projeto pretende:

- ◆ Identificar **perfis profissionais** que serão demandados por organizações industriais e pela sociedade.
- ◆ Incitar a antecipação da oferta de formação de novos perfis profissionais pelas instituições de ensino.

Com enfoque multissetorial e escopo de pesquisa orientado ao estado do Ceará, o projeto baseia-se na metodologia da Prospectiva Estratégica, fundamentando-se nos seguintes aspectos estruturantes: utilização de abordagem participativa; construção do futuro, de forma antecipatória; e definição do ano de 2035 como horizonte temporal de pesquisa.

A publicação dos perfis profissionais compartilha o conhecimento construído por especialistas do estado, servindo como referência para o planejamento e o desenvolvimento de ofertas formativas das instituições de ensino cearenses.

A execução do projeto integra a agenda do Programa para Desenvolvimento da Indústria, realizado pelo Sistema FIEC, alinhado a boas práticas nacionais e internacionais de promoção da prosperidade. Seu propósito é construir estratégias para o desenvolvimento industrial sustentável do Ceará, por meio de um debate articulado entre setor privado, poder público, academia e entidades de apoio.

Ao reconhecer a qualificação e o desenvolvimento de perfis como fatores críticos de sucesso, a iniciativa consolida o vínculo entre planejamento estratégico e educação profissional. Assim, cria condições para que setores e áreas promissoras alcancem suas visões de futuro desejadas. A participação de representantes de instituições de ensino e pesquisa, empresas, sindicatos, terceiro setor e governo foi decisiva nos processos de reflexão prospectiva, na construção dos conteúdos e na sistematização dos perfis estratégicos para a transição energética e o desenvolvimento industrial sustentável do Ceará.

PERFIS PROFISSIONAIS PARA O FUTURO

No âmbito deste projeto, os Perfis Profissionais para o Futuro conceituam-se como:



Conjuntos de capacidades técnicas que os indivíduos deverão ter para realizar atividades atualmente inexistentes ou embrionárias.

O diagrama apresenta um círculo central verde escuro com uma borda cinza. À esquerda, duas linhas curvas verdes se conectam ao círculo. À direita, uma linha curva verde se conecta ao círculo, e a partir dela, seis linhas retas verdes se estendem para a direita, terminando em pontos. Cada ponto de conexão entre as linhas e o círculo central é marcado com um círculo cinza contendo um ponto branco.



POSSIBILITAM APROFUNDAR
DIMENSÕES DO CONHECIMENTO
EM PROFISSÕES JÁ EXISTENTES.



FORAM DESENHADOS PARA
RESPONDER ÀS TENDÊNCIAS
SOCIAIS E TECNOLÓGICAS DOS
SETORES E ÁREAS IDENTIFICADOS.



SUBSIDIAM NOVOS CONTEÚDOS,
DISCIPLINAS OU CURSOS DE
DIFERENTES NÍVEIS.



PODEM SINALIZAR O SURGIMENTO
DE NOVAS PROFISSÕES, EM RESPOSTA
À COMPLEXIDADE E À DINÂMICA
TECNOLÓGICA E DE MERCADO.



SERVEM COMO REFERÊNCIA PARA O
PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO
DE OFERTAS FORMATIVAS.

Desde 2016, o Observatório da Indústria do Ceará desenvolve um processo de *foresight* estratégico. As primeiras iniciativas foram os projetos Setores Portadores de Futuro e Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Cearense, que identificaram áreas prioritárias para o desenvolvimento do estado, como Água, Biotecnologia, Construção e Minerais, Economia Criativa & Turismo, Economia do Mar, Eletrometalmecânico, Energia, Hidrogênio Verde, Indústria Agroalimentar, Logística, Produtos de Consumo, Saúde, Água e Meio Ambiente.

Na sequência, foi concebido o projeto Perfis Profissionais, com o objetivo de mapear o perfil dos profissionais necessários ao desenvolvimento da indústria cearense até 2035. Para garantir continuidade e maior robustez à iniciativa, o projeto foi atualizado e reestruturado para Educação e Competências para o Futuro - Hidrogênio Verde.



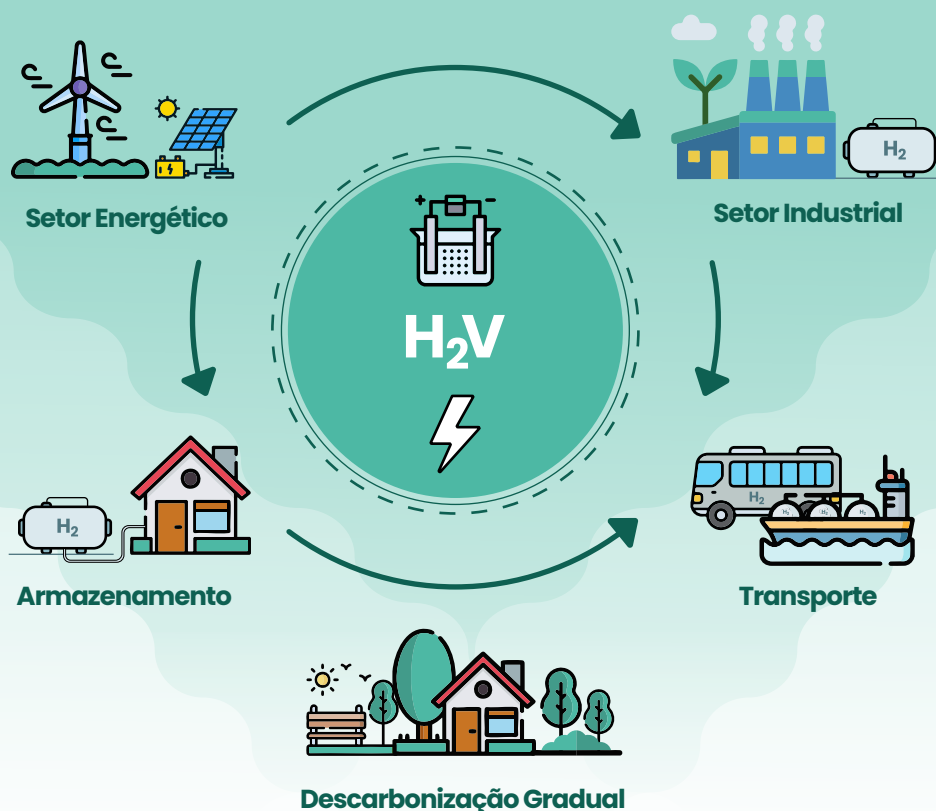
3. O HIDROGÊNIO VERDE COMO VETOR DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

3.1 PAPEL DO H₂V NA DESCARBONIZAÇÃO

Diante da crescente urgência imposta pelas mudanças climáticas globais, a descarbonização das matrizes energéticas tornou-se uma das prioridades em políticas públicas e cooperação internacional. O Hidrogênio Verde (H₂V), obtido pela eletrólise da água com o uso de fontes renováveis de energia, destaca-se como vetor estratégico para substituir combustíveis fósseis em setores de alta intensidade de carbono – como transporte pesado, aviação, siderurgia e produção química – nos quais a eletrificação direta ainda enfrenta limitações significativas.

A Figura 1 ilustra o papel do Hidrogênio Verde na transição energética, evidenciando sua produção a partir de fontes renováveis, o armazenamento, a aplicação nos setores industrial e de transporte e sua contribuição para a descarbonização gradual. Cada etapa representa um elo essencial para o desenvolvimento sustentável e a redução das emissões de carbono.

Figura 1 - Papel do Hidrogênio Verde na descarbonização de setores estratégicos



Atualmente, cerca de 95% do hidrogênio global é produzido por rotas fósseis (gás natural, carvão, nafta), resultando em elevadas emissões de CO₂. No entanto, o H₂V surge como alternativa capaz de reverter esse cenário. Estudos recentes indicam que a adoção em larga escala do hidrogênio renovável pode reduzir em até 24% as emissões industriais nos Estados Unidos até 2050⁵. A eletrólise da água – base de produção de H₂V – tem evoluído com avanços tecnológicos nos tipos alcalino, *Proton Exchange Membrane* (PEM) e *Solid Oxide Electrolysis Cell* (SOEC), contribuindo para ganhos de eficiência e redução de custos⁶.

Nesse contexto, os chamados “*Hydrogen Valleys*” (vales do hidrogênio) consolidam-se como ecossistemas integrados, nos quais produção, distribuição e uso de H₂ renovável são coordenados de modo sinérgico. Um estudo de caso recente em North Ostrobothnia, na Finlândia, ilustra como esses modelos podem escalar até gigawatts e acelerar a implementação da cadeia energética limpa⁷. Esses vales facilitam a logística, o armazenamento e a integração entre setores dependentes de carbono, reforçando o papel do H₂V como vetor da transição energética⁸.

Do ponto de vista tecnológico, a eletrólise de alta temperatura (SOEC) se destaca por operar em temperaturas elevadas, podendo alcançar eficiências superiores a 80%, especialmente quando integrada ao uso de calor residual industrial⁹. Além disso, pesquisas têm avançado no desenvolvimento de catalisadores de alta atividade para operação em corrente elevada, essenciais à viabilização da produção em escala industrial¹⁰.

O aproveitamento da energia hidrelétrica excedente para a produção de Hidrogênio Verde no Brasil representa uma alternativa estratégica para a descarbonização do setor energético. Estudos apontam que essa rota tecnológica pode gerar até 1,4 milhão de toneladas de hidrogênio por ano, com potencial para suprir uma parcela significativa da demanda elétrica nacional e

5 ZHU, Y.; KEOLEIAN, G.A.; COOPER, D.R. The role of hydrogen in decarbonizing U.S. industry: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 214, e115392, maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115392>.

6 ANAND, C.; CHANDRAJA, B.; NITHIYA, P.; AKSHAYA, M. et al. Green hydrogen for a sustainable future: a review of production methods, innovations, and applications. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 111, p. 319-341, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.257>.

7 WEISS, R.; KANTO, T.; KIVIRANTA, K.; IKÄHEIMO, J.; KÄRKI, J. Large scale power-to-X production enabling hydrogen valleys: a case study of future industrial hydrogen valley opportunity in Finland. **Applied Energy**, v. 388, e125596, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125596>.

8 BAMPAOU, M.; PANOPOULOS, K. D. An overview of hydrogen valleys: current status, challenges and their role in increased renewable energy penetration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 207, e114923, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114923>.

9 BHANDARI, R.; TRINKS, R.; ARORA, L. et al. Hydrogen production using high temperature electrolysis: A techno-economic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 105, p. 455-469, 2020.

10 PIVETTA, D.; DALL'ARMI, C.; SANDRIN, P.; BOGAR, M.; TACCANI, R. The role of hydrogen as enabler of industrial port area decarbonization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 189, parte B, e113912, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113912>.

mitigar até 22 milhões de toneladas de CO₂¹¹. Além de promover o uso eficiente de fontes renováveis, essa iniciativa posiciona o Brasil como um ator relevante no cenário global da transição energética limpa.

O Hidrogênio Verde também se apresenta como solução eficaz para setores de difícil descarbonização, como siderurgia e fertilizantes, especialmente quando consideradas políticas de incentivo, o potencial natural de recursos renováveis e a disponibilidade de biomassa regional. Nesse contexto, o H₂V pode contribuir para a estabilidade das redes elétricas renováveis e substituir o hidrogênio convencional em diversas aplicações industriais.

Por fim, pesquisas recentes sobre a produção de Hidrogênio Verde em áreas estratégicas brasileiras, como o estado do Ceará, utilizaram técnicas de análise multicritério para identificar locais ideais para implantação de *hubs* de H₂V. Os resultados apontaram o potencial de exportação e viabilidade ambiental, além de fornecer base para o planejamento de infraestrutura e a tomada de decisão regulatória¹².

Em síntese, o Hidrogênio Verde consolida-se como solução estratégica para a descarbonização de setores intensivos em carbono, destacando o potencial do Brasil – que reúne condições técnicas, naturais e institucionais favoráveis à produção em larga escala. A integração de fontes renováveis, a criação de *hubs* regionais e políticas públicas robustas posicionam o país como ator relevante na transição energética global.

3.2 OPORTUNIDADES PARA O BRASIL E O NORDESTE

O Brasil apresenta condições singulares para emergir como protagonista global na economia do Hidrogênio Verde (H₂V), combinando uma matriz elétrica majoritariamente limpa, ampla disponibilidade de recursos renováveis e infraestrutura logística em expansão. Estimativas internacionais apontam que o país poderá responder por cerca de 15% da exportação mundial de H₂V até 2050, consolidando-se como fornecedor estratégico para economias comprometidas com a descarbonização¹³. O Nordeste, em particular, concentra mais de 80% do potencial nacional

11 11 BOTELHO, D.F.; MORAES, C.A.; OLIVEIRA, L.W. de. Green hydrogen production from hydro spilled energy in Brazilian hydropower plants. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 68, p. 575-585, 28 maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.255>.

12 LEAL, J.I.; TOFOLI, F.L.; MELO, F.D.; LEÃO, R.P.S. Site suitability analysis for green hydrogen production using multi-criteria decision-making methods: a case study in the state of Ceará, Brazil. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 97, p. 406-418, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.11.427>.

13 CÂMARA DE COMÉRCIO BRASIL-CANADÁ (CCBC). **Brazil could offer 15% of green hydrogen exports in the future**. 2024. Disponível em: <https://www.ccbc.org.br/en/publicacoes/news-ccbc/brazil-could-offer-15-of-green-hydrogen-exports-in-the-future/>. Acesso em: 5 ago. 2025.

de geração solar e eólica, configurando-se como região-chave para a produção competitiva de hidrogênio em larga escala¹⁴.

A energia eólica, juntamente com a solar, tem se tornado central para a expansão do fornecimento de eletricidade no Brasil. Os parques eólicos estão localizados, em sua maioria, em áreas rurais e de baixa densidade populacional, sobretudo no Nordeste e no Sul do país. Essa distribuição ocorre porque o fluxo de vento nos centros urbanos tende a ser reduzido em razão do grande número de obstáculos físicos, como edificações e infraestrutura urbana¹⁵.

Já a energia solar se destaca pelo fato de que as regiões brasileiras com maiores concentrações populacionais coincidem com áreas de elevada radiação solar. Esse cenário cria condições favoráveis à difusão da energia fotovoltaica em sistemas de micro e minigeração distribuída, especialmente no Sudeste e no Nordeste, onde se encontram grandes centros urbanos e altos níveis de insolação¹⁶.

Essa abundância energética, somada à infraestrutura logística existente, reflete-se na instalação de *hubs* industriais e portuários, como os de Pecém (Ceará), que atraem investimentos bilionários voltados à produção e exportação de derivados, como a amônia verde. Apenas no Porto do Pecém, os memorandos de entendimento firmados preveem aportes que podem superar US\$ 20 bilhões, com capacidade de produção estimada em milhões de toneladas de hidrogênio por ano até 2030¹⁷.

Além dos portos consolidados, outros projetos estratégicos, como o *Green Energy Park* (GEP) no Piauí, em parceria com a Eletrobras, planejam a instalação de até 10,8 GW de capacidade renovável destinada à produção de hidrogênio para os mercados europeu, asiático e do Oriente Médio¹⁸. O desenvolvimento de corredores verdes de navegação, como o que conecta Pecém a Rotterdam, fortalece a inserção do Brasil nas rotas internacionais de energia limpa. As Zonas de Processamento de Exportação (ZPE), a exemplo da existente no Pecém, oferecem incentivos tarifários e aduaneiros que reduzem barreiras e aumentam a competitividade dos produtos brasileiros no exterior¹⁹.

14 CZAPP. **Brazilian ports get ready for energy transition with green hydrogen**. 2024. Disponível em: <https://www.czapp.com/analyst-insights/brazilian-ports-get-ready-for-energy-transition-with-green-hydrogen/>. Acesso em: 5 ago. 2025.

15 AZEVEDO, S.S.P.; PEREIRA JUNIOR A.O.; SILVA N.F. et al. Assessment of offshore wind power potential along the Brazilian Coast. **Energies**, n.13, p. 2557, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13102557>.

16 PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; GONÇALVES, A.R. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar 2017**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. DOI: <https://doi.org/10.34024/978851700089>.

17 MACHADO MEYER. **Viability of green hydrogen hubs in Brazil**. 2024. Disponível em: <https://www.machadomeyer.com.br/en/recent-publications/publications/infrastructure-and-energy/viability-of-green-hydrogen-hubs-in-brazil>. Acesso em: 5 ago. 2025.

18 REUTERS. **Brazil's Eletrobras partners with GEP for green hydrogen project**. 2024a. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/brazils-eletrobras-partners-with-gep-green-hydrogen-2024-05-14/>. Acesso em: 5 ago. 2025.

19 MACHADO MEYER. **Viability of green hydrogen hubs in Brazil**. 2024. Disponível em: <https://www.machadomeyer.com.br/en/recent-publications/publications/infrastructure-and-energy/viability-of-green-hydrogen-hubs-in-brazil>. Acesso em: 5 ago. 2025.

As oportunidades não se limitam à exportação de energia. O avanço do H₂V pode impulsionar cadeias produtivas locais, incluindo a fabricação de eletrolisadores, equipamentos de geração renovável, sistemas de armazenamento e derivados químicos verdes, fomentando a indústria nacional. Estudos indicam que a instalação de *hubs* de hidrogênio poderá criar centenas de milhares de empregos qualificados no Nordeste até 2050, promovendo aumento de renda, inovação tecnológica e ganhos de competitividade industrial²⁰. No entanto, especialistas alertam que o nível de participação da indústria nacional na cadeia de valor será determinante para a distribuição dos benefícios socioeconômicos, evitando concentração de lucros em empresas estrangeiras e reduzindo desigualdades sociais e de gênero²¹.

Recentemente, o Banco Mundial aprovou um financiamento de US\$ 134 milhões para apoiar a estratégia de hidrogênio verde do Ceará, com foco no fortalecimento da infraestrutura do *hub* de Pecém, na geração de empregos verdes e em mecanismos de inclusão socioeconômica sustentável²². Além disso, grandes investidores globais, como o fundo soberano da Arábia Saudita (PIF), anunciaram planos de aporte de até US\$ 15 bilhões no Brasil para projetos de hidrogênio e energia renovável. Empresas nacionais e estrangeiras, como Eletrobras, Suzano, Vale, Fortescue e Green Energy Park, firmaram acordos para explorar soluções em hidrogênio verde e combustíveis sintéticos, evidenciando a crescente confiança internacional no potencial energético brasileiro^{23;24}.

Nesse cenário, o Brasil, em especial o Nordeste, encontra-se diante de uma oportunidade histórica de liderar a transição energética global. A combinação de abundância de recursos renováveis, *hubs* industriais estratégicos, corredores verdes de exportação, apoio de organismos internacionais e capacidade de atrair investimentos posiciona o país como um dos futuros polos globais do hidrogênio verde. Para consolidar essa liderança, será indispensável avançar em políticas públicas, garantir segurança regulatória, fomentar inovação tecnológica e formar capital humano qualificado para sustentar a nova economia do hidrogênio.

20 WORLD BANK. **Green Hydrogen in Developing Countries: Pathways for Industrial Decarbonization**. Washington: World Bank, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

21 AUSTRIAN INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH (WIFO). **Socioeconomic impacts of green hydrogen in Brazil**. 2024. Disponível em: <https://www.wifo.ac.at/en/publication/72983/>. Acesso em: 5 ago. 2025.

22 WORLD BANK. **World Bank supports Ceará's green hydrogen strategy to boost economic transformation**. Washington: World Bank, 2025. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/07/09/world-bank-supports-cearas-green-hydrogen-strategy-to-boost-economic-transformation>. Acesso em: 5 ago. 2025.

23 REUTERS. **Brazil's Eletrobras, Suzano team up to make green hydrogen and synthetic fuels**. 2024b. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/brazils-eletrobras-suzano-team-up-make-green-hydrogen-synthetic-fuels-2024-06-27/>. Acesso em: 5 ago. 2025.

24 REUTERS. **Saudi Arabia's PIF plans \$15 billion investment in Brazil**. 2024c. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/saudi-arabias-pif-plans-invest-15-billion-brazil-says-brazilian-minister-2024-06-12/>. Acesso em: 5 ago. 2025.

3.3 CADEIAS PRODUTIVAS E DESAFIOS DE QUALIFICAÇÃO PROFISSIONAL

A estruturação de uma economia baseada no Hidrogênio Verde (H₂V) exige o desenvolvimento de cadeias produtivas robustas e interdependentes, que abrangem desde o suprimento de insumos até a entrega ao consumidor final. No contexto brasileiro, particularmente no Nordeste e no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), o avanço dessas cadeias implica a mobilização de setores estratégicos, infraestrutura técnica e, especialmente, capital humano qualificado.

A cadeia produtiva do H₂V envolve etapas principais como suprimento de água, geração de energia renovável, produção por eletrólise, armazenamento e transporte. Cada uma dessas fases é intensiva em tecnologia e requer articulação entre operadores industriais, provedores de insumos e logística integrada^{25; 26}.

No que se refere ao suprimento de água, a produção de H₂V por eletrólise demanda volumes significativos e qualidade constante, priorizando fontes como água dessalinizada e de reúso. A dessalinização, sobretudo por osmose reversa, tem se mostrado economicamente viável, com tendência de redução de custos à medida que a tecnologia avança²⁷. O reúso de água também se apresenta como solução eficiente para regiões com escassez hídrica.

Em relação à geração de energia, o H₂V só pode ser considerado “verde” quando produzido a partir de fontes renováveis. Nesse aspecto, a energia solar e a eólica apresentam custos decrescentes, com projeções internacionais²⁸ indicando que a fonte solar poderá atingir US\$ 0,56/kg de H₂V até 2031. No entanto, a intermitência dessas fontes exige a adoção de sistemas de armazenamento energético que garantam estabilidade no fornecimento e integração com a demanda industrial²⁹.

A etapa de eletrólise da água, núcleo da produção de H₂V, utiliza tecnologias como a alcalina, a PEM e a SOEC. A SOEC, por operar em altas temperaturas, pode alcançar eficiências superiores a 80% quando associada ao calor residual industrial³⁰. O dimensionamento dessas tecnologias

25 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. 2022. Paris: IEA, 2022.

26 INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen: A guide to policy making**. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: https://h2.pe/uploads/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_-1.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

27 GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, G. L. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. **Desalination**, v. 309, p. 197–207, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>.

28 INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen: A guide to policy making**. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: https://h2.pe/uploads/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_-1.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

29 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. 2022. Paris: IEA, 2022.

30 BHANDARI, R.; TRINKS, R.; ARORA, L. et al. Hydrogen production using high temperature electrolysis: A techno-economic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 105, p. 455–469, 2020.

no CIPP segue as projeções do Plano Decenal de Expansão de Energia³¹, com vistas à produção em larga escala e à integração às cadeias de exportação.

No que tange ao armazenamento e transporte, diferentes modalidades são avaliadas segundo critérios de custo, segurança e distância. O armazenamento químico, sobretudo na forma de amônia, tem se destacado como opção estratégica para exportação, devido à maior densidade energética e à facilidade de manuseio³². Para o transporte, a literatura aponta que caminhões com reboques tubulares são mais eficientes em curtas distâncias, enquanto os navios apresentam maior viabilidade para rotas superiores a 1.500 km. Essas cadeias demandam uma logística adaptada ao transporte de gás comprimido, liquefeito ou convertido, o que requer normas técnicas, certificações de segurança e soluções customizadas para integração com modais terrestres e marítimos³³.

O crescimento da indústria de H₂V impõe, ainda, a necessidade de formar profissionais aptos a atuar nas diferentes etapas da cadeia. Estudos apontam uma lacuna crítica de qualificação em áreas como operação de eletrolisadores, gestão de sistemas híbridos de energia renovável, tecnologias de dessalinização e técnicas de compressão e liquefação de gases^{34; 35}.

A Figura 2 apresenta a cadeia de valor do H₂V e seus usos finais, que incluem geração de energia elétrica e térmica, mobilidade terrestre, marítima e aérea, cogeração, processos industriais de alta demanda energética, além de aplicações em aquecimento residencial e comercial.

31 EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional do Hidrogênio**: Relatório Técnico e Estratégico. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-do-Hidrogenio>. Acesso em: 5 ago. 2025.

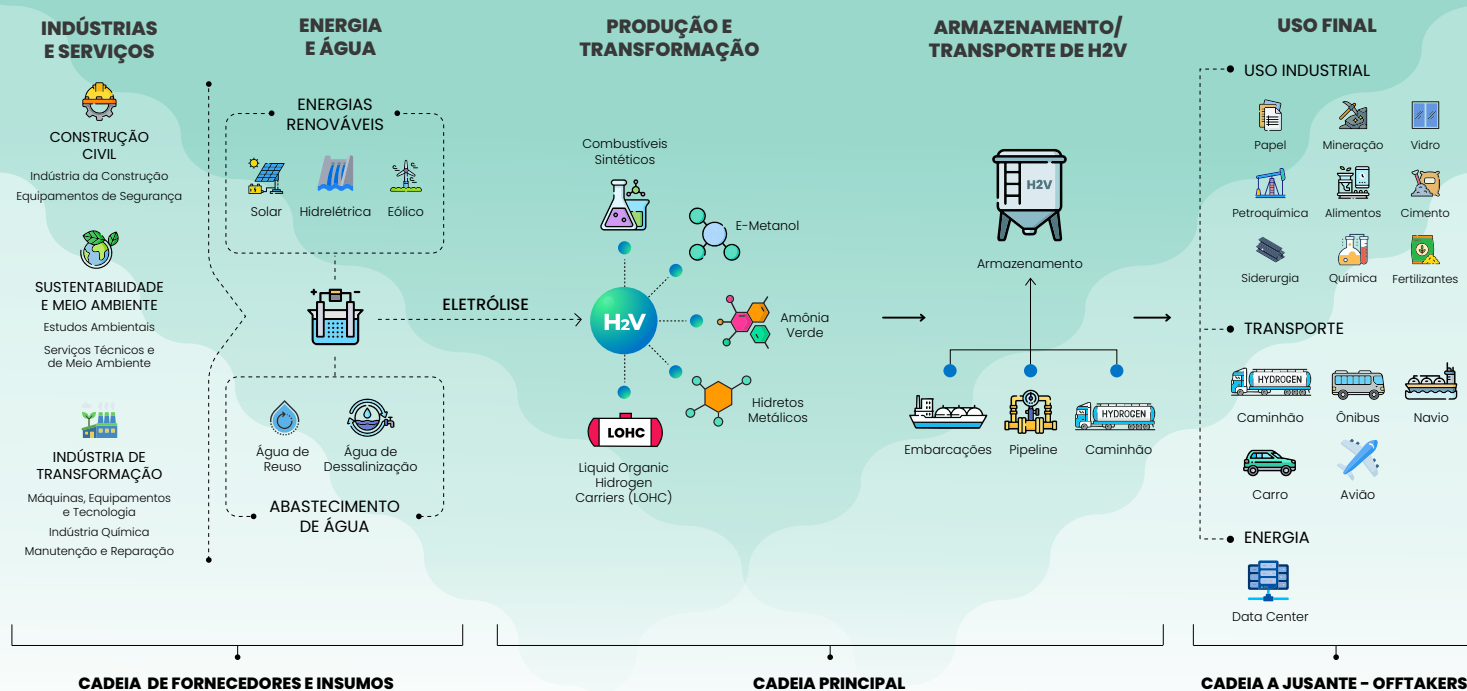
32 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. 2022. Paris: IEA, 2022.

33 INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen**: A guide to policy making. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: https://h2.pe/uploads/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_-1.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

34 WORLD BANK. **Green Hydrogen in Developing Countries**: Pathways for Industrial Decarbonization. Washington: World Bank, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

35 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. 2023. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acesso em: 27 jul. 2025.

Figura 2 - Cadeia do Hidrogênio Verde



Fonte: Observatório da Indústria Ceará (2025).

Profissões emergentes nessa cadeia incluem engenheiros especializados em hidrogênio, técnicos em automação, operadores de plantas de dessalinização, especialistas em logística criogênica, analistas de ciclo de vida (LCA) e profissionais de regulação ambiental. Além das competências técnicas, destacam-se formações transversais em engenharia química, elétrica, ambiental e mecânica, bem como conhecimentos em sistemas de informação, controle de processos industriais, modelagem energética e certificação de produtos verdes³⁶.

A complexidade dessa indústria também requer a atuação conjunta de instituições de ensino, setor produtivo e entes reguladores. Modelos como centros tecnológicos regionais, escolas técnicas federais e programas de extensão universitária vinculados a *hubs* de H₂V são fundamentais para promover a formação continuada alinhada às necessidades da indústria³⁷. Iniciativas como o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) e a Nova Indústria Brasil (NIB) reconhecem a cen-

36 INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen**: A guide to policy making. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: https://h2.pe/uploads/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_-1.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

37 WORLD BANK. **Green Hydrogen in Developing Countries**: Pathways for Industrial Decarbonization. Washington: World Bank, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

tralidade da qualificação profissional. O PNH2³⁸, por exemplo, estabelece um eixo estratégico dedicado à capacitação, com ações voltadas ao desenvolvimento de currículos, laboratórios de formação e certificação de competências.

A viabilidade da transição energética via Hidrogênio Verde está intrinsecamente ligada à consolidação de cadeias produtivas integradas e à qualificação de uma força de trabalho capaz de sustentar esse novo paradigma industrial. A experiência do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) no Ceará demonstra que, além da disponibilidade de recursos renováveis, é essencial desenvolver infraestrutura técnico-produtiva e fomentar um ecossistema de inovação e formação profissional. Tais ações garantirão a competitividade do Brasil na economia do hidrogênio, promovendo não apenas a descarbonização, mas também a inclusão socioeconômica por meio da geração de empregos verdes e qualificados.

3.4 SINERGIA COM POLÍTICAS PÚBLICAS: NOVA INDÚSTRIA BRASIL (NIB) E PROGRAMAS DE HIDROGÊNIO

O avanço da economia do Hidrogênio Verde (H₂V) no Brasil não pode ser dissociado de políticas públicas consistentes que articulem inovação tecnológica, segurança regulatória e atração de investimentos³⁹. Essa integração é fundamental para transformar vantagens competitivas em oportunidades concretas para o país, criando um ecossistema capaz de liderar a transição energética global⁴⁰. Nesse contexto, instrumentos estratégicos como a Nova Indústria Brasil (NIB) e o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) são pilares centrais para alinhar a descarbonização à reindustrialização sustentável.

A NIB, lançada em 2024 pelo Governo Federal, estabelece diretrizes para uma política industrial orientada pela descarbonização, digitalização e inovação tecnológica, priorizando cadeias produtivas críticas como energia renovável, eletromobidade e hidrogênio verde⁴¹. Entre suas metas está a produção nacional de equipamentos estratégicos, como eletrolisadores, sistemas de

38 BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Nova Indústria Brasil: Estratégia para Reindustrialização Verde e Digital**. Brasília: MDIC, 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/nova-politica-industrial-tem-r-300-bilhoes-previstos-para-financiamento-ate-2026>. Acesso em: 5 ago. 2025.

39 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acesso em: 27 jul. 2025.

40 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Green Hydrogen Supply and Demand 2050**. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Disponível em: https://india-re-navigator.com/public/uploads/1651644555-IRENA_Global_Trade_Hydrogen_2022.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

41 BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Nova Indústria Brasil: Estratégia para Reindustrialização Verde e Digital**. Brasília: MDIC, 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/nova-politica-industrial-tem-r-300-bilhoes-previstos-para-financiamento-ate-2026>. Acesso em: 5 ago. 2025.

armazenamento e infraestrutura de transporte, reduzindo dependências externas e fortalecendo a competitividade da indústria local⁴².

Além disso, a NIB prevê mecanismos diferenciados de financiamento, estímulos à inovação e incentivos fiscais, criando um ambiente favorável para a expansão do setor. Outra dimensão relevante da política é a formação de capital humano, por meio de programas educacionais e técnicos que desenvolvam competências para operar e manter sistemas complexos baseados em hidrogênio⁴³. Essa abordagem conecta a transição energética à geração de empregos qualificados e à dinamização econômica, sobretudo em regiões com grande potencial para produção de energias renováveis, como o Nordeste brasileiro⁴⁴.

O PNH2, revisado em 2023 pelo Ministério de Minas e Energia, organiza-se em seis eixos estratégicos: pesquisa e desenvolvimento, capacitação profissional, arcabouço regulatório, certificação, planejamento energético e cooperação internacional⁴⁵. Esses eixos são fundamentais para assegurar segurança jurídica e padronização técnica, favorecendo a atração de investimentos nacionais e estrangeiros⁴⁶.

No campo da inovação, o PNH2 promove a criação de centros de referência tecnológica e incentiva parcerias entre universidades, indústria e governo, fomentando soluções adaptadas ao contexto brasileiro⁴⁷. Um exemplo concreto dessa estratégia é a implementação de *hubs* regionais, como o *Hub* de Hidrogênio Verde no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), no Ceará. Esse projeto, um dos mais avançados do país, integra produção em larga escala, logística portuária e exportação de derivados como a amônia verde, aproveitando a elevada disponibilidade de energia solar e eólica no Nordeste⁴⁸.

42 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal**: Green Hydrogen Supply and Demand 2050. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Disponível em: https://india-re-navigator.com/public/uploads/1651644555-IRENA_Global_Trade_Hydrogen_2022.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.

43 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acesso em: 27 jul. 2025.

44 BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Nova Indústria Brasil**: Estratégia para Reindustrialização Verde e Digital. Brasília: MDIC, 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/nova-politica-industrial-tem-r-300-bilhoes-previstos-para-financiamento-ate-2026>. Acesso em: 5 ago. 2025.

45 BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional do Hidrogênio**: Diretrizes para a Economia do Hidrogênio no Brasil. Brasília: MME, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>. Acesso em: 5 ago. 2025.

46 EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional do Hidrogênio**: Relatório Técnico e Estratégico. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-do-Hidrogenio>. Acesso em: 5 ago. 2025.

47 WORLD BANK. **Green Hydrogen in Developing Countries**: Pathways for Industrial Decarbonization. Washington: World Bank, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

48 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. 2023. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acesso em: 27 jul. 2025.

A articulação entre a NIB, o PNH2 e programas regionais cria sinergias determinantes para a competitividade global do Brasil na economia do hidrogênio. Essa convergência garante redução de riscos para investidores, previsibilidade regulatória e estímulo à indústria nacional, fortalecendo cadeias produtivas locais e fomentando inovação. Entre os impactos esperados estão a geração de empregos qualificados, a expansão de infraestrutura para energias limpas e o posicionamento estratégico do país como exportador competitivo de energia descarbonizada⁴⁹.

Por fim, a integração entre políticas industriais e programas energéticos não é apenas um diferencial, mas uma condição indispensável para que o Brasil alcance protagonismo global no setor. A sinergia entre investimentos privados, incentivos governamentais e ações de P&D permitirá consolidar um ecossistema robusto para o Hidrogênio Verde, assegurando benefícios ambientais, econômicos e sociais no médio e longo prazo⁵⁰.

A Figura 3 ilustra a articulação entre inovação tecnológica, segurança regulatória e políticas públicas voltadas à atração de investimentos, elementos essenciais para consolidar o Brasil como protagonista na transição energética global.

49 WORLD BANK. **Green Hydrogen in Developing Countries**: Pathways for Industrial Decarbonization. Washington: World Bank, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

50 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal**: Green Hydrogen Supply and Demand 2050. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Disponível em: <https://india-re-navigator.com/public/uploads/1651644555-IRENA-Global-Trade-Hydrogen-2022.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.

Figura 3 - Integração entre inovação, regulação e investimentos para o desenvolvimento da economia do Hidrogênio Verde no Brasil



Fonte: elaborada pelos autores (2025).

A consolidação do Hidrogênio Verde como vetor energético estratégico de desenvolvimento no Brasil dependerá da capacidade de alinhar instrumentos de política industrial, incentivos econômicos e programas setoriais a uma visão integrada de longo prazo. A sinergia entre a Nova Indústria Brasil, o Programa Nacional do Hidrogênio e iniciativas regionais permitirá transformar vantagens competitivas em resultados concretos, fortalecendo cadeias produtivas locais, gerando empregos qualificados e posicionando o país como fornecedor confiável de energia limpa para o mercado interno e externo.

3.5 SITUAÇÃO ATUAL DA FORMAÇÃO NO BRASIL

A capacitação de profissionais especializados em hidrogênio verde (H_2V) no Brasil ainda se encontra em fase inicial, com oferta limitada de cursos e programas voltados especificamente para a cadeia de valor do hidrogênio. Atualmente, a formação é sustentada principalmente por programas de engenharia, química, energias renováveis e automação industrial, oferecidos por instituições como o SENAI, Institutos Federais e universidades públicas e privadas. Embora relevantes, essas formações não contemplam de maneira sistêmica temas críticos como tecnologias

de eletrólise, segurança no manuseio e transporte, armazenamento criogênico e uso de hidrogênio em processos industriais de grande escala.

Já no âmbito da pesquisa e desenvolvimento, o cenário apresenta evolução significativa nos últimos anos. O Brasil lidera a pesquisa em hidrogênio na América Latina, com crescimento expressivo da produção científica: entre 2014 e 2024, foram identificadas 71 publicações técnico-científicas, sendo que em 2023 o número de artigos praticamente dobrou em relação a 2022⁵¹.

A Figura 4 ilustra a localização dos principais centros de pesquisa, laboratórios e *hubs* de Hidrogênio Verde no Nordeste do Brasil, destacando sua distribuição geográfica e relevância estratégica para o desenvolvimento do setor. Entre os exemplos, ressaltam-se laboratórios pioneiros como o *Hydrogen Laboratory* (LABH2/COPPE), da UFRJ, ativo há mais de 35 anos, além de centros da USP, da própria UFRJ e iniciativas regionais apoiadas pela Itaipu Binacional e pela UFPR. Esses núcleos têm relevância nacional em pesquisa aplicada e projetos-piloto, embora ainda apresentem limitações quanto à formação prática de mão de obra em escala industrial.

O Ceará, entretanto, desponta como o estado mais avançado rumo à industrialização do H₂V, com destaque para o *Hub* de Hidrogênio Verde do Pecém, que já abriga parcerias estratégicas com empresas como Qair e EDP, além de investimentos em plantas de grande porte. O estado também foi pioneiro na produção da primeira molécula de H₂V em escala piloto no Brasil (2023), sinalizando a capacidade de transformar projetos em resultados concretos. A localização estratégica do CIPP, aliada à infraestrutura portuária de classe mundial e à abundância de recursos renováveis, confere ao Ceará uma posição de liderança no cenário nacional, articulando pesquisa aplicada, atração de investimentos e geração de novos perfis profissionais.

Historicamente, políticas públicas como o Programa Brasileiro para Sistemas de Células a Combustível (PROCAC) e o Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Economia do Hidrogênio (ProH2) estabeleceram bases para pesquisa e capacitação. Em 2005, o *Roteiro para Estruturação da Economia do Hidrogênio no Brasil* definiu diretrizes para produção, logística, aplicações e desenvolvimento tecnológico, incluindo a formação de recursos humanos. Contudo, a descoberta do pré-sal e a reorientação das prioridades energéticas reduziram o ritmo de implantação de programas nacionais robustos para hidrogênio, limitando a disseminação de currículos especializados.

Nos últimos anos, esforços têm sido retomados com a revisão do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), em 2023, e a inclusão do Hidrogênio Verde na estratégia da Nova Indústria Brasil (NIB), que prevê investimentos em capacitação técnica, laboratórios e certificação de competências. Organismos internacionais como a GIZ e o Banco Mundial também têm atuado em programas de qualificação, especialmente voltados para *hubs* no Nordeste.

Apesar desses avanços, a lacuna de formação profissional permanece ampla. Estimativas da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) indicam que, para sustentar uma produção nacional de até

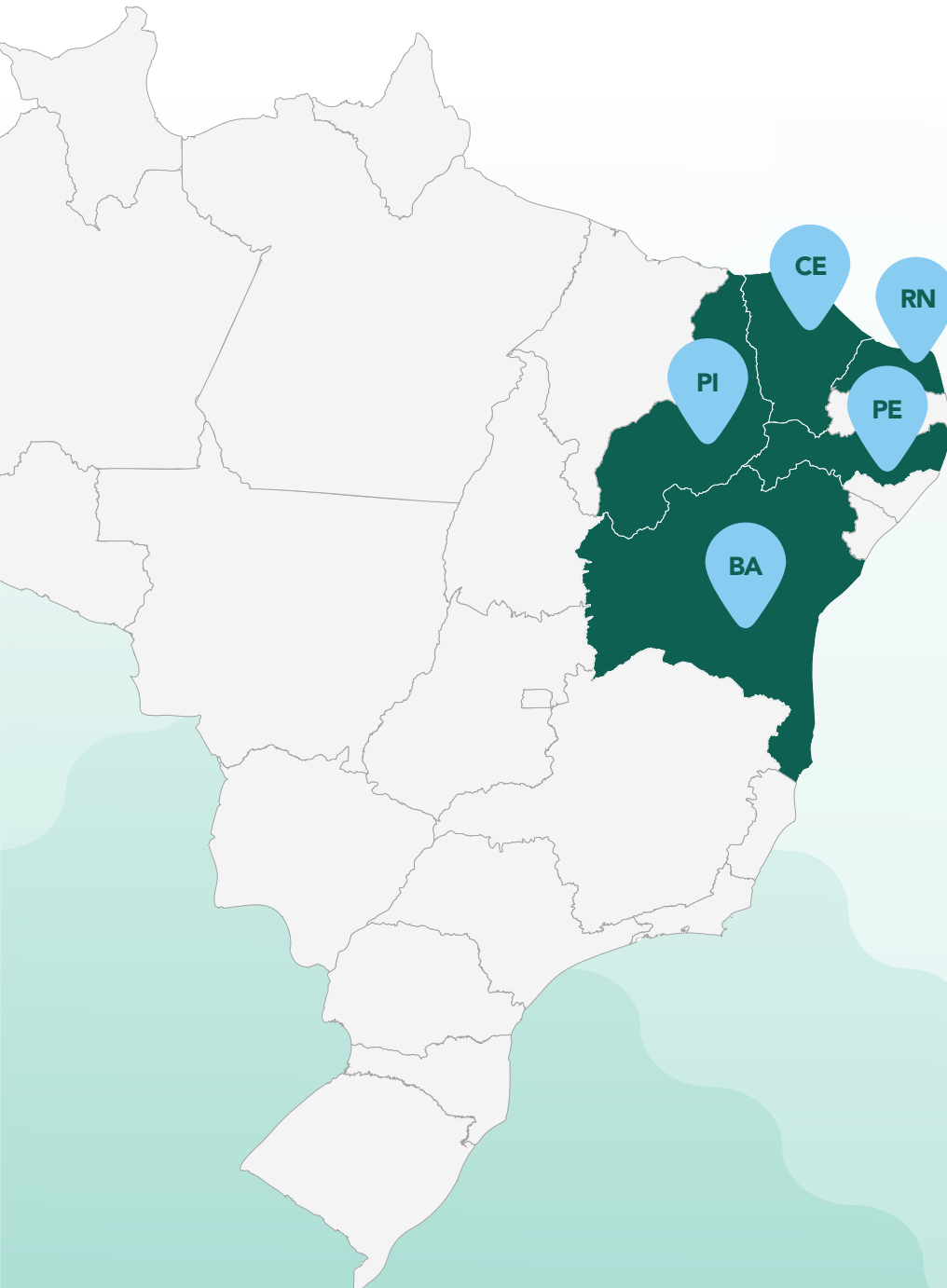
51 FIGUEIREDO, M. A. G. de; SANTOS, L. G. dos; NASCIMENTO, R. L.; CORRÊA, H. L. The Brazilian Research Scenario in Green Hydrogen: A Brief Contextualization. **Journal of Energy and Power Technology**, v. 6, n. 4, 2024. DOI: 10.21926/jept.2404020.

10 milhões de toneladas anuais de H₂V até 2040, será necessário capacitar dezenas de milhares de profissionais em diferentes níveis – desde engenheiros especializados em eletroquímica e sistemas energéticos até técnicos em operação de plantas, analistas de ciclo de vida e especialistas em segurança industrial.

Esse cenário reforça a urgência de ampliar investimentos em pesquisa aplicada, infraestrutura laboratorial e programas de formação continuada, a fim de assegurar que o país aproveite plenamente a oportunidade de se tornar líder na transição energética baseada no hidrogênio.

Figura 4

PANORAMA DE CENTROS E PROJETOS EM HIDROGÊNIO VERDE NO NORDESTE



PE

Recife

- **UFPE / Suape**
Pesquisa aplicada / Hub portuário
- **Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação (IATI)**
Pesquisa aplicada / Inovação
- **Instituto de Pesquisa em Petróleo e Energia (LITPEG/UFPE)**
Pesquisa aplicada

CE

São Gonçalo do Amarante

- **FCE / Hub Pecém**
Hub portuário / Pesquisa aplicada
- **CIPP / Qair**
Projeto H2V / Energia eólica offshore
- **CIPP / EDP**
Projeto H2V / Geração solar + eletrolisador
- **Projeto H2V – Planta de H2V na ZPE + Eólica Offshore em Acaraú**
Investimento industrial (US\$ 6,8 bi)
- **Projeto H2V – Primeira molécula de H2V (usina solar 3 MW + eletrolisador)**
Produção pioneira (desde 2023)

RN

Natal

- **Laboratório de Hidrogênio e Combustíveis Avançados (H2CA) / SENAI**
Laboratório de pesquisa em H2V
- **Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis (ISI-ER)**
Pesquisa aplicada
- **Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER)**
Pesquisa aplicada
- **Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energias (CERNE)**
Planejamento energético / Pesquisa aplicada

PI

Teresina

- **Centro de Estratégias em Recursos Naturais e Energias (CERNE)**
Planejamento energético / Pesquisa aplicada

BA

Salvador

- **SENAI CIMATEC**
Pesquisa aplicada / Inovação industrial
- **Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia em Energias Renováveis da Bahia (NCITERE)**
Pesquisa aplicada
- **Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)**
Pesquisa aplicada / Inovação

Fonte: Observatório da Indústria Ceará (2025).

Para que o Brasil avance na capacitação estratégica, é essencial criar centros nacionais de excelência, expandir cursos de especialização e programas técnicos alinhados a padrões internacionais de certificação, além de fortalecer a integração entre universidades, institutos tecnológicos e empresas. A experiência dos *hubs* de hidrogênio no Nordeste, como o Complexo Industrial e Portuário do Pecém, evidencia o potencial de sinergia entre pesquisa, formação e implantação industrial, configurando-se como caminho promissor para consolidar uma força de trabalho apta a sustentar a nova economia do hidrogênio.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A Prospectiva Estratégica foi adotada como marco metodológico deste projeto, ancorada na tradição da escola francesa de pensamento. Essa abordagem parte do princípio de que o futuro é múltiplo e aberto, exigindo que as organizações atuem de forma proativa para moldar as transformações desejadas, em vez de apenas reagir a elas.

Fundamentada no planejamento de longo prazo, a metodologia integra a análise de variáveis estratégicas e o mapeamento de tendências, incorporando de forma estruturada, interativa e participativa as contribuições de múltiplos especialistas e representantes setoriais. Ao promover um processo coordenado e sinérgico, busca ampliar a capacidade de antecipação, reduzir vulnerabilidades e explorar oportunidades em contextos complexos e dinâmicos.

A condução dos trabalhos foi estruturada em três grandes etapas metodológicas:



**Estruturação
Inicial do Projeto**



**Inteligência
Coletiva**



**Sistematização
dos Resultados**

1. Estruturação Inicial do Projeto

As atividades iniciais para a construção do projeto **Educação e Competências para o Futuro - Hidrogênio Verde** envolveram o desenvolvimento de estudos de base, o mapeamento de especialistas estratégicos e a mobilização de atores-chave. O objetivo foi subsidiar reflexões nos processos de inteligência coletiva e orientar a construção dos conteúdos do projeto. Para isso, foram conduzidas as seguintes ações:

- ◆ **Elaboração de estudos de tendências setoriais:** análise de movimentos estruturais e sinais emergentes, de natureza social, tecnológica, econômica e regulatória, que influenciam o desenvolvimento dos setores e das áreas industriais abrangidas pelo projeto, considerando sua relevância, maturidade e possíveis impactos no horizonte de estudo;
- ◆ **Identificação e proposição dos Perfis:** definição e prototipagem de perfis profissionais para os setores e áreas industriais analisados, incluindo um esboço inicial das atividades e dos respectivos domínios de conhecimento;
- ◆ **Construção de instrumentos de pesquisa:** desenvolvimento de ferramentas voltadas à análise qualitativa dos conteúdos dos perfis e à coleta de indicadores do projeto via formulário online.

O mapeamento e a mobilização dos especialistas para participação nas atividades de inteligência coletiva priorizaram indivíduos com reconhecida relevância técnica e científica, assegurando a representatividade da indústria, da academia, do governo e do terceiro setor.

2. Inteligência Coletiva

Os processos de inteligência coletiva foram conduzidos para promover o compartilhamento estruturado de experiências e conhecimentos entre especialistas, configurando-se como espaço de construção colaborativa e convergência de visões de futuro. Alinhada aos princípios da prospectiva estratégica, essa abordagem buscou validar conteúdos, estimular a reflexão crítica e ampliar o entendimento sobre os caminhos possíveis para o desenvolvimento dos perfis em Hidrogênio Verde.

Essa etapa foi desenvolvida por meio de duas estratégias principais:

- ◆ **Realização do painel de especialistas:** organização do encontro estratégico, concebido como arena de deliberação prospectiva, com os seguintes objetivos: (i) analisar e deliberar sobre a lista de perfis profissionais necessários ao desenvolvimento dos setores e áreas industriais abrangidos pelo projeto; (ii) validar e complementar os conteúdos estruturantes desses perfis, por meio de reflexões dirigidas em mesas de trabalho; e (iii) registrar indicadores do projeto em plataforma web, fortalecendo a base de dados para análises posteriores;
- ◆ **Condução de entrevistas:** realização de entrevistas individuais com especialistas

de reconhecida expertise para validação final dos conteúdos elaborados, permitindo seu detalhamento e revisão à luz de perspectivas técnicas, setoriais e estratégicas.

3. Sistematização dos Resultados

As atividades de sistematização acompanharam todas as etapas do projeto, desde a consolidação das informações obtidas nos estudos de base até o tratamento e a organização dos conteúdos gerados nos painéis setoriais e nas entrevistas. Ao final do processo, os resultados foram estruturados de forma a apresentar tanto aspectos gerais do projeto quanto informações específicas para o setor do hidrogênio verde.

No âmbito do projeto **Educação e Competências para o Futuro – Hidrogênio Verde**, os achados foram organizados em fichas técnicas de perfis profissionais. Cada ficha reúne conteúdos que funcionam como referência para o planejamento e o desenvolvimento de ofertas formativas nas instituições de ensino, além de orientar estratégias de fortalecimento dos perfis no estado.

As fichas contemplam **conteúdos estruturantes e indicadores de posicionamento**.

Conteúdos estruturantes

Os conteúdos estruturantes fundamentam a importância do perfil e orientam a reflexão sobre suas responsabilidades e conhecimentos. São compostos por:

- ◆ **Importância do perfil:** contexto e justificativa para sua necessidade no setor ou na área industrial.
- ◆ **Principais atividades:** funções, tarefas e responsabilidades associadas ao perfil profissional.
- ◆ **Tendências:** movimentos e transformações que demandam ou impulsionam a atuação do perfil profissional.
- ◆ **Domínios de conhecimento:** conhecimentos teóricos e práticos necessários para a execução das atividades, abrangendo aspectos técnicos, conceituais e setoriais que o profissional deve dominar.

Indicadores de posicionamento

Os indicadores de posicionamento, coletados na fase de inteligência coletiva, são medidas-síntese utilizadas para avaliar o grau de relevância, maturidade e potencial de cada perfil em relação ao setor e às tendências associadas. São eles:

- ◆ **Grau de maturidade das tendências:** estágio de desenvolvimento das tendências associadas ao perfil, considerando o Ceará e a unidade federativa de referência, classificado como incipiente, em crescimento, em crescimento acelerado ou maduro.

- ◆ **Intensificação da demanda pelo perfil:** horizonte temporal estimado para aumento significativo da demanda, considerado em 1, 3, 5 ou 10 anos.
- ◆ **Relevância das tendências para os perfis:** grau de importância das tendências identificadas para o perfil profissional, avaliado como muito baixo, baixo, moderado, alto ou muito alto.
- ◆ **Situação atual da maturidade dos perfis:** nível de desenvolvimento do perfil no Ceará em comparação à unidade federativa de referência no Brasil, classificado como muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta.
- ◆ **Cadeia produtiva:** posição na cadeia de valor em que o perfil é aplicado (cadeia a montante, cadeia principal ou cadeia a jusante), com avaliação da importância e da demanda como muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta.
- ◆ **Demanda por qualificação:** nível de necessidade de formação e capacitação profissional no Ceará e na unidade federativa de referência, avaliado como muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta.

5. RESULTADOS DO PROJETO

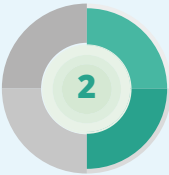
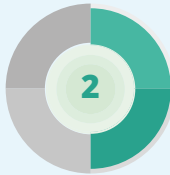
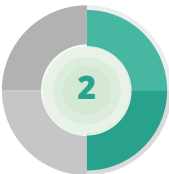
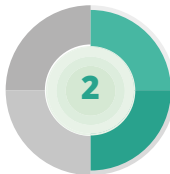
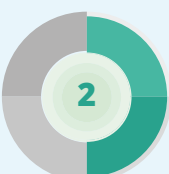
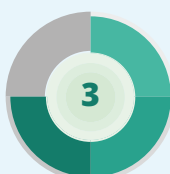
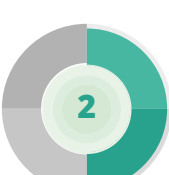
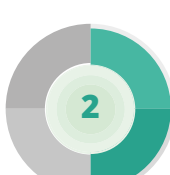
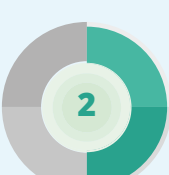
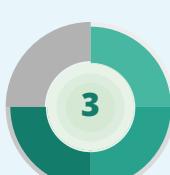
TENDÊNCIAS SETORIAIS

Tendências são fenômenos de alto poder de impacto – sociais, tecnológicos, econômicos, ambientais, políticos ou culturais – cujo desenvolvimento, muitas vezes já em curso, apresenta sinais de persistência e potencial para influenciar horizontes temporais futuros.

No contexto deste projeto, as tendências constituem o motor central para a identificação dos perfis profissionais. O exercício prospectivo para o setor de Hidrogênio Verde culminou na identificação de um conjunto de 75 tendências de futuro consideradas de grande importância setorial, capazes de demandar ou impulsionar perfil profissionais estratégicos para o Ceará.

Essas tendências foram avaliadas pelos especialistas participantes do projeto quanto ao seu grau de maturidade em relação ao setor. Tal avaliação permite comparar a maturidade das tendências setoriais entre o estado do Ceará e a unidade federativa considerada referência no território brasileiro. A escala de avaliação da maturidade contempla quatro níveis: incipiente, em crescimento, em crescimento acelerado e madura.

MATURIDADE DAS TENDÊNCIAS QUE IMPULSIONAM OU DEMANDAM EDUCAÇÃO E COMPETÊNCIAS PARA O FUTURO – HIDROGÊNIO VERDE

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Aço Verde	Processos industriais de produção de aço com baixa ou zero emissão de carbono, baseados na substituição do carvão coque por hidrogênio verde como agente redutor do minério de ferro em altos-fornos.		
Acordos Climáticos Internacionais	Instrumentos multilaterais firmados entre países com foco na regulação ambiental global, na redução de emissões de gases de efeito estufa e no fomento à transição para modelos produtivos sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas.		
Agregação de Recursos Energéticos Distribuídos	Estrutura de coordenação que integra múltiplas fontes de energia distribuída, como solar, eólica, armazenamento e resposta da demanda, para operação conjunta no mercado elétrico, ampliando a eficiência, a flexibilidade e a estabilidade do sistema e viabilizando a participação de pequenos agentes.		
Águas Residuais como Fonte Sustentável	Uso de efluentes industriais e urbanos como insumo para a produção de hidrogênio verde, aproveitando sua carga orgânica para geração de energia e purificação da água, promovendo economia circular, redução de impactos ambientais e eficiência no uso de recursos hídricos.		
Aliança Estratégica Setorial e Intersetorial	Parcerias formalizadas entre instituições, setores e atores diversos, com foco na articulação de esforços e no compartilhamento de recursos para impulsionar ações estratégicas e ampliar a efetividade de iniciativas conjuntas.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

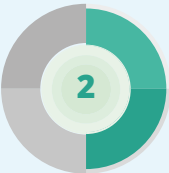
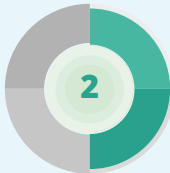
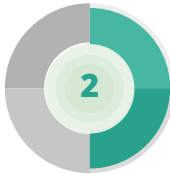
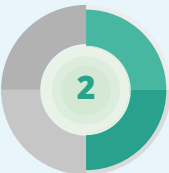
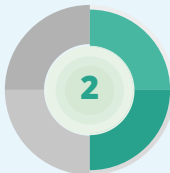
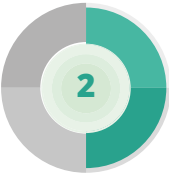
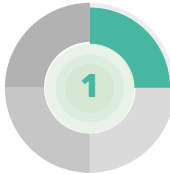
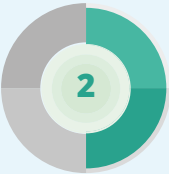
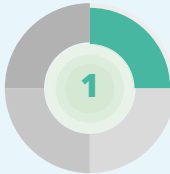
3

CRESCIMENTO ACELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Amônia Verde	Produção de amônia a partir de hidrogênio verde e energias renováveis, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e impulsionando setores como fertilizantes e transporte marítimo.		
Big Data Analytics	Análise de grandes volumes de dados complexos, estruturados e não estruturados, para gerar <i>insights</i> , previsões, otimizações e decisões em tempo real, combinando tecnologias de armazenamento massivo, processamento distribuído, inteligência artificial e visualização de dados, sendo elemento central na transformação digital de todos os setores econômicos.		
Biomassa	Fonte renovável utilizada para geração de eletricidade e produção de combustíveis sustentáveis, como bioetanol e <i>Sustainable Aviation Fuel</i> (SAF), contribuindo para a descarbonização de setores industriais e a substituição de fontes fósseis.		
Blockchain para Rastreabilidade	Sistemas descentralizados, imutáveis e transparentes para registrar e verificar dados críticos sobre a produção, o transporte, a certificação e o uso do hidrogênio, especialmente o hidrogênio de baixo carbono, verde e azul.		
Captura e Armazenamento de Carbono	Tecnologias e métodos de remoção de carbono da atmosfera, incluindo a captura em usinas de energia e em processos industriais, desempenhando papel fundamental na regulação da mudança climática.		

LEGENDA

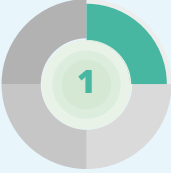
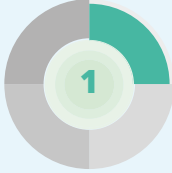
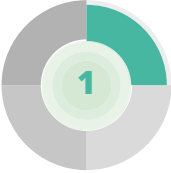
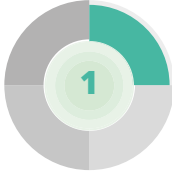
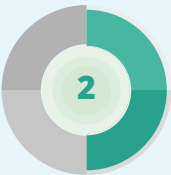
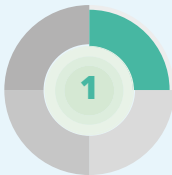
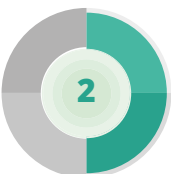
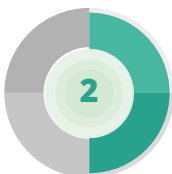
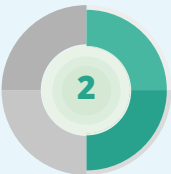
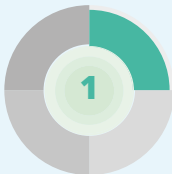
1 INCIPIENTE

2 CRESCIMENTO

3 CRESCIMENTO ACCELERADO

4 MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Célula Eletrolisadora de Óxido Sólido (SOEC)	Tecnologia eletroquímica de alta temperatura que utiliza eletrólito cerâmico à base de óxidos sólidos para converter eletricidade em hidrogênio, oferecendo alta eficiência energética e potencial de integração com fontes renováveis e processos industriais.		
Células a Combustível Microbianas	Tecnologia que combina processos biotecnológicos e eletroquímicos para geração de energia elétrica a partir da decomposição de resíduos orgânicos por microrganismos, promovendo aproveitamento energético e redução de impactos ambientais.		
Certificação de Hidrogênio Verde	Conjunto de normas e critérios que asseguram a rastreabilidade e a origem renovável da eletricidade utilizada na produção de hidrogênio, promovendo transparência no mercado, evitando emissões indiretas elevadas e orientando incentivos a projetos alinhados às metas climáticas globais.		
Cibersegurança Industrial	Sistemas industriais que proporcionam segurança, proteção e integridade das informações, melhorando a gestão de riscos e ameaças contra ataques cibernéticos, a fim de aumentar a confiança dos indivíduos e das organizações.		
Combustíveis Sintéticos (E-combustíveis)	Hidrocarbonetos produzidos a partir de gás de síntese – mistura de monóxido de carbono e hidrogênio – que podem resultar em baixas emissões de CO ₂ quando derivados de hidrogênio eletrolítico e CO ₂ capturado, sendo alternativa viável para setores de difícil descarbonização.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

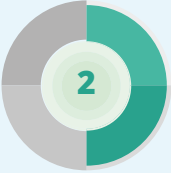
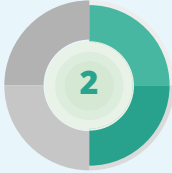
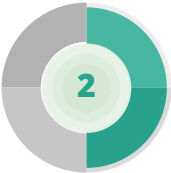
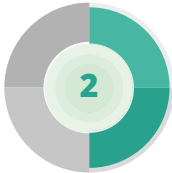
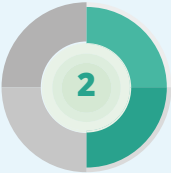
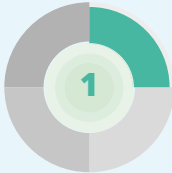
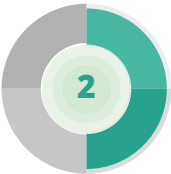
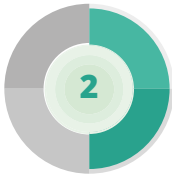
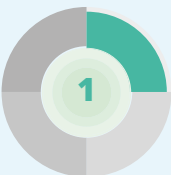
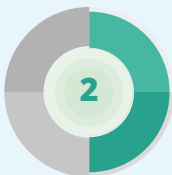
3

CRESCIMENTO ACCELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Cooperação e Colaboração	Interações entre atores que compartilham objetivos e atuam com base na ajuda mútua, reciprocidade e construção conjunta, podendo envolver negociação de hierarquias e processos decisórios integrados em contextos interinstitucionais ou multissetoriais.		
Coopetição	Estratégia que combina competição e colaboração entre empresas de uma mesma cadeia produtiva, visando a objetivos comuns por meio de parcerias que transformam concorrentes em aliados para ampliar ganhos coletivos e fortalecer a inovação setorial.		
Créditos de Carbono	Mercado de compra e venda de créditos de carbono, como oportunidade para empresas, governos ou projetos que reduzem emissões ou capturam carbono (ex.: reflorestamento, energia renovável, CCS), cujos certificados representam a redução ou remoção de 1 tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO ₂ e) da atmosfera.		
Descarbonização	Desenvolvimento e adoção de processos e tecnologias que visam reduzir ou eliminar as emissões de CO ₂ , incluindo transição energética, eletrificação de transportes, eficiência energética, políticas e regulamentações.		
Dessalinização da Água	Processos físicos e químicos aplicados à remoção de sais e impurezas da água do mar ou de fontes salobras, viabilizando seu uso para consumo humano, irrigação agrícola ou aplicações industriais em contextos de escassez hídrica.		

LEGENDA

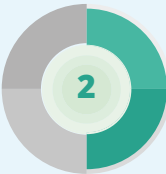
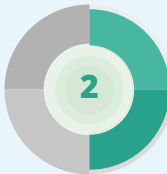
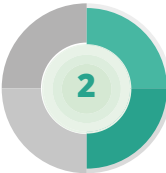
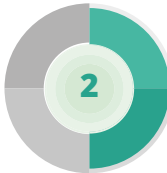
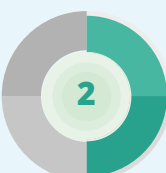
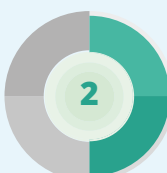
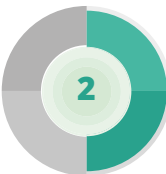
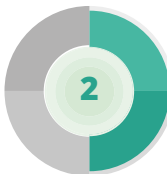
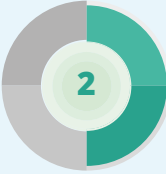
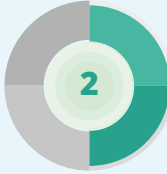
1 INCIPIENTE

2 CRESCIMENTO

3 CRESCIMENTO ACCELERADO

4 MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Digitalização e Manutenção Preditiva	Aplicação de sensores, inteligência artificial e análise de dados para monitoramento em tempo real e antecipação de falhas em eletrolisadores, compressores e sistemas de armazenamento de hidrogênio, visando a eficiência operacional, redução de custos e maior confiabilidade na produção de hidrogênio verde.		
Economia Circular	Modelo econômico que busca prolongar o ciclo de vida de materiais, produtos e componentes por meio de estratégias de reutilização, recuperação e reciclagem, promovendo eficiência no uso de recursos e redução de resíduos ao longo das cadeias produtivas.		
Economia Digital	Integração de tecnologias digitais em diversos setores econômicos, envolvendo produção, distribuição, comércio e consumo de bens e serviços por meio de plataformas digitais, dados, inteligência artificial, internet das coisas (IoT), blockchain, computação em nuvem, entre outros, fomentando a conectividade avançada.		
Economia do Hidrogênio	Estrutura produtiva baseada na geração, distribuição, uso e exportação de hidrogênio de fontes renováveis, integrando setores como energia, transporte, indústria, agricultura, química e finanças na transição para uma matriz de baixo carbono.		
Economia Verde	Modelo de desenvolvimento que integra crescimento econômico e sustentabilidade ambiental, por meio de práticas produtivas que utilizam recursos naturais de forma eficiente, reduzem emissões, preservam a biodiversidade e promovem inclusão social.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

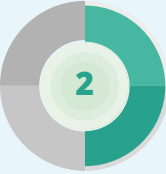
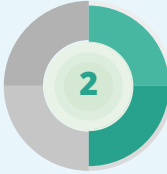
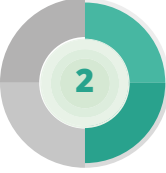
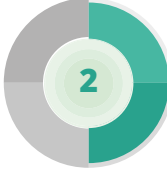
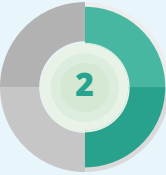
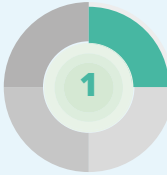
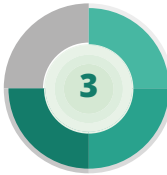
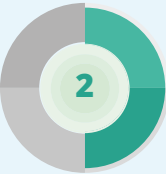
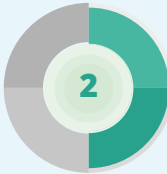
3

CRESCIMENTO ACCELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Eficiência Energética	Adoção de tecnologias, sistemas e práticas que otimizam o uso da energia em processos produtivos e operacionais, reduzindo o consumo sem comprometer o desempenho, com foco em racionalidade, sustentabilidade e redução de custos.		
Eletrólise Alcalina (AEL)	Tecnologia de produção de hidrogênio que utiliza uma solução alcalina, como hidróxido de potássio (KOH), como eletrólito, promovendo a separação da água em hidrogênio e oxigênio por meio da aplicação de corrente elétrica contínua.		
Eletrólise por Membrana de Troca Aniônica	Processo de eletrólise que usa uma membrana semipermeável para separar água em hidrogênio e oxigênio com baixa degradação dos eletrodos e potencial para alta eficiência energética.		
Energia Solar Distribuída	Sistemas fotovoltaicos descentralizados integrados a modelos de geração distribuída, com soluções associadas de armazenamento e comercialização de energia, promovendo autonomia energética, redução de perdas e de democratização do acesso à energia renovável.		
Environmental, Social, and Governance (ESG)	Conjunto de critérios e práticas de governança, ambientais e sociais, cuja avaliação de riscos, oportunidades e impactos norteia atividades e baliza a tomada de decisões em negócios e em análise de investimentos.		

LEGENDA

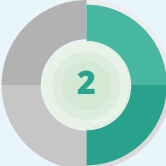
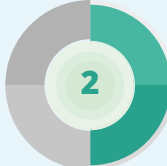
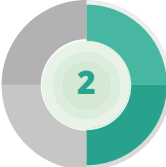
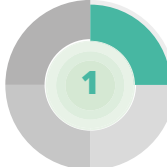
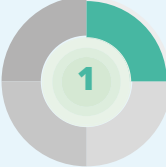
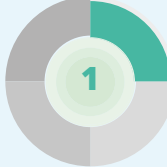
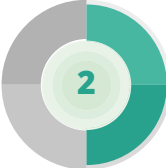
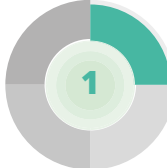
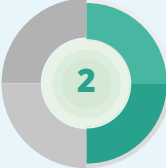
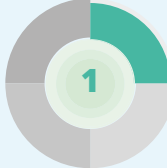
1 INCIPIENTE

2 CRESCIMENTO

3 CRESCIMENTO ACCELERADO

4 MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Ética e Transparência	Princípios e práticas organizacionais voltadas à integridade, responsabilidade social e acesso público às informações, promovendo confiança entre os <i>stakeholders</i> , legitimidade institucional e alinhamento às exigências de governança sustentável.		
Finanças Verdes, Sustentáveis e Climáticas	Instrumentos e estratégias financeiras voltados à alocação de capital em projetos com impactos ambientais, sociais e climáticos positivos, promovendo a transição para uma economia de baixo carbono e alinhando o sistema financeiro aos ODS e acordos globais.		
Fotocatálise na Produção de Hidrogênio	Tecnologia que utiliza materiais semicondutores ativados por luz solar para converter contaminantes presentes em águas residuais em hidrogênio, com potencial de reduzir custos energéticos, viabilizar a geração descentralizada e complementar rotas sustentáveis de produção.		
Gêmeo Digital	Representação virtual de um sistema físico capaz de simular, monitorar e otimizar propriedades mecânicas, elétricas, operacionais e de <i>software</i> , integrando Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial para aplicação em setores como manufatura, saúde, aviação e energia.		
Gestão de Carbono e Acordos de Compra de CO ₂	Estratégias voltadas à gestão de emissões e ao fortalecimento de mercados de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS), incluindo acordos comerciais de compra de CO ₂ que ampliam a viabilidade financeira e impulsionam projetos de descarbonização.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

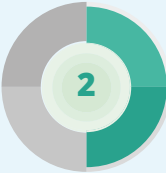
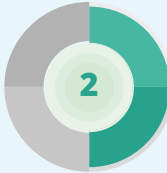
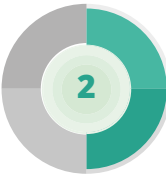
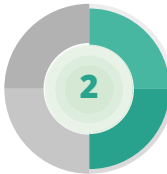
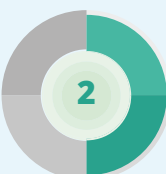
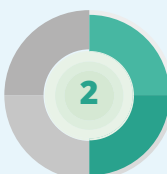
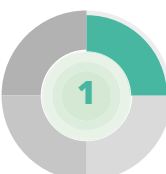
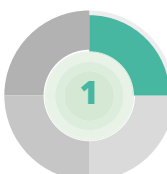
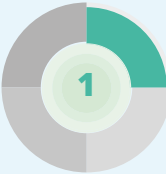
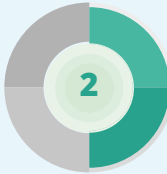
3

CRESCIMENTO ACCELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Gestão de Riscos	Conjunto de práticas aplicadas para identificar, avaliar e mitigar ameaças potenciais em organizações e processos, com foco na prevenção de impactos, aumento da resiliência e tomada de decisão estratégica em contextos de incerteza.		
Gestão e Responsabilidade Socioambiental	Conjunto de políticas públicas, decisões empresariais ou práticas que colocam o desenvolvimento sustentável em evidência nas decisões estratégicas das organizações, visando a uma gestão com foco na redução de impactos ambientais, na produção e no consumo sustentável.		
Governança de Dados	Gerenciamento da disponibilidade, integridade, usabilidade e segurança dos dados de uma organização, contemplando um conjunto de regras estabelecidas que orientam a governança interna, obedecendo também às normas públicas estabelecidas.		
Hidrogênio Criogênico para Armazenamento e Transporte	Tecnologia de liquefação do hidrogênio a -253 °C para reduzir seu volume e viabilizar o armazenamento e o transporte em larga escala, aumentando a eficiência logística e permitindo a distribuição internacional para aplicações nos setores de energia, indústria e mobilidade.		
Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono	Hidrogênio utilizado como combustível ou insumo industrial, proveniente de diferentes rotas tecnológicas e com emissão de gases de efeito estufa (GEE) inferior ou igual a 7 kgCO ₂ e/kgH ₂ , conforme avaliação de ciclo de vida e critérios estabelecidos pela Lei nº 14.948/2024.		

LEGENDA

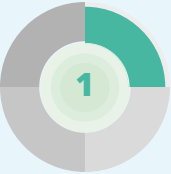
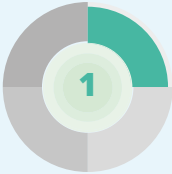
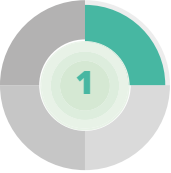
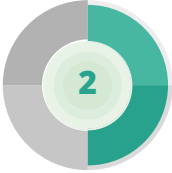
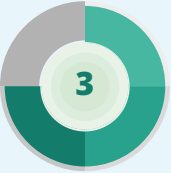
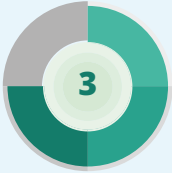
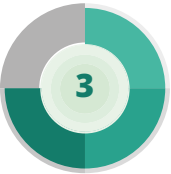
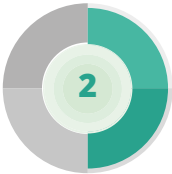
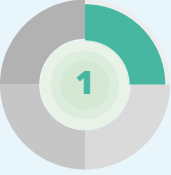
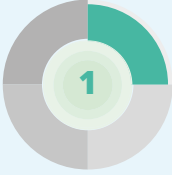
1 INCIPIENTE

2 CRESCIMENTO

3 CRESCIMENTO ACELERADO

4 MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Hidrogênio Musgo	Conjunto de abordagens sustentáveis para produção de hidrogênio que utilizam materiais de baixo impacto ambiental, precursores renováveis, solventes verdes e processos com menor demanda energética, com destaque para rotas como fotocatálise e eletrocatalise ecológica.		
Hidrogênio para Indústrias de Altas Temperaturas	Aplicação do hidrogênio verde como fonte térmica em processos industriais de alta temperatura, como na produção de vidro, cimento, cerâmica e aço, viabilizando a substituição de combustíveis fósseis e a descarbonização de setores de difícil eletrificação.		
Hubs de Hidrogênio Verde	Centros integrados que reúnem produção, armazenamento, distribuição e exportação de hidrogênio verde, promovendo sinergias com setores industriais e logísticos, reduzindo custos de infraestrutura e viabilizando cadeias de suprimento eficientes para a transição energética.		
Indústria 4.0	Modelo de produção industrial inteligente baseado na integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), big data analytics, automação, robótica, realidade aumentada e manufatura aditiva, permitindo comunicação entre sistemas, flexibilidade operacional e tomada de decisão autônoma.		
Integração do H ₂ V no Armazenamento e Balanceamento de Energia	Uso do hidrogênio verde para armazenar excedentes de eletricidade renovável e promover o balanceamento da rede elétrica, por meio da conversão de energia em hidrogênio em períodos de baixa demanda e sua posterior utilização em geração, transporte ou processos industriais.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

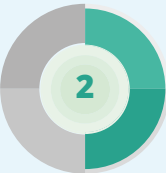
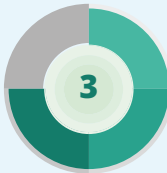
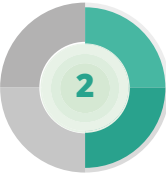
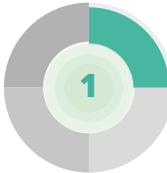
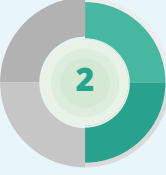
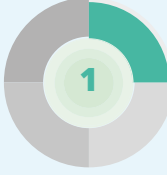
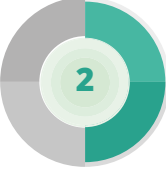
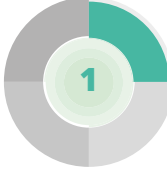
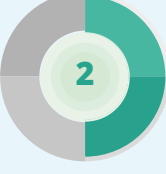
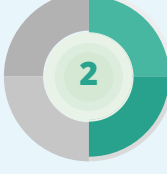
3

CRESCIMENTO ACCELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Inteligência de Mercado	Coleta, sistematização e análise de dados sobre clientes, concorrentes, tendências e segmentos de mercado, com o objetivo de apoiar a tomada de decisões estratégicas, orientar posicionamentos competitivos e promover o aprimoramento dos negócios.		
Internet das Coisas (IoT)	Integração de sensores, dispositivos e máquinas conectados à internet, permitindo a coleta e troca de dados em tempo real, automação de processos e tomada de decisão inteligente em ambientes industriais, urbanos e domésticos.		
Materiais Avançados para Eficiência Energética	Desenvolvimento de materiais como grafeno, compósitos e cerâmicas funcionais aplicados a sistemas energéticos e industriais, com foco na redução de perdas, na melhoria da condução elétrica e térmica e no aumento da eficiência e sustentabilidade de processos.		
Mecanismos de Precificação de Carbono	Instrumentos econômicos que atribuem valor monetário às emissões de gases de efeito estufa (GEE), como taxas e mercados de carbono, incentivando empresas e indivíduos a reduzir suas pegadas de carbono e a promover a transição para uma economia de baixo carbono.		
Membrana Polimérica Eletrolítica (PEM)	Tecnologia utilizada em eletrolisadores e células a combustível que conduz prótons (H ⁺) de forma seletiva, permanecendo impermeável a gases como hidrogênio e oxigênio, sendo essencial para a eficiência e segurança na geração e no armazenamento de hidrogênio.		

LEGENDA

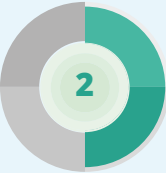
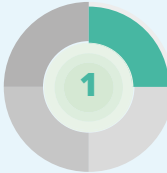
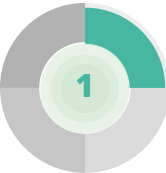
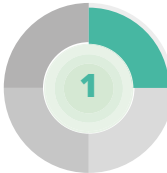
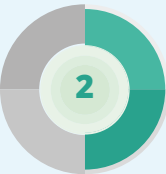
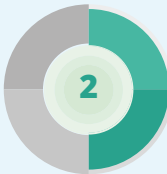
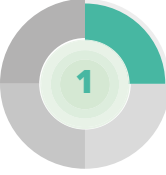
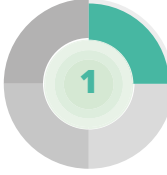
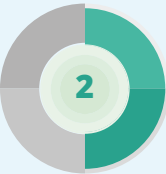
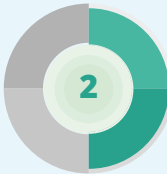
1 INCIPIENTE

2 CRESCIMENTO

3 CRESCIMENTO ACCELERADO

4 MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Mobilidade Sustentável	Adoção de tecnologias e modelos de transporte de baixo impacto ambiental, voltados à redução de emissões, uso eficiente de energia e promoção de sistemas integrados, acessíveis e menos dependentes de combustíveis fósseis.		
Motores a Combustão Interna Movidos a Hidrogênio	Tecnologia que adapta motores a combustão para operar com hidrogênio puro ou em mistura com outros combustíveis, viabilizando a descarbonização parcial do transporte com uso de infraestruturas existentes e sem necessidade de eletrificação total imediata.		
Multissenso-riamento	Aplicação integrada de múltiplos sensores – como os de vibração, temperatura, pressão, carga, gases e LiDAR – para monitoramento em tempo real do desempenho e da integridade de máquinas e equipamentos, ampliando a precisão diagnóstica e a eficiência operacional.		
Padronização Internacional para Certificação e Comercialização do Hidrogênio	Estabelecimento de normas, métricas e sistemas globalmente reconhecidos para classificar o hidrogênio por pegada de carbono, mensurar e verificar emissões do processo produtivo, assegurando rastreabilidade, transparência e conformidade no comércio internacional.		
Power-to-X (PtX)	Conjunto de processos que convertem eletricidade de fontes renováveis em vetores energéticos ou insumos químicos, como combustíveis sintéticos, hidrogênio, calor ou matérias-primas industriais, viabilizando o aproveitamento de excedentes renováveis e a integração setorial na transição energética.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

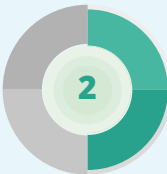
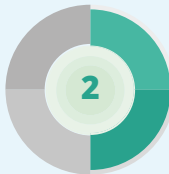
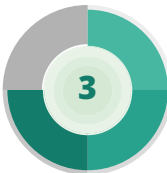
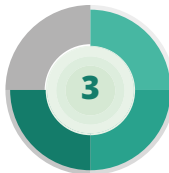
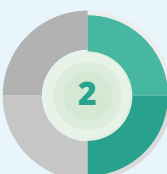
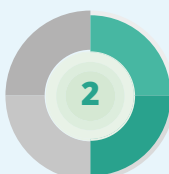
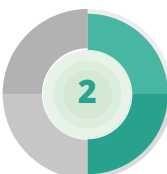
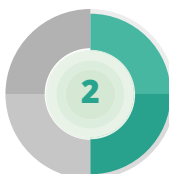
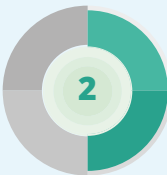
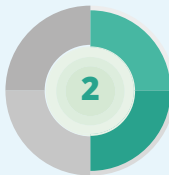
3

CRESCIMENTO ACCELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Recuperação e Aproveitamento de Energia	Tecnologia que converte energia eólica e solar em hidrogênio por eletrólise ou em calor útil, ampliando a flexibilidade do sistema elétrico, aliviando congestionamentos na rede e promovendo a integração eficiente de renováveis por meio de linhas de potência virtuais e soluções de armazenamento.		
Recursos Energéticos Renováveis	Fontes de energia obtidas de recursos naturais com capacidade de regeneração, como solar, eólica, biomassa e hídrica, cuja expansão permite a diversificação da matriz energética, a redução de emissões e o fortalecimento da segurança energética sustentável.		
Regulamentações	Conjunto de normas e diretrizes legais que orientam e disciplinam atividades setoriais, promovendo conformidade, responsabilidade e credibilidade entre os atores envolvidos, além de assegurar padrões de segurança, qualidade e sustentabilidade.		
Saúde e Segurança do Trabalho em Hidrogênio	Práticas, tecnologias e protocolos voltados à prevenção de riscos e à proteção de trabalhadores, equipamentos e instalações nas etapas de produção, armazenamento, transporte e uso do hidrogênio, incluindo monitoramento, controle de vazamentos, ventilação e capacitação técnica.		
Selos e Certificações	Instrumentos de verificação que atestam atributos de produtos, processos ou organizações – como origem de matérias-primas, desempenho ambiental ou responsabilidade social –, promovendo credibilidade, diferenciação no mercado e vantagem competitiva.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

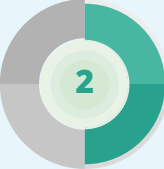
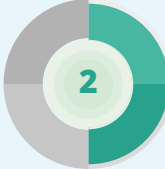
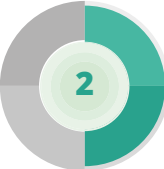
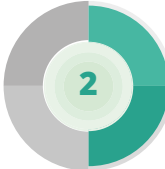
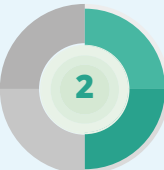
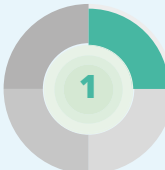
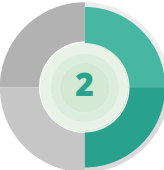
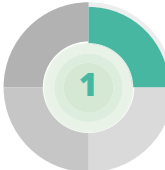
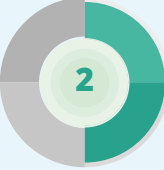
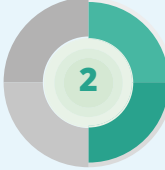
3

CRESCIMENTO ACCELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Sensoriamento Remoto de Recursos Hídricos	Tecnologias e técnicas de geoprocessamento e utilização de sensores para gerenciamento e monitoramento remoto dos recursos hídricos, possibilitando a verificação da disponibilidade e da qualidade da água.		
Síntese Verde	Aplicação de princípios da química sustentável no desenvolvimento de materiais e processos com menor impacto ambiental, utilizando precursores renováveis, solventes ecológicos e menor consumo energético, com destaque para rotas como fotocatalise e eletrocatalise na produção de hidrogênio.		
Sistemas de Armazenamento de Energia de Bateria	Tecnologias de grande capacidade voltadas ao armazenamento de excedentes energéticos, promovendo a integração de renováveis, o fornecimento de serviços auxiliares à rede elétrica, a redução de desperdícios e a garantia de suprimento confiável, inclusive em redes isoladas.		
Sistemas de Conversão de Energia Multiportas	Dispositivos eletrônicos que integram e gerenciam múltiplas fontes renováveis, como solar, eólica e baterias, para alimentar sistemas de eletrólise, garantindo fluxo energético estável e eficiente na produção descentralizada de hidrogênio para aplicações industriais, logísticas e de armazenamento.		
Smart Grids	Redes elétricas inteligentes que integram tecnologias de automação, comunicação e controle, permitindo a interação em tempo real entre a rede e os dispositivos conectados, com ganhos em eficiência, confiabilidade, segurança e participação ativa do usuário final.		

LEGENDA

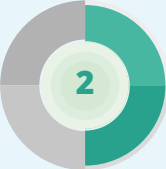
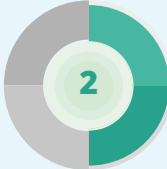
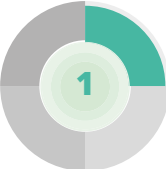
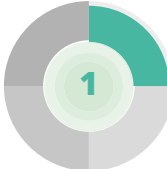
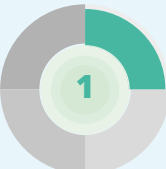
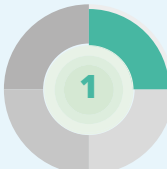
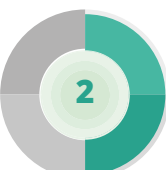
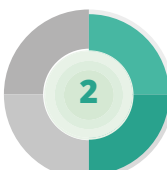
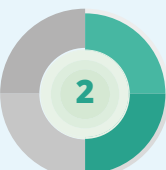
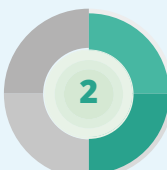
1 INCIPIENTE

2 CRESCIMENTO

3 CRESCIMENTO ACCELERADO

4 MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Soluções de Segurança na Cadeia do Hidrogênio	Conjunto de tecnologias, normas e práticas voltadas à segurança no manuseio do hidrogênio em toda a cadeia produtiva, incluindo sensores de detecção, materiais resistentes, protocolos de emergência e capacitação técnica, com foco na mitigação de riscos e na aceitação pública.		
Superbaterias	Soluções avançadas de armazenamento baseadas no aprimoramento de composições químicas e sistemas de encapsulamento, visando aumentar a segurança, eficiência, densidade energética e durabilidade das baterias em aplicações estacionárias e de mobilidade.		
Supercapacitores	Dispositivos de armazenamento eletroquímico que acumulam energia em interfaces entre eletrodos e eletrólitos, permitindo carregamento e descarregamento rápidos, alta densidade de potência e longa vida útil, com aplicações em eletrônicos, transporte e sistemas de apoio à rede elétrica.		
Tecnologia para o Armazenamento de Energia com Baixa Emissão de Carbono	Soluções tecnológicas voltadas ao armazenamento de energia com reduzida pegada de carbono, incluindo baterias de íons de lítio, supercapacitores, sistemas térmicos e hidrogênio, visando apoiar a integração de renováveis e a descarbonização de sistemas energéticos.		
Tecnologias Avançadas de Eletrólise	Abordagens inovadoras para a produção de hidrogênio verde que elevam a eficiência e reduzem custos, como a eletrólise E-TAC e as células fotoeletroquímicas, que dispõem membranas ou utilizam energia solar para dissociar a água, tornando o processo mais acessível, escalável e competitivo.		

LEGENDA

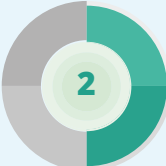
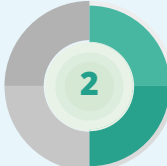
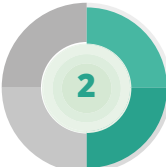
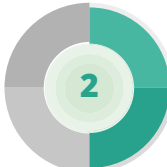
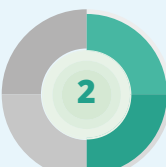
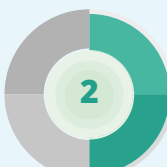
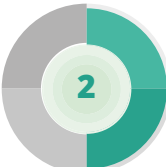
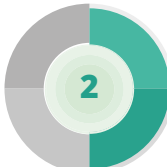
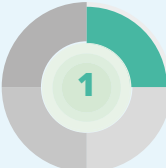
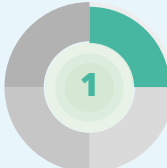
1 INCIPIENTE

2 CRESCIMENTO

3 CRESCIMENTO ACCELERADO

4 MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

Tendência	Conceito	Grau de Maturidade	
		UF* de Referência no Brasil	Ceará
Tecnologias para Geração Distribuída de Hidrogênio Verde	Sistemas descentralizados de eletrólise instalados próximos aos usuários finais ou em polos industriais, permitindo produção local de hidrogênio com redução de custos logísticos, aproveitamento de subprodutos como oxigênio e calor, e maior eficiência no uso de energia renovável.		
Tecnologia Verde para o Armazenamento de Energia	Sistemas de armazenamento energético desenvolvidos com materiais e processos ambientalmente sustentáveis, como baterias com composição ecoeficiente, dispositivos eletroquímicos orgânicos ou baseados em biomateriais, super-capacitores verdes e soluções térmicas de baixa emissão, visando conciliar a retenção de energia de fontes renováveis com mínima pegada ambiental, maior ciclo de vida e compatibilidade com redes de energia limpa.		
Transição Energética Justa	Processo de transformação do setor energético que incorpora geração de emprego local, capacitação profissional, inclusão de comunidades vulneráveis e justiça socioambiental, com atuação de organizações da sociedade civil, empresas, universidades e comunidades em territórios impactados.		
Tratamento e Reúso de Água	Aplicação de tecnologias e projetos voltados à purificação e reutilização de águas residuais em processos industriais, agrícolas e urbanos, visando otimizar a pegada hídrica, preservar recursos naturais e promover sustentabilidade hídrica em cadeias produtivas.		
Veículos de Célula a Combustível de Hidrogênio (HFCVs)	Meios de transporte que utilizam células a combustível para converter hidrogênio em eletricidade, oferecendo mobilidade sustentável com alta eficiência energética, baixa emissão de carbono e ampla autonomia, abrangendo automóveis, veículos pesados, ferroviários e aplicações logísticas.		

LEGENDA

1

INCIPIENTE

2

CRESCIMENTO

3

CRESCIMENTO ACCELERADO

4

MADURA

* UNIDADE DA FEDERAÇÃO

EDUCAÇÃO E COMPETÊNCIAS PARA O FUTURO - HIDROGÊNIO VERDE

O exercício prospectivo realizado neste estudo resultou na identificação de 25 perfis profissionais consideradas estratégicas para alavancar o desenvolvimento do Setor de Hidrogênio Verde no Ceará:

- ◆ Análise de Risco e da Segurança do Processo de Produção
- ◆ Armazenamento e Logística de Hidrogênio e Derivados
- ◆ Bioconversão e Soluções Energéticas Naturais
- ◆ Cadeia Produtiva do Hidrogênio Verde
- ◆ Certificação e Rastreabilidade na Cadeia do Hidrogênio
- ◆ Estratégias Climáticas e Governança Sustentável
- ◆ Estratégias de Sustentabilidade e Economia Circular para Transição Energética
- ◆ Gerenciamento Integrado de Soluções Energéticas Sustentáveis
- ◆ Gestão em Processos Termoenergéticos com Hidrogênio
- ◆ Gestão Financeira da Cadeia de Hidrogênio Verde
- ◆ Hidrogênio Verde e demais Combustíveis Derivados
- ◆ Inovação para Transição Industrial Sustentável
- ◆ Justiça Socioambiental para a Transição Energética
- ◆ Manufatura de Equipamentos da Cadeia de Hidrogênio Verde
- ◆ Negociações e Alianças Colaborativas para o Hidrogênio
- ◆ Operação e Manutenção de Equipamentos
- ◆ Processos Eletroquímicos Aplicados
- ◆ Projeto, Construção e Montagem de Plantas de Hidrogênio e Derivados
- ◆ Regulação na Cadeia Produtiva do Hidrogênio
- ◆ Saúde, Segurança e Meio Ambiente na Cadeia do Hidrogênio
- ◆ Soluções de Conversão Energética para a Indústria do Hidrogênio
- ◆ Soluções Hídricas Sustentáveis para a Transição Energética
- ◆ Soluções para Armazenamento Energético
- ◆ Tecnologias de Captura, Armazenamento e Utilização de Carbono (CCUS)
- ◆ Veículos Sustentáveis e Infraestruturas para Mobilidade a Hidrogênio

MODELO DE APRESENTAÇÃO DAS FICHAS DOS PERFIS PROFISSIONAIS

Os **Perfis Profissionais** são apresentados em formato de fichas técnicas, cada uma reunindo uma série de conteúdos estruturantes, que podem ser visualizados nas ilustrações a seguir.

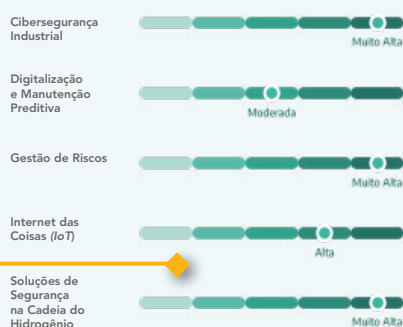
Principais tendências que demandam ou impulsionam o perfil profissional.

Mensuração da relevância das tendências para o perfil profissional, que pode ser avaliada como muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta

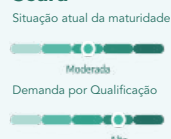
Período em que ocorrerá a intensificação da demanda pelo perfil profissional por parte do setor ou da área industrial, considerando o período temporal: 2026, 2028, 2030 ou 2035.

1. ANÁLISE DE RISCO E DA SEGURANÇA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

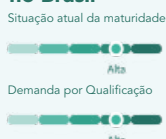
Tendências



Ceará



UF de Referência no Brasil



Intensificação da Demanda
2028

Importância do Perfil Profissional

- Garante a integridade de pessoas, instalações e equipamentos em processos industriais de alto risco, como na produção, no armazenamento e no transporte de hidrogênio.
- Previne acidentes por meio da aplicação de metodologias proativas de análise, avaliação e mitigação de riscos operacionais, tecnológicos e ocupacionais.
- Assegura a conformidade com normas nacionais e internacionais de segurança, saúde, meio ambiente e qualidade (QSMS).
- Promove resiliência e continuidade operacional, reduzindo perdas financeiras e interrupções causadas por falhas ou eventos críticos.
- Fortalece a cultura de segurança e excelência, integrando análise de riscos, digitalização, cibersegurança e manutenção preventiva e preditiva.

Cenário que contextualiza a necessidade do perfil profissional para o setor ou a área industrial.

Atividades

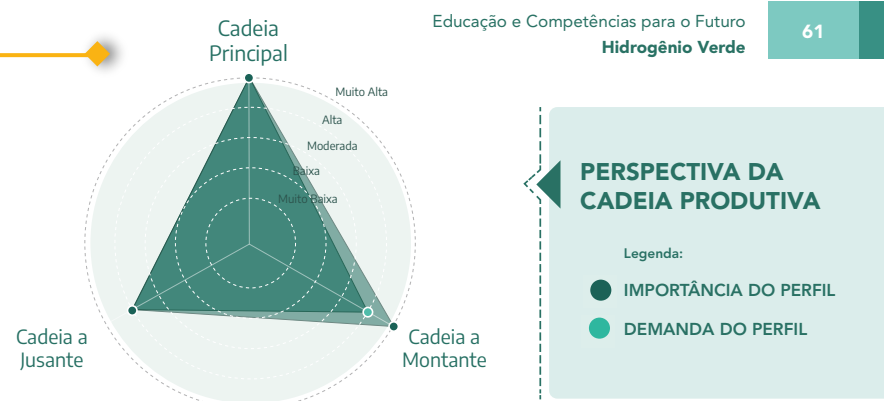
- Aplicar metodologias integradas de segurança em plantas industriais, considerando variáveis técnicas e regulatórias para antecipar falhas e decisões preventivas.
- Planejar e implementar sistemas de monitoramento contínuo, integrando sensores inteligentes, medidores, Internet das Coisas e algoritmos preditivos para garantir segurança operacional e resposta rápida a anomalias nos processos de produção, armazenamento e transporte de hidrogênio e derivados.
- Avaliar cenários de risco tecnológico e ocupacional, considerando a inflamabilidade, a pressão dos sistemas e a corrosividade dos materiais, para a proteção de pessoas e instalações.
- Aplicar protocolos de segurança e saúde (QSMS) adequados para a indústria.
- Estabelecer planos de contingência, elaborando manuais operacionais para incidentes de contenção de hidrogênio.
- Realizar análises de confiabilidade de equipamentos e processos críticos, utilizando ferramentas e análises de modos de falha, para ampliar a segurança de sistemas de eletrólise, compressão e armazenamento de hidrogênio e derivados.

Principais funções, tarefas ou ações de responsabilidade do perfil profissional.

Situação atual do perfil profissional no Ceará comparada com a Unidade da Federação de referência no território brasileiro, avaliada como: muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta.

Demanda por Qualificação do perfil profissional no Ceará comparada com a Unidade da Federação de referência no território brasileiro, avaliada como: muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta.

Perspectivas da Cadeia Produtiva em relação ao Perfil Profissional de acordo com a importância e a demanda, avaliada como: muito baixa, baixa, moderada, alta ou muito alta.



Domínios de Conhecimento

Gestão de Risco na Produção, Armazenamento e Distribuição de Hidrogênio Verde - Conhecimento sobre as ferramentas e normas aplicadas à gestão de risco na produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio verde, considerando suas características físico-químicas, como alta inflamabilidade e alta reatividade, com foco na prevenção de falhas, acidentes e impactos na segurança.

Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança (QSMS) - Domínio dos sistemas de gestão integrados aplicados à indústria, como ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001, incluindo auditorias, indicadores, APR, FMEA, treinamentos operacionais e planos de ação, garantindo conformidade normativa, segurança e saúde ocupacional, redução de riscos e impactos ambientais, além de fomentar uma cultura de excelência, melhoria contínua e sustentabilidade dos processos produtivos.

Sistema de Prevenção de Acidentes e Falhas - Conhecimento sobre desenvolvimento e operação de sistemas inteligentes de monitoramento e medição contínua que combinam sensores térmicos, ópticos, de presença e de gases, além de algoritmos preditivos e redes de comunicação, permitindo a detecção precoce de anomalias, a emissão de alertas e a execução de respostas automáticas para evitar falhas operacionais, acidentes, incêndios, vazamentos ou explosões.

Avaliação Ambiental e Gestão de Riscos - Compreensão de processos de avaliação de impacto ambiental e gestão de riscos tecnológicos na interface com os ecossistemas, considerando critérios legais, técnicos e científicos para mitigar efeitos sobre biodiversidade, ciclos naturais e equilíbrio dos ecossistemas, bem como a aplicação de medidas como zonas de contenção, monitoramento contínuo, barreiras biológicas e atendimento às diretrizes de órgãos como IBAMA, CTNBio e convenções internacionais.

Regulamentações - Domínio de normas técnicas, legislações setoriais e diretrizes de agências reguladoras nacionais e internacionais, como ABNT, IBAMA, ANP, ANEEL, MAPA e CONAMA, assegurando conformidade legal, segurança operacional, padronização de processos e mitigação de riscos jurídicos, além de promover a governança, o compliance e a reputação institucional diante das exigências regulatórias.

Processos Industriais - Conhecimento abrangente dos ciclos produtivos, controle de variáveis operacionais como pressão, temperatura, vazão, tempo, alta tensão, fluxo de energia, gases e água, operação de equipamentos como eletrolisadores, retificadores, transformadores, purificadores, reatores, trocadores, compressores, cilindros de armazenamento e sistemas de automação, além da aplicação de metodologias para otimização de processos e aumento da produtividade, qualidade, segurança operacional e sustentabilidade industrial.

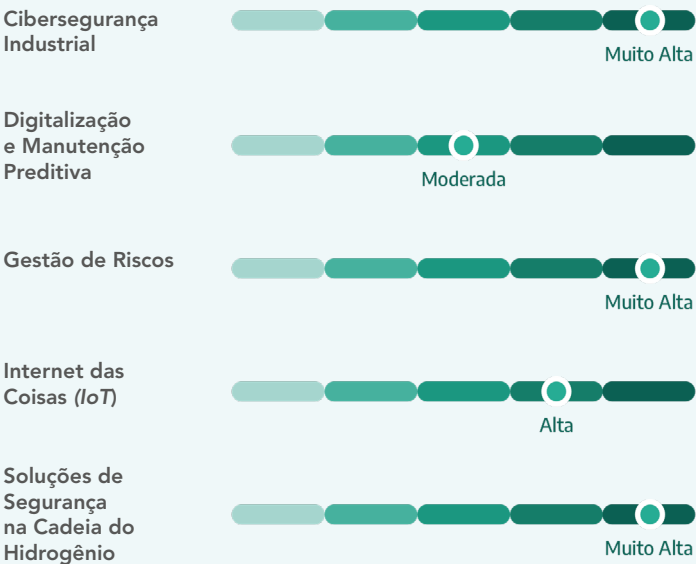
Metrologia e Instrumentação - Domínio dos sistemas de medição, calibração e controle, contemplando seleção, operação e manutenção de instrumentos como sensores de vazão, pressão, temperatura, pHmetros, balanças e manômetros, domínio de software de controle, além da garantia da rastreabilidade, precisão e conformidade com normas técnicas e regulamentos específicos, assegurando confiabilidade e robustez nos processos industriais e laboratoriais.

Principais conhecimentos necessários para a realização das atividades do perfil profissional.

metódos, fer-
derivados, con-
cientiais e regu-
dos processos.

1. ANÁLISE DE RISCO E DA SEGURANÇA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

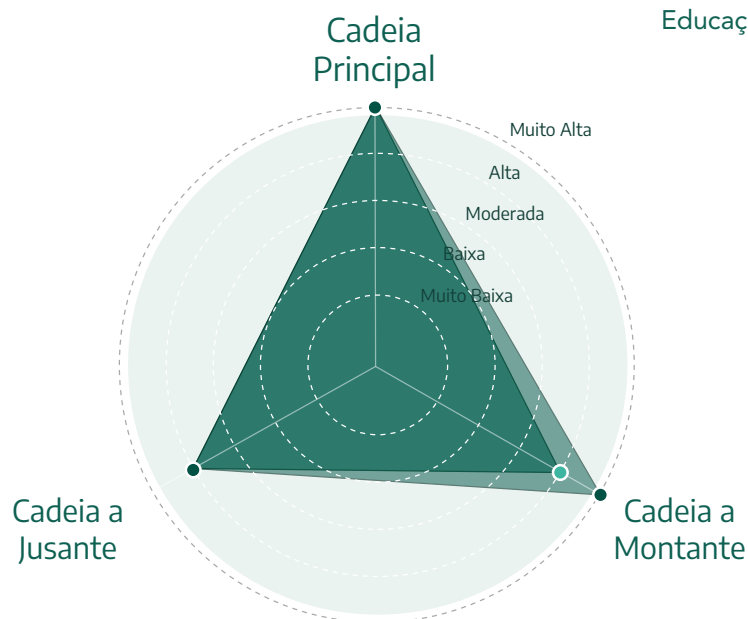
2028

Importância do Perfil Profissional

- Garante a integridade de pessoas, instalações e equipamentos em processos industriais de alto risco, como na produção, no armazenamento e no transporte de hidrogênio.
- Previne acidentes por meio da aplicação de metodologias proativas de análise, avaliação e mitigação de riscos operacionais, tecnológicos e ocupacionais.
- Assegura a conformidade com normas nacionais e internacionais de segurança, saúde, meio ambiente e qualidade (QSMS).
- Promove resiliência e continuidade operacional, reduzindo perdas financeiras e interrupções causadas por falhas ou eventos críticos.
- Fortalece a cultura de segurança e excelência, integrando análise de riscos, digitalização, cibersegurança e manutenção preventiva e preditiva.

Atividades

- Aplicar metodologias integradas de análise de risco em plantas industriais, considerando variáveis operacionais, climáticas e regulatórias para antecipar falhas críticas e apoiar decisões preventivas.
- Planejar e implementar sistemas de monitoramento e de medição contínuos, integrando sensores inteligentes, medidores, Internet das Coisas e algoritmos preditivos para garantir segurança operacional e resposta rápida a anomalias nos processos de produção, armazenamento e transporte de hidrogênio e derivados.
- Avaliar cenários de risco tecnológico e ocupacional, considerando a inflamabilidade, a pressão dos sistemas e a corrosividade dos materiais, com foco na prevenção de acidentes maiores e na proteção de vidas.
- Aplicar protocolos de qualidade, segurança, meio ambiente e saúde (QSMS) adaptados à cadeia produtiva, garantindo conformidade com normas internacionais e nacionais para a indústria.
- Estabelecer planos de contingência e resposta a emergências, elaborando matrizes de risco e procedimentos operacionais para incidentes com vazamento, explosão ou falha de contenção de hidrogênio e derivados.
- Realizar análises de confiabilidade de equipamentos e processos críticos, utilizando ferramentas e análises de modos de falha, para ampliar a segurança de sistemas de eletrólise, compressão e armazenamento de hidrogênio e derivados.
- Contribuir para o desenvolvimento de normas e guias técnicos, apoiando órgãos reguladores e comitês técnicos na criação de diretrizes específicas para a segurança de pessoas e processos e para a análise de risco no contexto de produção de hidrogênio e derivados.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

○ DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Gestão de Risco na Produção, Armazenamento e Distribuição de Hidrogênio e Derivados - Compreensão de métodos, ferramentas e normas aplicadas à gestão de risco na produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio e seus derivados, considerando suas características físico-químicas, como alta inflamabilidade e difusão, e aspectos operacionais, ambientais e regulatórios, com foco na prevenção de falhas, acidentes e impactos na segurança operacional e na sustentabilidade dos processos.

Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança (QSMS) - Domínio dos sistemas de gestão integrados aplicados à indústria, como ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001, incluindo auditorias, indicadores, APR, FMEA, treinamentos operacionais e planos de ação, garantindo conformidade normativa, segurança e saúde ocupacional, redução de riscos e impactos ambientais, além de fomentar uma cultura de excelência, melhoria contínua e sustentabilidade dos processos produtivos.

Sistema de Prevenção de Acidentes e Falhas - Conhecimento sobre desenvolvimento e operação de sistemas inteligentes de monitoramento e medição contínua que combinam sensores térmicos, ópticos, de presença e de gases, além de algoritmos preditivos e redes de comunicação, permitindo a detecção precoce de anomalias, a emissão de alertas e a execução de respostas automáticas para evitar falhas operacionais, acidentes, incêndios, vazamentos ou explosões.

Avaliação Ambiental e Gestão de Riscos - Compreensão de processos de avaliação de impacto ambiental e gestão de riscos tecnológicos na interface com os ecossistemas, considerando critérios legais, técnicos e científicos para mitigar efeitos sobre biodiversidade, ciclos naturais e equilíbrio dos ecossistemas, bem como a aplicação de medidas como zonas de contenção, monitoramento contínuo, barreiras biológicas e atendimento às diretrizes de órgãos como IBAMA, CTNBio e convenções internacionais.

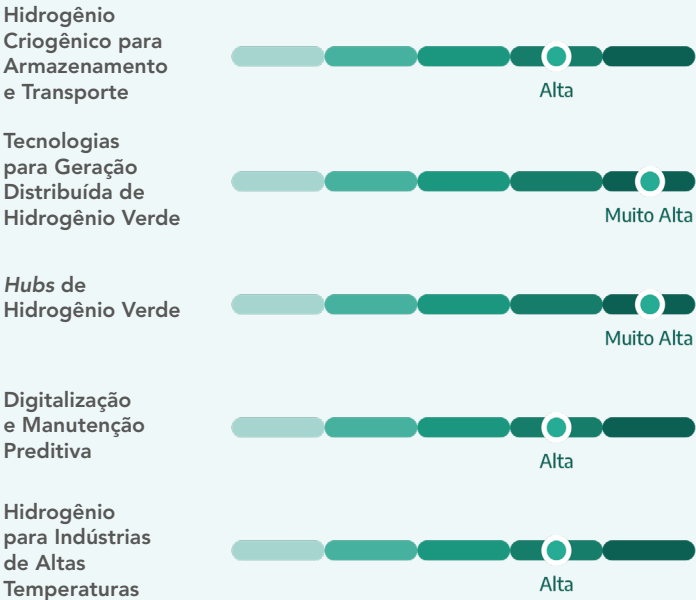
Regulamentações - Domínio de normas técnicas, legislações setoriais e diretrizes de agências reguladoras nacionais e internacionais, como ABNT, IBAMA, ANP, ANEEL, MAPA e CONAMA, assegurando conformidade legal, segurança operacional, padronização de processos e mitigação de riscos jurídicos, além de promover a governança, o *compliance* e a reputação institucional diante das exigências regulatórias.

Processos Industriais - Conhecimento abrangente dos ciclos produtivos, controle de variáveis operacionais como pressão, temperatura, vazão, tempo, alta tensão, fluxo de energia, gases e água, operação de equipamentos como eletrolisadores, retificadores, transformadores, purificadores, reatores, trocadores, compressores, cilindros de armazenamento e sistemas de automação, além da aplicação de metodologias para otimização de processos e aumento da produtividade, qualidade, segurança operacional e sustentabilidade industrial.

Metrologia e Instrumentação - Domínio dos sistemas de medição, calibração e controle, contemplando seleção, operação e manutenção de instrumentos como sensores de vazão, pressão, temperatura, pHmetros, balanças e manômetros, domínio de software de controle, além da garantia da rastreabilidade, precisão e conformidade com normas técnicas e regulamentos específicos, assegurando confiabilidade e robustez nos processos industriais e laboratoriais.

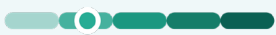
2. ARMAZENAMENTO E LOGÍSTICA DO HIDROGÊNIO E DERIVADOS

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

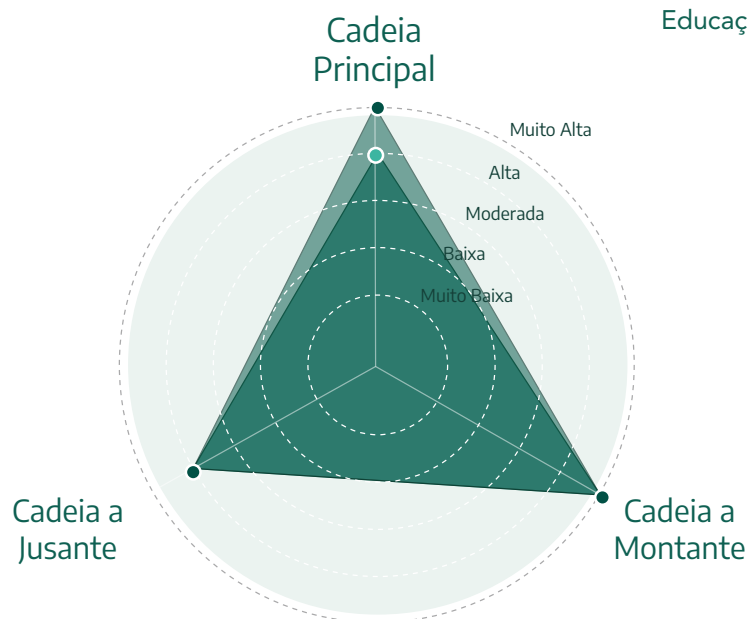
2030

Importância do Perfil Profissional

- Auxilia na formulação de soluções que garantam a viabilidade técnica e econômica da cadeia do hidrogênio.
- Desenvolve soluções que possibilitam o transporte seguro e eficiente do hidrogênio.
- Promove a conexão segura e eficiente entre a produção descentralizada e os centros de consumo industrial, por meio do planejamento logístico, armazenamento e integração a modais de transporte.
- Fomenta a criação de *hubs* logísticos e corredores energéticos.
- Promove estratégias para reduzir riscos operacionais com base em tecnologias digitais e normas regulatórias.

Atividades

- Controlar e monitorar sistemas de alta pressão e sistemas criogênicos de armazenamento de hidrogênio e derivados, garantindo estabilidade térmica, integridade estrutural e segurança operacional, em conformidade com normas internacionais.
- Planejar e supervisionar modais logísticos (rodoviário, ferroviário, gasodutos ou marítimo), otimizando rotas de distribuição e integração da cadeia de suprimentos de hidrogênio e derivados em diferentes escalas, bem como modelar os fluxos intermodais, com base em simulações digitais e gêmeos digitais.
- Monitorar e interpretar informações provenientes de sensores, sistemas de monitoramento e análise de dados, utilizando Inteligência Artificial e *Machine Learning* para prever falhas e realizar intervenções técnicas em tanques, válvulas, compressores, criogenia e dutos de transporte de hidrogênio e derivados, além de monitorar a cadeia logística, assegurando a continuidade e a segurança operacional.
- Aplicar padrões nacionais e internacionais, como ISO/IEC, ABNT e outros, para garantir a segurança no armazenamento e transporte do hidrogênio e derivados, bem como sua rastreabilidade e conformidade legal.
- Coordenar operações logísticas para o abastecimento de polos de produção, consumidores, terminais portuários e estações de recarga, promovendo o *blending* com outras fontes energéticas, como gás natural, e sinergia com energia renovável.
- Elaborar estratégias de resposta a emergências, vazamentos, explosões ou falhas nos sistemas de armazenamento e transporte, incluindo treinamentos, simulações em ambientes reais e virtuais e protocolos interinstitucionais.
- Acompanhar pesquisas em tecnologias de armazenamento e transporte de hidrogênio e derivados, buscando estratégias para aplicabilidade.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Criogenia Industrial - Domínio dos fundamentos termodinâmicos e operacionais da criogenia, com ênfase no armazenamento e manuseio seguro do hidrogênio líquido, cujos pontos críticos ocorrem em temperaturas inferiores a 20 K (-253 °C). Inclui conhecimento de propriedades físicas e termodinâmicas de fluidos criogênicos como nitrogênio, dióxido de carbono, hélio e hidrogênio, projeto de tanques pressurizados, válvulas, sistemas de trocadores de calor e dispositivos de segurança.

Produção, Uso e Armazenamento do Hidrogênio e Derivados - Conhecimento das principais rotas tecnológicas para produção, uso e armazenamento de hidrogênio, como reforma a vapor de metano (SMR) com ou sem captura de CO₂, gaseificação de biomassa, ciclos termoquímicos e eletrólise da água, incluindo processos de conversão, armazenagem e distribuição via amônia e outros *carriers*, além de tecnologias de armazenamento físico e químico, considerando propriedades termoquímicas, eficiência volumétrica e segurança.

Análise Preditiva de Manutenção - Domínio dos princípios e aplicações da manutenção preditiva, com uso de técnicas de vibração, termografia, ultrassom e sensores inteligentes para monitoramento de ativos críticos em sistemas de armazenamento e transporte de hidrogênio. Abrange métodos, tecnologias e protocolos para aquisição e interpretação de dados em tempo real, integrados à Internet das Coisas e à análise preditiva com algoritmos de *machine learning*, redes neurais e modelos híbridos.

Engenharia e Tecnologias para Produção Distribuída de Hidrogênio - Conhecimento técnico-científico do planejamento, projeto e operação de sistemas de energia descentralizados para a produção de hidrogênio de baixo carbono, integrados a fontes renováveis intermitentes ou outras fontes de baixa emissão de carbono. Domínio de tecnologias de eletrólise, requisitos de pureza da água e do hidrogênio, controle de variabilidade da carga elétrica, estratégias de otimização energética e soluções avançadas de armazenamento.

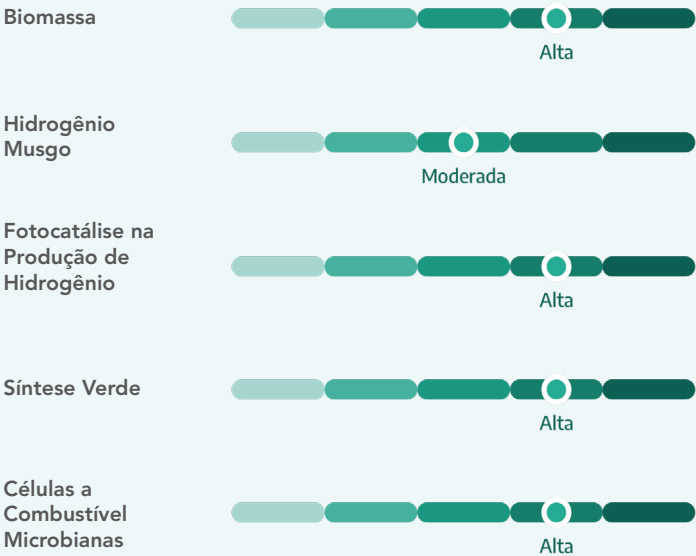
Aplicações Industriais de Alta Demanda Energética - Compreensão técnico-científica do uso do hidrogênio como vetor energético na substituição de combustíveis fósseis em setores industriais com elevada intensidade térmica contínua, produção de amônia e metanol, refino de petróleo, cimento e vidro. Domínio da termodinâmica de processos industriais, avaliação de emissões, viabilidade técnico-econômica da substituição energética e adaptações tecnológicas em fornos, reatores e caldeiras.

Regulamentações e Políticas Públicas - Conhecimento dos marcos regulatórios, normativos e técnicos que estruturam a cadeia de valor do hidrogênio no âmbito nacional e internacional, incluindo normas ABNT, padrões da ISO, regulamentações da ANP, diretrizes ambientais e de segurança industrial, regulamentações para exportação e instrumentos de política pública voltados à transição energética.

Planejamento Estratégico e Modelos de Tomada de Decisão - Domínio de metodologias analíticas e ferramentas digitais aplicadas ao planejamento estratégico da cadeia de valor do hidrogênio, com foco na tomada de decisão multicritério e otimização de sistemas complexos. Abrange conhecimentos sobre *hubs* de produção e distribuição, modais logísticos, escalonamento de investimentos, estratégias de abastecimento e ferramentas digitais como sistemas de informação geográfica (GIS), gêmeos digitais, simulações e modelos preditivos.

3. BIOCONVERSÃO E SOLUÇÕES ENERGÉTICAS NATURAIS

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

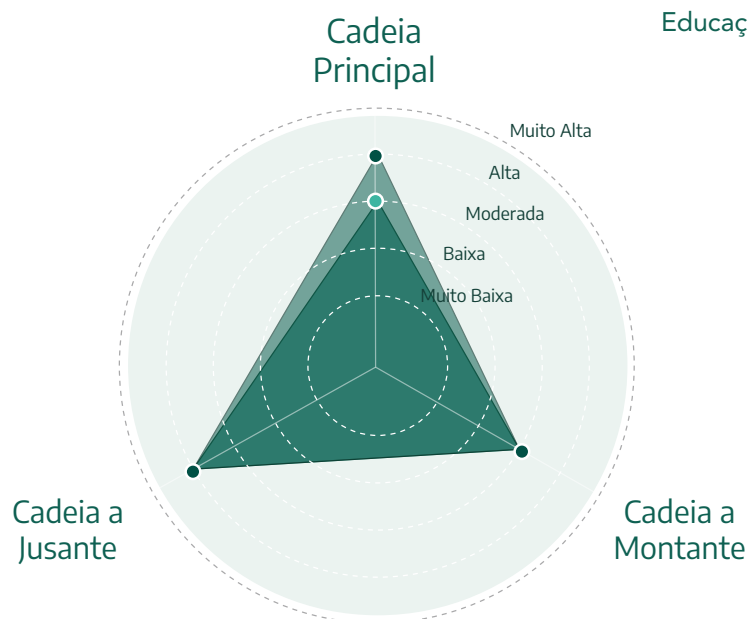
2035

Importância do Perfil Profissional

- Promove o uso de biomassa e resíduos orgânicos como fontes limpas de energia.
- Viabiliza soluções sustentáveis para a produção de hidrogênio e biocombustíveis.
- Contribui para o avanço da transição energética com processos de baixo carbono, de forma a minimizar os impactos ambientais associados e aumentar o ciclo de vida.
- Contribui para o aumento do sequestro de carbono, por meio do cultivo de biomassa e do aumento da matéria orgânica do solo.
- Promove a economia circular por meio do uso de biomassa e resíduos orgânicos como fontes limpas de energia, fortalecendo a sustentabilidade de cadeias produtivas e reduzindo emissões.

Atividades

- Desenvolver e aplicar processos de conversão de biomassa em energia ou hidrogênio, utilizando rotas termoquímicas, bioquímicas e híbridas, tais como gaseificação, pirólise, reforma a vapor com biomassa e rotas fermentativas.
- Aplicar tecnologias limpas, como fotocatálise e células microbianas, explorando mecanismos inovadores de geração energética de baixo carbono, com adaptabilidade a diferentes tipos de substratos orgânicos.
- Projetar rotas sustentáveis para produção e aproveitamento energético, especialmente, por meio de resíduos agroindustriais, considerando variáveis ambientais, legais, econômicas e territoriais, bem como estratégias de integração com fontes renováveis e sistemas híbridos.
- Integrar práticas de sustentabilidade e circularidade na cadeia produtiva bioenergética e de hidrogênio, incluindo reaproveitamento de resíduos, valorização térmica de rejeitos urbanos, gestão de insumos, redução de perdas, reaproveitamento de subprodutos e uso racional de recursos naturais, alinhados a princípios de economia circular.
- Realizar análise técnico-econômica de insumos naturais e resíduos, com base em indicadores de eficiência e de sustentabilidade, riscos ecológicos, emissões associadas e conformidade com normas ambientais nacionais e internacionais.
- Implementar sistemas para aproveitamento integral da biomassa, promovendo a produção descentralizada de bioenergia, bioprodutos – como ácidos orgânicos, bio-óleo, gás de síntese e biochar – e insumos químicos de base renovável.
- Avaliar e implementar indicadores de circularidade, emissões e ciclo de vida energético, aplicando metodologias como Análise de Ciclo de Vida (ACV), Pegada de Carbono e métricas de sustentabilidade para monitoramento e tomada de decisão.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Tecnologia de Materiais e Processos Químicos Sustentáveis - Pesquisa, desenvolvimento e aplicação de materiais funcionais e processos químicos orientados à sustentabilidade ao longo do ciclo de vida dos produtos, incluindo materiais avançados – como nanocompósitos, catalisadores verdes, adsorventes, biomateriais e materiais de mudança de fase –, considerando suas propriedades físico-químicas, estabilidade, reatividade, biodegradabilidade e desempenho operacional.

Energias Renováveis e Geração Distribuída - Conhecimento sobre fontes de energia renovável e seus processos de conversão energética por meio de tecnologias como células fotovoltaicas, turbinas eólicas, biodigestores e ciclos térmicos, aplicáveis a sistemas centralizados ou descentralizados. Abrange avaliação do potencial energético local e regional, viabilidade técnico-econômica e ambiental, domínio das tecnologias de micro e minigeração, integração com redes inteligentes, mecanismos de armazenamento e marcos regulatórios da transição energética.

Boas Práticas de Gestão e Sustentabilidade Industrial - Compreensão aprofundada de estratégias de gestão industrial baseadas nos princípios do desenvolvimento sustentável, integrando desempenho econômico, responsabilidade socioambiental e governança ética. Abrange a aplicação dos indicadores dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e ESG, modelos de Produção Mais Limpa, gestão integrada de resíduos e efluentes, ecoeficiência e aplicação de softwares de avaliação de ciclo de vida.

Tecnologias Limpas e de Baixo Carbono - Domínio do desenvolvimento, aplicação e disseminação de tecnologias voltadas à redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), aumento da eficiência energética e transição para matrizes limpas. Inclui conhecimento para a concepção de sistemas e equipamentos para aproveitamento de fontes renováveis, como turbinas de alta eficiência, biodigestores, reatores solares e sistemas híbridos, desde o projeto até o descomissionamento.

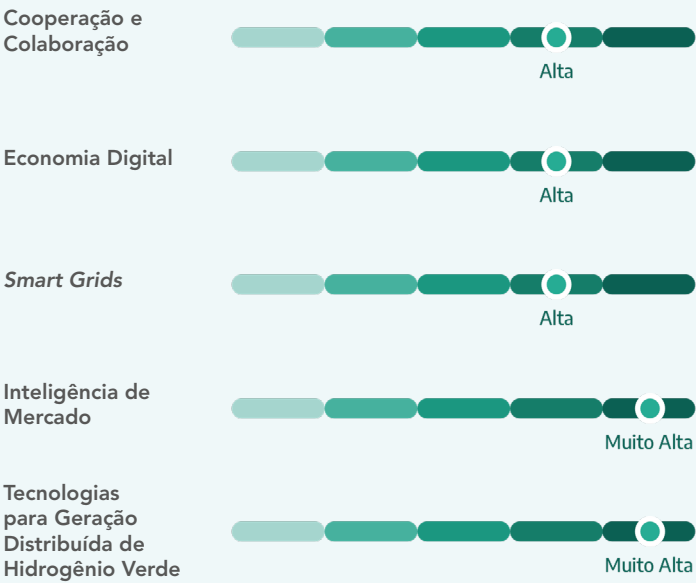
Controle de Qualidade e Segurança - Domínio de ferramentas e metodologias para garantir a conformidade de processos e produtos com requisitos regulatórios, técnicos e mercadológicos, incluindo normas técnicas, boas práticas de fabricação, análise de perigos e pontos críticos de controle, validações físico-químicas, microbiológicas e funcionais, além da segurança de processos industriais, com foco na prevenção de acidentes, gestão de riscos operacionais e integridade de equipamentos.

Planejamento Hídrico e Territorial para Biomassa - Conhecimento técnico-geográfico aplicado ao mapeamento, zoneamento e manejo de áreas e corpos hídricos para produção sustentável de biomassa energética. Inclui a utilização de ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto e modelagem espacial para identificar regiões com aptidão para cultivo energético, respeitando critérios de conservação ambiental, uso eficiente do solo, políticas de regularização fundiária e uso de águas residuárias para cultivo energético.

Articulação e Redes de Cooperação - Domínio de estratégias e mecanismos para desenvolvimento e consolidação de parcerias interinstitucionais, formais e informais, voltadas à execução de projetos, programas e políticas públicas de inovação tecnológica, sustentabilidade e transição energética. Envolve o conhecimento acerca do desenho de instrumentos jurídicos, como acordos de cooperação técnica, termos de parceria e consórcios, visando à aceleração de pesquisa, desenvolvimento e soluções sustentáveis e de baixo carbono, com definição de metas, indicadores e governança compartilhada.

4. CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO VERDE

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

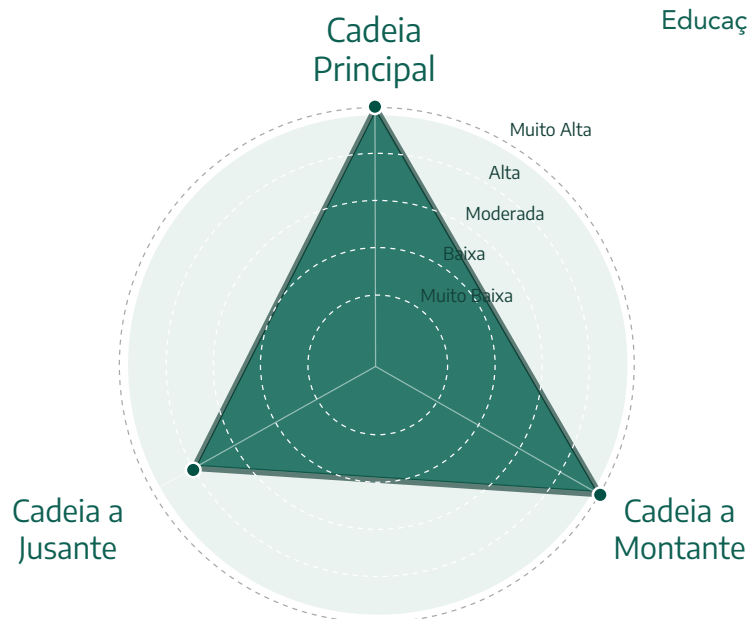
2035

Importância do Perfil Profissional

- Promove a integração de agentes econômicos, governamentais, instituições de pesquisa, sociedade civil, entidades privadas, cadeias industriais e plataformas logísticas para estruturar ecossistemas robustos e resilientes em torno do hidrogênio verde.
- Fomenta a sinergia entre geração, armazenamento, transporte, distribuição e aplicação do hidrogênio verde e derivados.
- Contribui para a atração de investimentos e o fortalecimento de arranjos produtivos locais e regionais, articulando capacidades industriais, políticas públicas e privadas e estratégias de mercado orientadas à descarbonização.
- Viabiliza o desenvolvimento de novos negócios, empregos qualificados, desenvolvimento tecnológico e redes de fornecimento compatíveis com exigências ambientais, sociais e de governança e normativas aplicáveis ao hidrogênio verde e demais derivados.
- Dinamiza o mercado ao garantir previsibilidade, escalabilidade e rastreabilidade na cadeia do hidrogênio, visando atender às exigências de certificações e de acordos comerciais sustentáveis.

Atividades

- Mapear, estruturar e fortalecer os elos produtivos envolvidos na cadeia do hidrogênio verde e derivados, desde fornecedores de insumos até usuários finais.
- Incentivar e viabilizar redes de cooperação técnica e comercial entre empresas, centros de pesquisa, governos e investidores, promovendo sinergias setoriais.
- Apoiar a formação de agrupamentos de empresas, instituições de pesquisa e ensino, além de arranjos produtivos locais voltados à cadeia do hidrogênio e seus derivados.
- Estabelecer critérios e fluxos logísticos para distribuição eficiente de equipamentos, serviços e demais insumos, considerando a garantia da eficiência e da segurança das etapas envolvidas no processo e sua escalabilidade.
- Monitorar tendências de mercado, tecnologias emergentes e cadeias globais para orientar políticas industriais, estratégias regionais e inserção em acordos comerciais.
- Acompanhar e facilitar processos de certificação, rastreamento e conformidade regulatória nacional e internacional, com base em requisitos ambientais, sociais e de governança, normativos e comerciais.
- Utilizar ferramentas digitais e inteligência de mercado para integrar dados de produção, distribuição e consumo de hidrogênio e derivados.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Mapeamento e Integração de Fornecedores - Compreensão dos métodos para mapear, qualificar e integrar fornecedores de equipamentos, insumos e serviços especializados, assegurando aderência técnica, ambiental, social e de governança, escalabilidade e rastreabilidade na cadeia do hidrogênio, além da aplicação de ferramentas de desenvolvimento de fornecedores, avaliação de desempenho, capacitação e promoção de certificações técnicas e ambientais para fortalecimento dos arranjos produtivos locais.

Energias Renováveis - Conhecimento técnico sobre fontes renováveis, mercados, incentivos fiscais, processos de conversão energética, integração com redes inteligentes e soluções de armazenamento, além da avaliação do potencial energético e da viabilidade técnica, econômica e ambiental. Inclui marcos regulatórios, custos e tecnologias associadas à diversificação da matriz energética na cadeia do hidrogênio.

Equipamentos e Tecnologias Aplicadas à Cadeia do Hidrogênio - Conhecimento sobre operação, desenvolvimento e integração de equipamentos críticos como eletrolisadores, membranas, sensores, compressores, tanques de armazenamento, células a combustível, instrumentos e outros, além da aplicação de tecnologias digitais, automação e sistemas de monitoramento, garantindo segurança, qualidade, confiabilidade, eficiência, rastreabilidade e conformidade com normas e certificações nacionais e internacionais.

Gestão de Projetos Colaborativos e Comunicação entre Stakeholders - Conhecimento em metodologias ágeis e tradicionais para gestão de projetos colaborativos, com foco na comunicação estratégica entre *stakeholders*, governança, gestão de riscos e alinhamento institucional. Promove a integração de esforços técnicos, regulatórios, financeiros e políticos entre empresas, governos, academia e investidores da cadeia do hidrogênio.

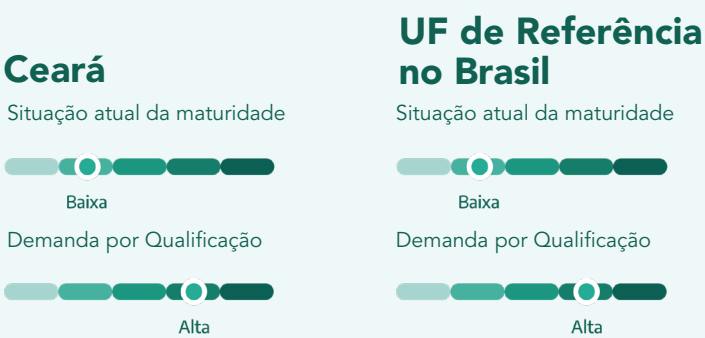
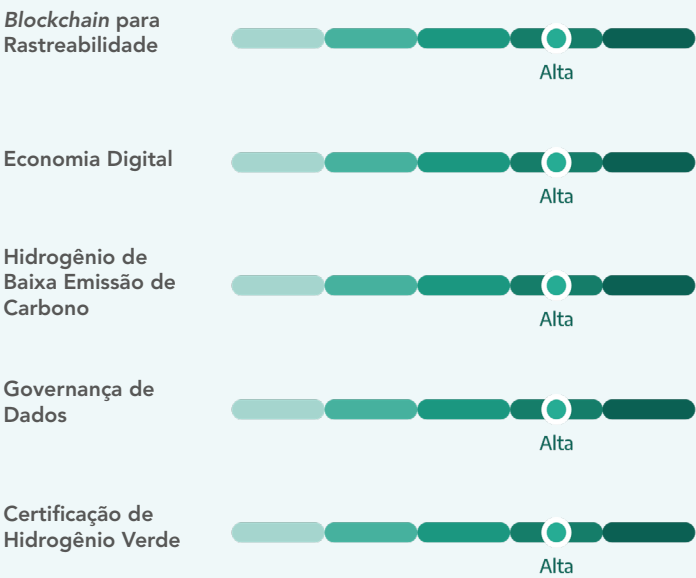
Gestão Logística - Conhecimento sobre planejamento, controle e operação dos fluxos físicos e informacionais na cadeia do hidrogênio e derivados, abrangendo armazenamento, transporte multimodal, distribuição, rastreabilidade, manipulação de materiais químicos, perigosos e sensíveis, logística reversa e integração digital via *IoT*, *blockchain* e sensores inteligentes, assegurando segurança, eficiência, conformidade regulatória e competitividade operacional.

Selos e Certificações - Compreensão e aplicabilidade dos critérios, normas e processos associados às certificações técnicas, ambientais e de baixo carbono, incluindo garantia de origem, rastreabilidade, verificação da pegada de carbono e acreditações nacionais e internacionais, assegurando conformidade, reputação, acesso a mercados nacional e internacional e valorização econômica dos produtos e agentes inseridos na cadeia do hidrogênio verde.

Modelagem Virtual e Gestão de Processos Produtivos - Domínio de modelagem virtual, simulação e monitoramento em tempo real de processos produtivos, integrando sensores, redes de dados, inteligência artificial, *big data* e *machine learning*, viabilizando a antecipação de falhas, manutenção preditiva, rastreabilidade e otimização contínua dos processos industriais, além de elevar a eficiência operacional, a segurança e a maturidade digital da cadeia do hidrogênio e derivados.

5. CERTIFICAÇÃO E RASTREABILIDADE NA CADEIA DO HIDROGÊNIO

Tendências



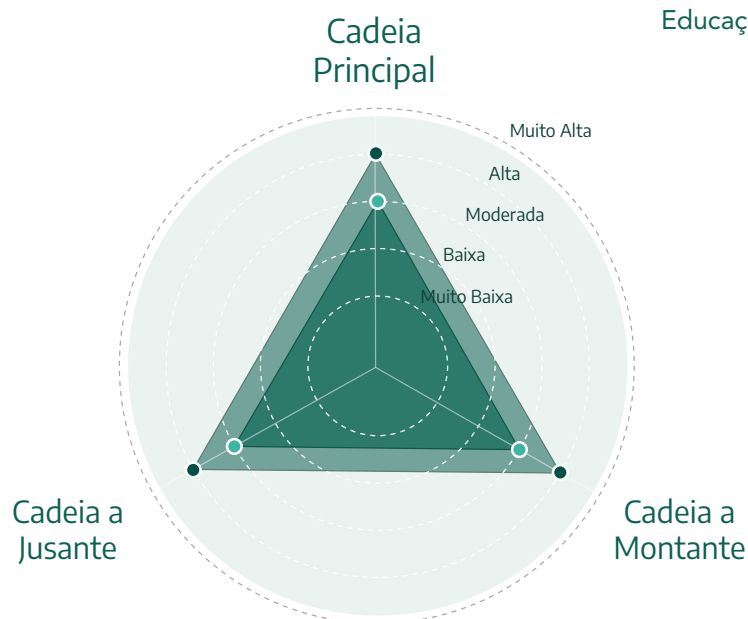
Intensificação da Demanda
2030

Importância do Perfil Profissional

- Assegura a rastreabilidade completa da cadeia do hidrogênio, garantindo transparência, conformidade regulatória e credibilidade ambiental perante mercados nacionais e internacionais.
- Promove o atendimento às exigências legais e normativas nacionais por meio da digitalização de evidências operacionais e ambientais, garantindo a transparência e facilitando auditorias e certificação.
- Monitora o transporte e o armazenamento do hidrogênio, garantindo integridade, segurança e rastreabilidade ao longo da cadeia.
- Utiliza dados integrados para identificar gargalos, reduzir desperdícios e melhorar o desempenho energético dos processos.
- Proporciona informações seguras, verificáveis e auditáveis sobre a origem e o impacto ambiental do hidrogênio, fortalecendo sua credibilidade no mercado.

Atividades

- Gerenciar o monitoramento de dados coletados de forma contínua ao longo da cadeia do hidrogênio, desde a produção até o consumo final, utilizando sensores, dispositivos IoT e sistemas de monitoramento em bases para garantir rastreabilidade.
- Desenvolver e manter plataformas digitais escaláveis, seguras e compatíveis com novas tecnologias e exigências regulatórias, consolidando dados operacionais, ambientais, logísticos e econômicos.
- Implementar mecanismos de certificação digital — como blockchain e assinaturas eletrônicas — para rastrear origem, qualidade e pegada de carbono do hidrogênio e derivados.
- Integrar os sistemas de rastreabilidade digital com plataformas logísticas e operacionais, como ERP, TMS e WMS, promovendo a sincronização de dados, eficiência e visibilidade da cadeia.
- Realizar a gestão de custódia com foco na elaboração e execução de auditorias para rastreamento da origem, qualidade, integridade e pegada de carbono do hidrogênio e derivados.
- Definir requisitos e acompanhar interfaces interativas e painéis de visualização para stakeholders, com acesso a dados rastreados e auditorias digitais automatizadas.
- Implementar e gerenciar plataformas com diferentes esquemas de certificação adequados aos padrões globais, garantindo interoperabilidade entre agentes.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Blockchain e Tecnologias de Rastreabilidade Digital - Domínio de soluções em *blockchain*, DLTs e contratos inteligentes aplicadas à rastreabilidade do hidrogênio, garantindo integridade, imutabilidade e auditorias para assegurar a transparência dos dados ao longo da cadeia, bem como sua integração com plataformas interoperáveis, certificações digitais e exigências regulatórias ambientais e de origem renovável.

Data Center e Cibersegurança - Conhecimento sobre infraestrutura digital, arquitetura de sistemas e protocolos de segurança aplicados ao armazenamento, processamento e transmissão de dados na cadeia do hidrogênio, além de práticas como criptografia, controle de acesso, segmentação de rede, detecção de intrusões e resposta a incidentes, normas de proteção de dados e estratégias de governança de Tecnologia de Informação, em conformidade com a LGPD e *frameworks* padrões de cibersegurança.

Regulamentação, Selos e Certificações - Domínio das normas técnicas, marcos regulatórios e mecanismos de certificação aplicáveis à produção, transporte e uso do hidrogênio verde, com foco na rastreabilidade, sustentabilidade e origem renovável, compreendendo *frameworks* como ISO 14687, diretrizes da União Europeia, padrões brasileiros vigentes e marcos regulatórios nacionais de certificação, de forma a garantir conformidade legal, facilitar auditorias e viabilizar certificações ambientais.

Cadeia de Valor do Hidrogênio - Compreensão sistêmica da cadeia de valor do hidrogênio, desde os fornecedores de energia e insumos até os usuários finais, com foco em mapear fluxos de materiais e dados por meio da rastreabilidade digital, além do entendimento das interações entre os elos da cadeia, identificação de gargalos operacionais, fortalecimento da transparência e uso estratégico de dados.

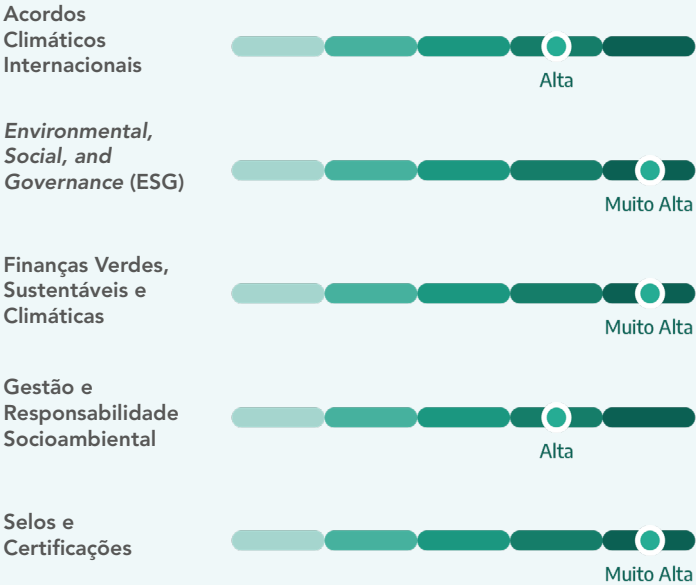
Governança - Conhecimento das diretrizes e práticas para garantir gestão ética, eficiente e transparente da cadeia do hidrogênio verde, políticas de uso e proteção de dados, *compliance* regulatório, *accountability* e prestação de contas às partes interessadas. Envolve também o uso da rastreabilidade digital como base em evidências para decisões informadas, auditorias independentes, acordos contratuais sustentáveis e fortalecimento da governança ESG nos projetos de hidrogênio verde.

Integração de Dados para Eficiência de Fluxo e de Gestão - Compreensão da conexão entre sistemas, bases de dados e plataformas digitais ao longo da cadeia do hidrogênio, promovendo fluidez, consistência e confiabilidade das informações, além do uso de arquiteturas e soluções tecnológicas voltadas à ciência de dados, viabilizando rastreamento contínuo, decisões ágeis, conformidade regulatória e eficiência operacional e energética.

Equipamentos e Tecnologias Aplicadas à Cadeia de Hidrogênio Verde e Derivados - Domínio técnico sobre os principais dispositivos utilizados ao longo da cadeia do hidrogênio, com ênfase na capacidade de integrar sensores, medidores e sistemas digitais para rastreamento contínuo, bem como sobre eletrolisadores, compressores, tanques criogênicos, células a combustível, válvulas de segurança e sistemas de armazenamento, especificações técnicas, protocolos de calibração, manutenção preditiva e monitoramento em tempo real.

6. ESTRATÉGIAS CLIMÁTICAS E GOVERNANÇA SUSTENTÁVEL

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

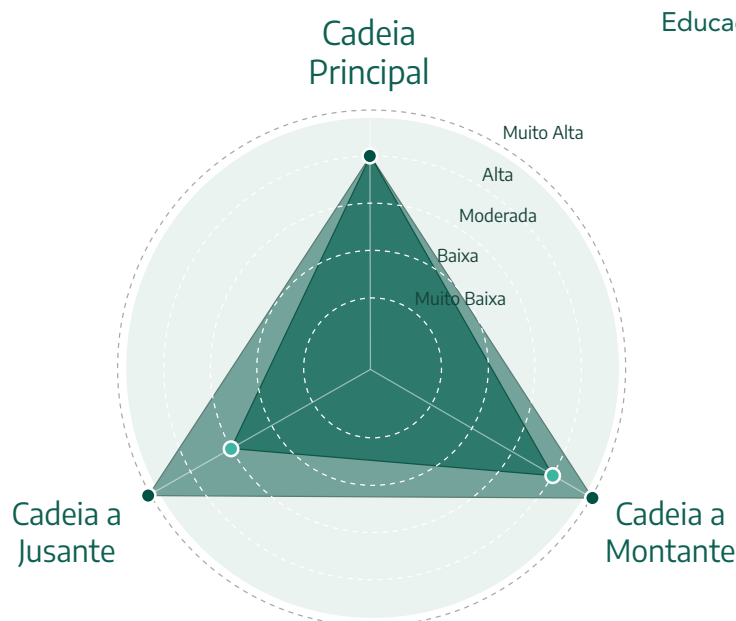
2026

Importância do Perfil Profissional

- Impulsiona o cumprimento de acordos climáticos e metas de descarbonização, fortalecendo a governança socioambiental.
- Promove práticas institucionais alinhadas a critérios ESG, assim como uma cultura organizacional voltada à sustentabilidade.
- Estrutura projetos alinhados com instrumentos financeiros, como títulos verdes, fundos ESG e créditos de carbono.
- Desenvolve e monitora políticas de responsabilidade, gestão de riscos e engajamento de partes interessadas.
- Promove a credibilidade de produtos e serviços por meio da adoção de selos e certificações relacionadas à sustentabilidade.

Atividades

- Analisar e aplicar acordos climáticos, políticas públicas e boas práticas relacionadas ao hidrogênio verde, propondo estratégias de mitigação e adaptação que promovam a transição energética justa e o cumprimento de metas de descarbonização.
- Desenvolver e implementar estratégias ESG em projetos e cadeias produtivas de hidrogênio verde, integrando indicadores ambientais, sociais e de governança.
- Estruturar projetos de hidrogênio verde elegíveis para captação de recursos por meio de instrumentos financeiros verdes, como títulos verdes (*green bonds*), créditos de carbono e financiamentos climáticos, articulando com investidores e bancos de desenvolvimento, com base na gestão de riscos, de forma a garantir viabilidade econômica e impacto social e ambiental positivo.
- Elaborar políticas e programas de gestão socioambiental em empreendimentos de hidrogênio verde, promovendo a gestão dos riscos sociais e ambientais e o relacionamento com comunidades impactadas.
- Assessorar processos de obtenção de certificações e selos ambientais aplicáveis ao hidrogênio verde, como certificações de hidrogênio de baixo carbono, ISO 14001 e rótulos de energia limpa, assegurando rastreabilidade e conformidade com exigências nacionais e internacionais.
- Atuar na articulação intersetorial (governo, setor privado, academia e sociedade civil) para a governança sustentável da cadeia do hidrogênio verde, garantindo alinhamento estratégico, cooperação institucional e participação social em decisões sobre infraestrutura, produção, distribuição e uso do hidrogênio.
- Produzir e analisar inventários de emissões, planos de descarbonização e relatórios de sustentabilidade específicos para projetos de hidrogênio verde, contribuindo com transparência, monitoramento contínuo e comunicação dos resultados socioambientais a partes interessadas.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Acordos Climáticos Internacionais e Compromissos Locais - Conhecimento aprofundado de políticas públicas, marcos regulatórios e compromissos multilaterais, objetivando suas traduções em estratégias e práticas locais voltadas ao fomento da indústria do hidrogênio verde, além do entendimento das metas nacionais de descarbonização (como as NDCs), instrumentos de governança climática e planos setoriais de mitigação e adaptação.

Certificações e Padrões de Sustentabilidade para o Hidrogênio Verde - Domínio de normas, protocolos e instrumentos de certificação aplicáveis à sustentabilidade da cadeia do hidrogênio verde, incluindo o conhecimento técnico e regulatório sobre certificações como CertifHy, Certificação de Origem Renovável, ISO 14001 e rótulos internacionais de energia limpa, além de frameworks ESG, para assegurar conformidade legal e comercial, mitigar riscos e viabilizar o acesso a mercados regulados e a financiamentos sustentáveis.

Avaliação de Ciclo de Vida e Pegada de Carbono - Conhecimento sobre metodologias de Análise de Ciclo de Vida (ACV) e de cálculo da pegada de carbono de processos e produtos associados ao hidrogênio verde, subsidiando decisões estratégicas e relatórios de sustentabilidade. Inclui o conhecimento e uso de ferramentas normatizadas (como ISO 14040 e ISO 14067), bases de dados específicas e indicadores que surgirão no setor, além de indicadores reconhecidos por mercados e órgãos reguladores.

Ética, Transparência e Responsabilidade Socioambiental e Cultural na Governança Sustentável - Conhecimento sobre os princípios e práticas que assegurem integridade, equidade e prestação de contas nos processos decisórios associados à cadeia do hidrogênio verde. Conhecimento sobre a implementação de políticas de transparência institucional, responsabilidade corporativa socioambiental, respeito à diversidade cultural, especialmente na produção e divulgação qualificada de informações, no engajamento ativo com as partes interessadas e na incorporação de projetos e operação de empreendimentos.

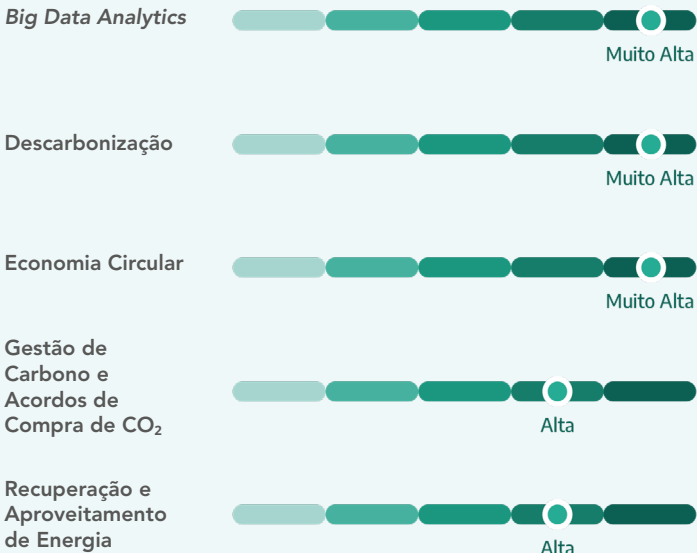
Gestão Socioambiental, Licenciamento e Planejamento Territorial - Conhecimento técnico e normativo sobre os instrumentos de gestão socioambiental aplicáveis a empreendimentos associados ao hidrogênio verde, com ênfase nos processos de licenciamento ambiental, avaliação de impactos e gestão de riscos. Inclui também o conhecimento na aplicação de ferramentas como Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), Planos de Controle Ambiental (PCA), análise de alternativas locacionais e medidas de mitigação e compensação.

Finanças Verdes, Sustentáveis e Climáticas - Conhecimento sobre instrumentos financeiros e econômicos e critérios técnicos aplicados à estruturação, avaliação e captação de recursos para projetos de hidrogênio verde com foco em sustentabilidade e descarbonização, além do conhecimento de títulos verdes (*green bonds*), créditos de carbono, taxonomias sustentáveis, financiamento climático, *blended finance* e precificação de carbono.

Governança Multinível, Participação Social e Justiça Climática - Conhecimento sobre estruturas e mecanismos de governança que articulam múltiplos níveis institucionais (local, regional, nacional e internacional) e diversos atores na formulação, implementação e monitoramento de políticas e projetos relacionados ao hidrogênio verde, além do domínio de metodologias e técnicas de gestão participativa que promovem a atuação ativa da sociedade nos processos decisórios e de planejamento.

7. ESTRATÉGIAS DE SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA CIRCULAR PARA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

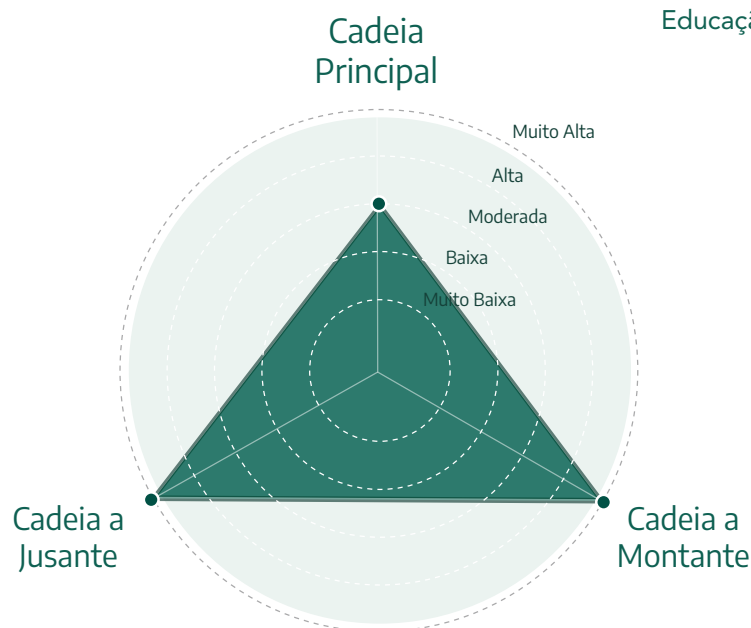
2026

Importância do Perfil Profissional

- Contribui estrategicamente para a transição energética e climática por meio da implementação de soluções técnicas de descarbonização e uso eficiente de recursos.
- Integra inovação tecnológica, eficiência operacional e sustentabilidade em cadeias produtivas e sistemas industriais.
- Apoia a reestruturação de cadeias de valor e consumo com base nos princípios da economia circular.
- Atua na articulação de aspectos regulatórios, econômicos, tecnológicos e ambientais em diferentes setores e territórios.
- Fomenta o desenvolvimento de projetos industriais sustentáveis com foco na circularidade e no alinhamento regulatório.

Atividades

- Planejar e implementar estratégias de descarbonização e eficiência energética em processos industriais e logísticos, considerando metas climáticas e critérios de viabilidade técnica, jurídica, econômica e ambiental.
- Aplicar ferramentas de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), pegada de carbono e indicadores ESG para embasar decisões em projetos industriais e políticas de sustentabilidade.
- Desenvolver rotas tecnológicas para o reaproveitamento de resíduos, coprodutos e materiais descartados, promovendo a circularidade e a redução de perdas nas cadeias produtivas.
- Estruturar cadeias produtivas e modelos de negócio com base nos princípios da economia circular, integrando logística reversa e ecodesign.
- Gerenciar indicadores-chave de desempenho (KPIs) relacionados à sustentabilidade ambiental, social, governamental e econômica, alinhados a frameworks que assegurem transparência e abrangência e sustentabilidade e impacto financeiro.
- Utilizar tecnologias digitais como *big data*, Internet das Coisas e sistemas de rastreabilidade para monitorar fluxos de materiais, emissões e eficiência dos recursos.
- Articular parcerias interinstitucionais e contratos colaborativos para viabilizar projetos sustentáveis com base em inovação aberta, financiamento verde e alinhamento regulatório.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Descarbonização e Transição Energética - Domínio de estratégias, políticas públicas e tecnologias voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e à substituição de fontes fósseis por vetores energéticos de baixo carbono, como hidrogênio verde, biometano, e-combustíveis e eletrificação direta. Inclui soluções baseadas na natureza, tecnologias eficientes, CCS/CCU e mecanismos de compensação e precificação de carbono, alinhando inovação, segurança energética, justiça climática e metas de neutralidade.

Gerenciamento Estratégico de Dados - Domínio de metodologias, plataformas digitais e tecnologias emergentes aplicadas ao planejamento, monitoramento e otimização de sistemas ambientais, energéticos, logísticos e produtivos, com capacidade de estruturar, integrar e analisar grandes volumes de dados de múltiplas fontes.

Gestão do Ciclo de Vida - Domínio das metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), conforme as ISO 14040 e 14044, aplicadas à mensuração de impactos ambientais, sociais e econômicos em sistemas de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio, análise de matérias-primas críticas, reciclabilidade, extensão de vida útil, indicadores ESG e uso de ferramentas digitais, contribuindo para decisões sustentáveis e estratégicas.

Acordos de Cooperação, Contratos e Convênios - Domínio técnico, jurídico e estratégico voltado à estruturação, negociação e gestão de instrumentos legais que formalizam parcerias entre instituições públicas, privadas e do terceiro setor. Inclui o conhecimento normativo e operacional para elaboração de termos de cooperação técnica, convênios, contratos, acordos de fomento e outros dispositivos que assegurem a viabilidade legal, financeira, técnica e operacional de projetos colaborativos, alinhados a marcos legais específicos.

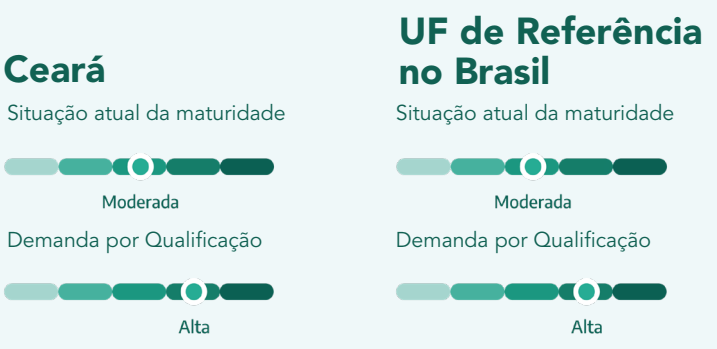
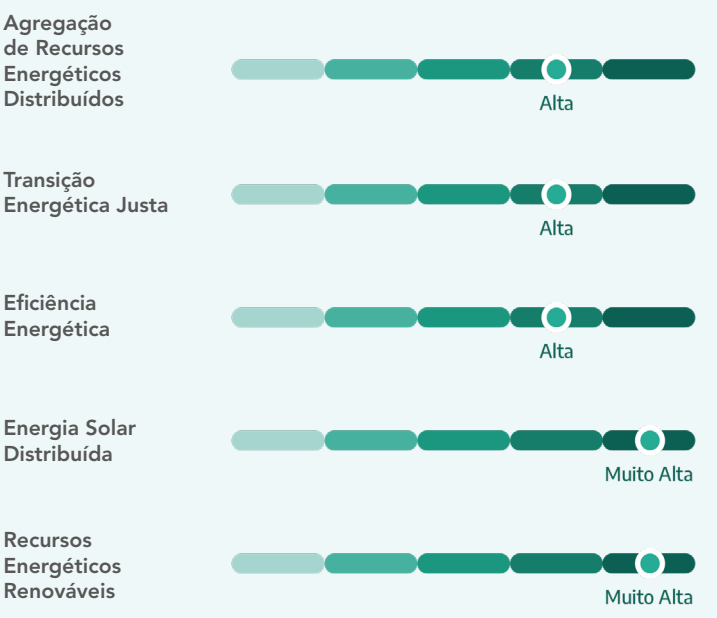
Gestão de Indicadores de Desempenho - Domínio técnico e estratégico voltado à construção, ao monitoramento e à interpretação de indicadores-chave de desempenho em sustentabilidade, eficiência energética, gestão ambiental e governança corporativa, além de métricas quantitativas e qualitativas, análise de *benchmarks* setoriais e elaboração de relatórios baseados em *frameworks* reconhecidos internacionalmente. Inclui o conhecimento de sistemas de gestão orientados por dados, plataformas digitais de monitoramento, painéis de indicadores e avaliação da performance.

Otimização e Padronização de Processos - Capacidade analítica e operacional voltada à modelagem, diagnóstico e aprimoramento contínuo de fluxos produtivos e logísticos, com foco em eficiência e integração de práticas sustentáveis à cadeia de valor. Inclui o domínio na aplicação de metodologias como *Lean Manufacturing*, Digitalização, *Six Sigma* e *Business Process Management*, aliadas a sistemas de geolocalização, rastreabilidade digital e análise de dados.

Economia Circular - Domínio técnico e conceitual de estratégias voltadas à reintegração de materiais e energia nos ciclos produtivos, por meio de práticas como reutilização, remanufatura, recuperação e reciclagem, visando eliminar o desperdício, reduzir a extração de recursos primários e minimizar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos. Inclui o conhecimento no redesenho de produtos e processos com foco em modularidade, durabilidade, reparabilidade, eficiência de materiais e transformação de resíduos em recursos secundários de alto valor agregado.

8. GERENCIAMENTO INTEGRADO DE SOLUÇÕES ENERGÉTICAS SUSTENTÁVEIS

Tendências



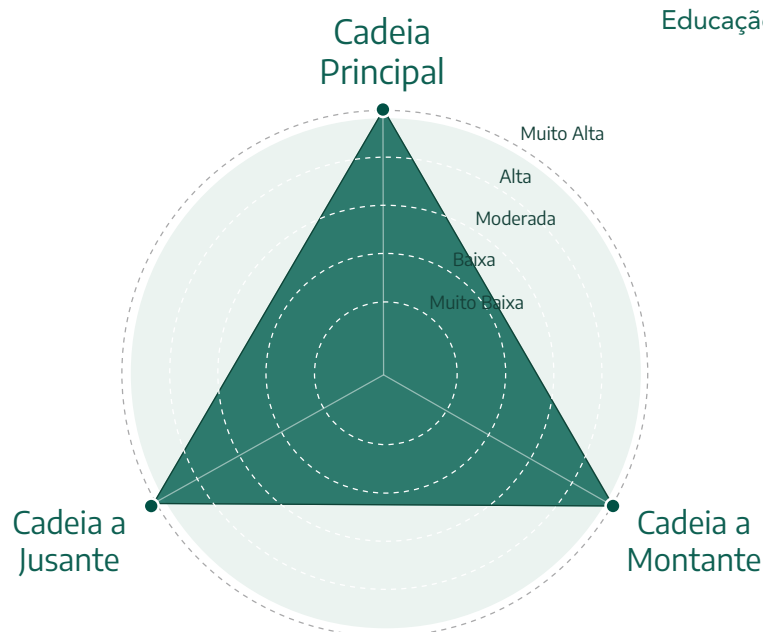
Intensificação da Demanda
2030

Importância do Perfil Profissional

- Viabiliza a transição energética por meio da integração de múltiplas fontes renováveis.
- Promove a eficiência na gestão de recursos energéticos distribuídos, reduzindo custos e emissões.
- Garante a interoperabilidade entre tecnologias energéticas, digitais e operacionais.
- Contribui para a descentralização da matriz energética, com foco em eficiência, sustentabilidade e inovação.
- Favorece a resiliência e a equidade de sistemas energéticos diante das demandas crescentes e das mudanças climáticas, promovendo a sustentabilidade e a justiça social no processo de transição energética.

Atividades

- Planejar e implementar soluções híbridas integradas de energia renovável — como solar, biomassa e hidrogênio —, articulando geração, conversão, armazenamento e distribuição com base em critérios de eficiência energética, segurança e viabilidade técnico-econômica.
- Gerenciar o desempenho técnico, operacional e financeiro de sistemas energéticos sustentáveis, com foco na redução de perdas, maximização da eficiência e aumento da confiabilidade da oferta.
- Coordenar projetos de geração distribuída, biocombustíveis e energias renováveis para promover a incorporação por sistemas de armazenamento e estratégias de resposta à demanda, especialmente em ambientes industriais e comunidades isoladas.
- Integrar tecnologias digitais — como *smart grids*, medidores inteligentes, sensores autônomos e plataformas de gerenciamento energético — à operação de sistemas energéticos, garantindo integração operacional eficiente e comunicação de sistemas, organizações ou tecnologias, compartilhando dados e informações, otimização em tempo real e governança de dados.
- Avaliar e gerir, de forma integrada, os impactos ambientais, sociais e regulatórios associados à implementação de soluções energéticas descentralizadas, considerando marcos normativos, riscos climáticos e critérios ambientais, sociais e de governança (ESG).
- Dimensionar e aplicar sistemas de armazenamento de energia como elementos-chave para estabilidade de redes, suporte à variabilidade das fontes intermitentes e balanceamento dinâmico da oferta e demanda.
- Utilizar ferramentas de modelagem, simulação e análise preditiva para otimizar a operação integrada de múltiplas fontes em microrredes e sistemas isolados, antecipando cenários críticos e apoiando decisões estratégicas de expansão ou adaptação da infraestrutura.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Simulação e Modelagem - Domínio de ferramentas de simulação e modelagem aplicadas à representação virtual de fenômenos físicos, químicos e operacionais, utilizando modelos matemáticos determinísticos e estocásticos, bem como inteligência de dados e análise preditiva para otimizar processos, validar projetos, reduzir custos, antecipar cenários críticos e apoiar decisões estratégicas em sistemas energéticos complexos.

Regulamentações - Compreensão das normas, marcos legais e *frameworks* regulatórios nacionais e internacionais, como ISO 22734, ISO 19880, IEC 62282, além dos referenciais nacionais, como ABNT, ANP e MME, assegurando conformidade técnica, jurídica, ambiental e operacional, bem como certificação de origem, rastreabilidade e segurança em projetos vinculados à transição energética e ao uso de hidrogênio.

Estratégias Direcionadas à Competitividade Industrial - Conhecimento sobre construção de estratégias de competitividade industrial, combinando inteligência de mercado, análise de tendências, *foresight* tecnológico, *benchmarking* internacional, *roadmaps* setoriais e ferramentas como SWOT, para apoiar o posicionamento estratégico, a antecipação de riscos, a exploração de oportunidades e o fortalecimento das cadeias produtivas diante dos desafios da transição energética, da digitalização e da sustentabilidade.

Smart Grids, Armazenamento e Novas Fontes Energéticas - Domínio dos princípios, arquiteturas e tecnologias aplicadas a redes elétricas inteligentes e geração de energia, que incluem dispositivos de armazenamento, eólica *offshore*, micro e mini-geração, integração de fontes renováveis, automação, comunicação bidirecional, resposta à demanda, sensores e plataformas digitais, assegurando flexibilidade, resiliência, eficiência, confiabilidade e sustentabilidade dos sistemas energéticos descentralizados.

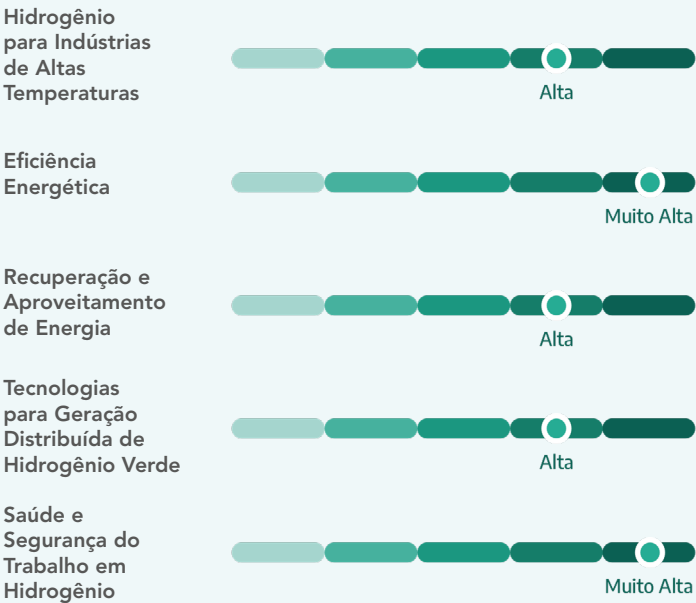
Mercado de Energia e Eficiência Energética - Compreensão do funcionamento dos mercados de energia, incluindo viabilidade econômica, competitividade industrial, estruturação financeira, bancabilidade, ambientes de contratação regulado e livre, formação de preços, leilões, regras operacionais e participação dos agentes, bem como domínio dos princípios de eficiência energética aplicada a processos industriais, edificações e sistemas, por meio de diagnósticos, indicadores de desempenho, automação, gestão energética e tecnologias digitais orientadas à redução de perdas, custos e emissões.

Logística Avançada - Conhecimento sobre gestão logística aplicada a cadeias produtivas complexas, envolvendo planejamento dinâmico, rastreabilidade, roteirização, armazenamento, transporte multimodal e logística reversa, com suporte de tecnologias emergentes como *blockchain*, *IoT*, *digital twins*, sensores inteligentes e análise preditiva, garantindo eficiência operacional, segurança, sustentabilidade, redução de custos e resiliência na movimentação de insumos, equipamentos e energia.

Produção, Uso e Armazenamento do Hidrogênio - Domínio das principais rotas de produção de hidrogênio — como eletrólise (PEM, AEM, SOEC), reforma de metano com CCS, gaseificação de biomassa e ciclos termoquímicos —, além das tecnologias de armazenamento físico (cilindros de alta pressão, tanques criogênicos) e químico (hidretos metálicos, MOFs, LOHCs), considerando parâmetros como densidade energética, segurança, viabilidade econômica e integração entre geração, armazenamento, transporte e uso, fundamentais para viabilizar aplicações industriais, mobilidade e geração elétrica sustentável.

9. GESTÃO EM PROCESSOS TERMOENERGÉTICOS COM HIDROGÊNIO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Moderada

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

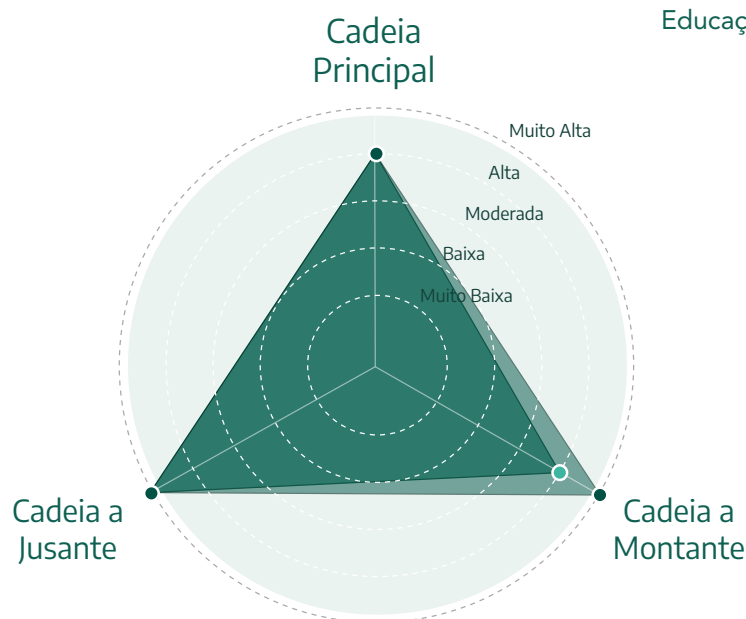
2030

Importância do Perfil Profissional

- Promove a eficiência energética na conversão térmica por meio da utilização do hidrogênio.
- Viabiliza a descarbonização de processos térmicos industriais de alta intensidade energética.
- Integra novas tecnologias termoenergéticas à matriz de produção baseada em hidrogênio.
- Garante segurança, confiabilidade e desempenho em sistemas térmicos adaptados a novos insumos energéticos.
- Contribui para a transição energética e a adoção de soluções econômicas e ambientalmente sustentáveis em escala industrial.

Atividades

- Gerenciar sistemas de geração, conversão e reaproveitamento de energia térmica com uso de hidrogênio.
- Planejar e supervisionar processos termoenergéticos em plantas industriais, fazendo uso de estratégias técnicas e econômicas de eficiência energética e sustentabilidade ambiental.
- Integrar o hidrogênio como insumo industrial e energético em substituição a combustíveis fósseis.
- Gerenciar a identificação de riscos operacionais e coordenar a implementação de medidas de segurança em ambientes de alta temperatura e pressão, assegurando conformidade normativa, integridade operacional e proteção de pessoas e ativos.
- Supervisionar a aplicação de ferramentas de monitoramento e análise de desempenho termoenergético, visando a melhoria de processos, melhoria contínua e decisões baseadas em dados.
- Gerenciar e otimizar ciclos termodinâmicos que utilizam hidrogênio como insumo industrial e energético, considerando diferentes segmentos e escalas de aplicação.
- Planejar e coordenar a implementação de tecnologias de armazenamento térmico e recuperação de calor residual em sistemas alimentados por hidrogênio.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Produção, Uso e Armazenamento do Hidrogênio - Domínio das rotas tecnológicas para produção de hidrogênio, reforma de metano, gaseificação de biomassa e ciclos termoquímicos, além do conhecimento das soluções de seus armazenamentos físico e químico, considerando critérios como eficiência energética, integração com a rede elétrica, segurança, densidade, logística, viabilidade técnico-econômica e integração entre geração, uso e armazenamento para aplicações industriais e energéticas.

Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - Compreensão dos processos de pesquisa, desenvolvimento e inovação voltados ao hidrogênio e à eficiência termoenergética, envolvendo desde testes experimentais em bancada, plantas-piloto e simulações computacionais até a validação de tecnologias em níveis de TRL 6 a 9, articulando centros de pesquisa, universidades, indústria, consumidores e políticas públicas.

Sistemas de Controle e Segurança - Conhecimento sobre o desenvolvimento e aplicação de sistemas de controle, automação e segurança em processos termoenergéticos com hidrogênio, envolvendo inteligência artificial, *big data*, simulação computacional, sensores inteligentes, SCADA, PLCs, protocolos operacionais, análises de risco e planos de contingência, assegurando monitoramento em tempo real, resposta rápida a anomalias, integridade dos processos e proteção de pessoas, equipamentos e meio ambiente.

Políticas Públicas e Governança - Domínio dos instrumentos de formulação de projetos e sua execução, atendendo às políticas públicas, bem como dos modelos de governança multiescalar aplicados à transição energética, considerando marcos como a Política Nacional do Hidrogênio (PNH₂), incentivos à inovação, financiamento climático, regulação setorial nacional e internacional, articulando interesses públicos e privados para viabilizar projetos sustentáveis, atrair investimentos e consolidar a descarbonização em setores, como indústria, agronegócio e outros.

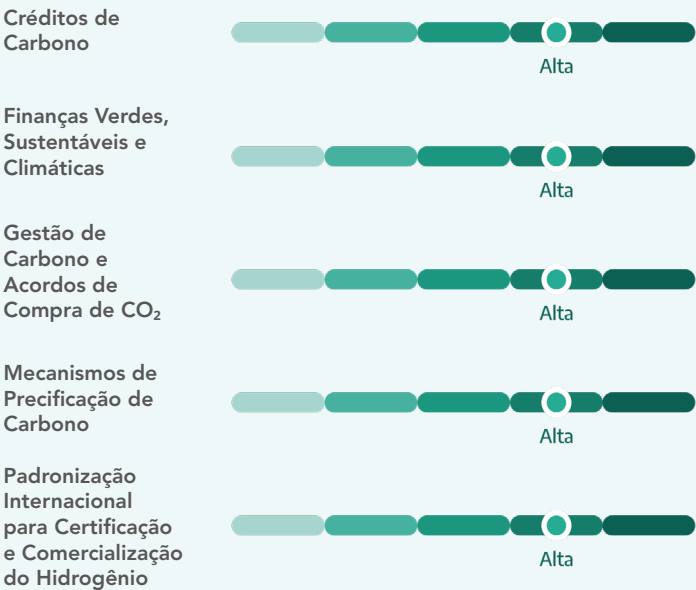
Tecnologia de Materiais e Processos Químicos Sustentáveis - Compreensão dos princípios de desenvolvimento de materiais e processos químicos industriais sustentáveis aplicados à cadeia do hidrogênio, incluindo síntese de catalisadores com alta eficiência, membranas seletivas, eletrodos condutores e materiais resistentes à corrosão, além da Análise de Ciclo de Vida (ACV), eficiência energética, uso de insumos não tóxicos, minimização de resíduos e viabilidade de reciclagem, assegurando sustentabilidade, desempenho e segurança de processos e operacionalização em escala industrial.

Transição Energética Eficiente e Inovação Industrial - Conhecimento sobre as estratégias técnicas e econômicas para descarbonização de sistemas térmicos e elétricos, incluindo a utilização de hidrogênio de baixo carbono como insumo industrial e energético, integrando energia solar, eólica, biomassa e oceanos, associada a soluções de armazenamento, eletrificação de setores difíceis de descarbonizar, digitalização, uso de gêmeos digitais, *smart grids* e desenvolvimento de sistemas energéticos distribuídos, promovendo flexibilidade, resiliência, competitividade industrial e alinhamento com metas climáticas globais.

Termodinâmica - Domínio dos fundamentos da termodinâmica aplicados à conversão, transferência e conservação de energia, abrangendo leis fundamentais, variáveis de estado (entalpia, entropia, exergia, energia livre de Gibbs), análise de ciclos termodinâmicos (Rankine, Brayton, Otto), transformações de fase e reações endotérmicas ou exotérmicas, assegurando o dimensionamento, a otimização e a avaliação de eficiência de sistemas termoenergéticos com hidrogênio, fundamentais para a sustentabilidade e a descarbonização em setores, como indústria, agronegócio e outros.

10. GESTÃO FINANCEIRA DA CADEIA DE HIDROGÊNIO VERDE

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Alta

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Alta



Intensificação da Demanda

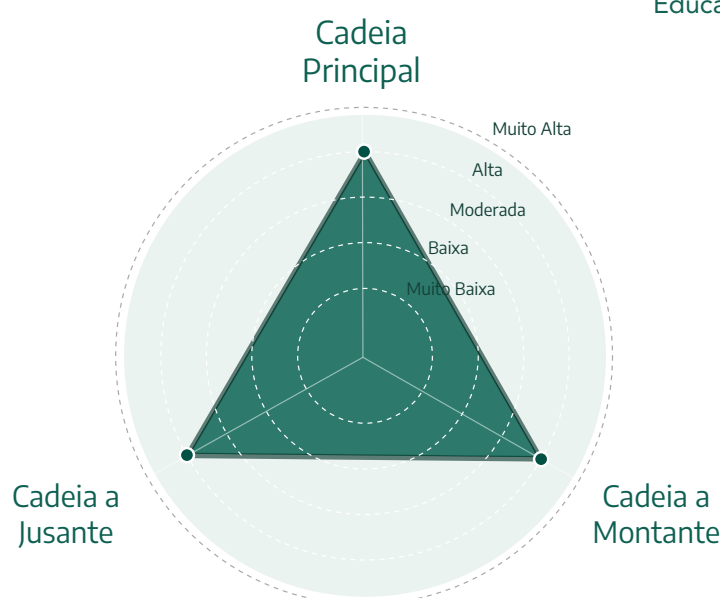
2030

Importância do Perfil Profissional

- Articula a governança financeira e climática em torno da geração de valor por meio de créditos de carbono, impulsionados pelo uso estratégico do hidrogênio verde na transição para uma economia de baixo carbono.
- Aplica os critérios de elegibilidade, mensuração de impacto e reporte exigidos por investidores e instituições financeiras, em iniciativas de descarbonização com hidrogênio verde.
- Desenvolve modelos contratuais que garantem a aquisição de reduções certificadas de emissões.
- Conduz o processo de implementação de instrumentos econômicos de precificação de carbono, como taxas de carbono e sistemas de comércio de emissões (ETS).
- Garante a conformidade com mercados internacionais, assegurando que os projetos estejam aptos à certificação e à inclusão no mercado global.

Atividades

- Elaborar e implementar projetos que utilizam o hidrogênio verde como vetor de descarbonização.
- Analisar e adaptar projetos da cadeia do hidrogênio para atender a critérios de financiabilidade e elegibilidade.
- Coordenar sistemas de MRV (medição, relato e verificação), assegurando a rastreabilidade e a credibilidade dos resultados de descarbonização, conforme padrões estabelecidos e *frameworks* de finanças sustentáveis.
- Redigir, negociar e acompanhar atributos ambientais vinculados ao hidrogênio verde, articulando aspectos técnicos, financeiros e jurídicos.
- Avaliar o impacto de políticas públicas, como o Sistema de Comercialização de Emissões (ETS), o Mecanismo de Ajuste de Fronteira de Carbono (CBAM) e taxaço de carbono sobre a viabilidade econômica de projetos, orientando estratégias de mitigação de riscos regulatórios e precificação.
- Assegurar que os projetos estejam em conformidade com requisitos técnicos e ambientais de certificação internacional, habilitando a comercialização em mercados externos.
- Atuar com *stakeholders* corporativos para alinhar estratégias de financiamento e investimentos, contribuindo para a obtenção dos resultados pretendidos.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Compliance Ambiental e Regulação Econômica - Domínio das normas, diretrizes e mecanismos de controle que regulam as atividades produtivas sob a ótica ambiental e econômica, com ênfase em projetos de transição energética e cadeias associadas ao hidrogênio verde, bem como legislações ambientais vigentes, diretrizes nacionais e compromissos multilaterais, além da aplicação de *frameworks* de governança.

Formalização de Contratos Comerciais e Financeiros - Conhecimento técnico e jurídico necessário para estruturar contratos vinculados a metas climáticas, transações sustentáveis e financiamento de projetos de hidrogênio verde e seus derivados, instrumentos como *Power Purchase Agreements* (PPAs) para energia renovável, contratos de fornecimento de H₂V, contratos atrelados à performance ambiental e mecanismos de *project finance* voltados à infraestrutura limpa, bem como a integração de cláusulas ESG, de compartilhamento de riscos climáticos e de monitoramento de indicadores de desempenho ambiental.

Gestão de Riscos Climáticos - Conhecimento de critérios de identificação, mensuração e mitigação dos riscos físicos, regulatórios e de transição associados às mudanças climáticas que impactam projetos energéticos, cadeias de suprimento e investimentos em hidrogênio verde, o mapeamento de vulnerabilidades a eventos extremos (como secas, inundações, tempestades), o monitoramento de variáveis climáticas críticas para operações industriais e a elaboração de estratégias de adaptação baseadas em evidências científicas.

Modelos de Mensuração, Relato e Verificação (MRV) - Domínio técnico e normativo de metodologias utilizadas para quantificar, relatar e auditar as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e os benefícios climáticos associados ao uso do hidrogênio verde ao longo de sua cadeia de valor, protocolos internacionalmente reconhecidos, além de metodologias específicas de mensuração de emissões evitadas e a estruturação de sistemas digitais de monitoramento, rastreamento de origem renovável e o uso de indicadores auditáveis para comunicação transparente com investidores, reguladores e certificadoras.

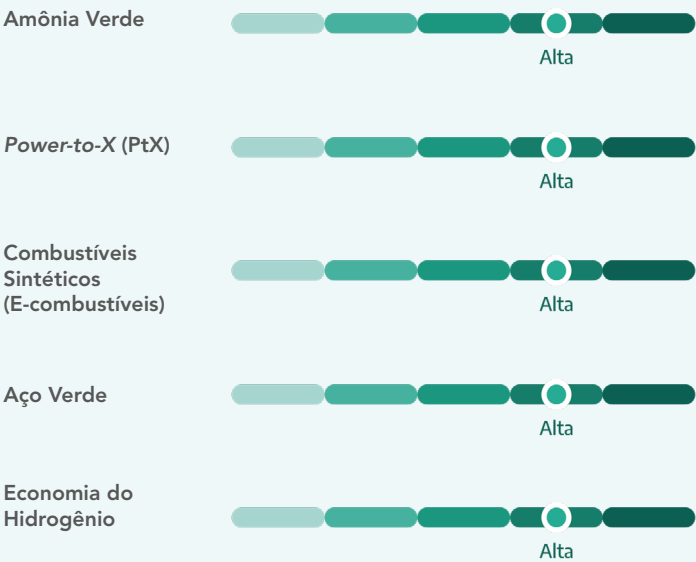
Políticas de Precificação de Carbono - Conhecimento e aplicação dos mecanismos econômicos que atribuem um valor monetário às emissões de gases de efeito estufa, influenciando diretamente a competitividade e viabilidade de projetos de hidrogênio de baixo carbono. Abrange instrumentos de quantificação e sistemas de comércio de emissões (ETS).

Análise e Viabilidade Técnica e Econômica - Avaliação integrada de aspectos técnicos, financeiros, regulatórios e socioambientais que influenciam a viabilidade de projetos com hidrogênio verde e de baixo carbono, incluindo análise de mercado, projeções de custos, retorno sobre investimento, fluxo de caixa, modelagem de cenários, *benchmarking* setorial e identificação de riscos e oportunidades com base em dados estratégicos e exigências de financiabilidade.

Taxonomias Verdes e Investimento Internacional - Compreensão das classificações técnicas e regulatórias que definem quais atividades econômicas são consideradas ambientalmente sustentáveis, conforme critérios de mitigação climática, adaptação, uso racional de recursos e proteção à biodiversidade, taxonomias como a da União Europeia, a *Climate Bonds Initiative* (CBI), a *International Platform on Sustainable Finance* (IPSF) e os esforços para criação de taxonomias nacionais.

11. HIDROGÊNIO VERDE E DEMAIS COMBUSTÍVEIS DERIVADOS

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Alta

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Alta



Intensificação da Demanda

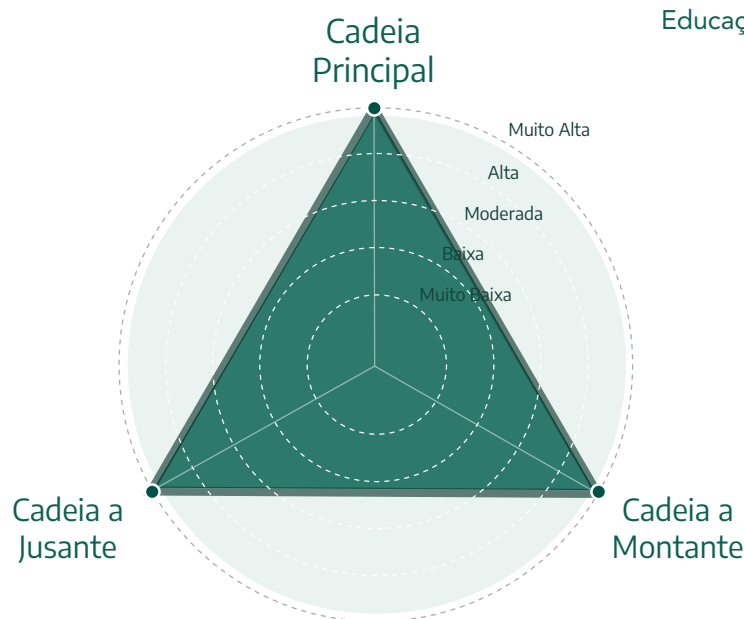
2030

Importância do Perfil Profissional

- Contribui para a descarbonização de setores de difícil eletrificação, como aviação e transporte marítimo, por meio da substituição de combustíveis fósseis por vetores derivados do hidrogênio.
- Fomenta o uso e a exportação de hidrogênio em forma líquida ou gasosa, facilitando sua inserção em mercados internacionais.
- Desenvolve soluções para a integração das infraestruturas já existentes de transporte, armazenamento e distribuição de combustíveis fósseis, visando à inserção do hidrogênio de baixo carbono e à redução dos custos de transição.
- Integra CO₂ capturado com hidrogênio verde, promovendo ciclos de carbono fechados e contribuindo para metas de neutralidade climática.
- Desenvolve soluções de transição energética para aplicação imediata, fortalecendo cadeias produtivas sustentáveis e exportáveis.

Atividades

- Gerir a produção de amônia de baixo carbono via reação entre hidrogênio e nitrogênio com energia de baixa emissão de carbono, respeitando padrões internacionais de rastreabilidade e certificação ambiental.
- Projetar a produção de combustíveis sustentáveis, tais como *Sustainable Aviation Fuel* (SAF).
- Estruturar processos integrados de síntese de combustíveis de baixo carbono, articulando hidrogênio e CO₂ capturado com rotas eficientes.
- Desenvolver soluções tecnológicas para a produção de e-combustíveis, com foco na viabilidade técnica, energética e ambiental em aplicações de transporte marítimo e rodoviário pesado de longa distância e setores *hard-to-abate*.
- Analisar o custo nivelado do combustível de hidrogênio verde e derivados (LCOF), comparando-os com demais opções, visando a ganho de competitividade.
- Aplicar tecnologias *Carbon Capture and Utilization* (CCU) para integrar CO₂ como matéria-prima, a exemplo do e-metanol, promovendo ciclos de carbono fechados.
- Otimizar processos catalíticos e energéticos envolvidos nas reações de conversão, com foco em rendimento, estabilidade e redução de emissões.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Síntese de Combustíveis Sintéticos - Domínio de processos termoquímicos, catalíticos e eletroquímicos voltados à conversão de hidrogênio verde em combustíveis líquidos ou gasosos de baixo carbono, como amônia, metanol, e-kerosene, diesel sintético e outros *e-fuels*. Envolve o conhecimento de rotas como a síntese de metanol ($H_2 + CO_2$), a produção de amônia verde via Haber-Bosch adaptado e a síntese Fischer-Tropsch para hidrocarbonetos líquidos.

Tecnologias Limpas e de Baixo Carbono - Domínio do desenvolvimento e aplicação de soluções tecnológicas que maximizam a eficiência no uso de fontes renováveis de energia e reduzem emissões de gases de efeito estufa. Inclui o projeto e a operação de sistemas como eletrolisadores, reatores catalíticos e unidades de captura de CO_2 , além da avaliação de desempenho energético e ambiental com base em indicadores como pegada de carbono, energia incorporada e circularidade.

Rotas Tecnológicas de Conversão de Hidrogênio - Domínio de processos termoquímicos, catalíticos e híbridos que convertem o hidrogênio em combustíveis líquidos ou gasosos de maior densidade energética e valor agregado. Envolve o conhecimento de rotas como a síntese de metanol via hidrogenação de CO_2 , a produção de amônia pelo processo Haber-Bosch adaptado ao H_2 verde e a síntese Fischer-Tropsch para geração de hidrocarbonetos sintéticos e emergentes, como a pirólise assistida por plasma e o coprocessamento com biomassa.

Logística e Armazenamento de Hidrogênio e Combustíveis Derivados - Domínio de soluções técnicas e operacionais para transporte, estocagem e distribuição de combustíveis derivados do hidrogênio, como amônia, metanol, e-querosene e hidrocarbonetos sintéticos. Envolve o conhecimento das propriedades físico-químicas desses vetores energéticos, compatibilidade com materiais, requisitos de segurança e estabilidade em diferentes condições logísticas. Contempla também a adaptação de infraestruturas existentes — como tanques criogênicos, terminais portuários e sistemas de bombeamento — e a análise de custos.

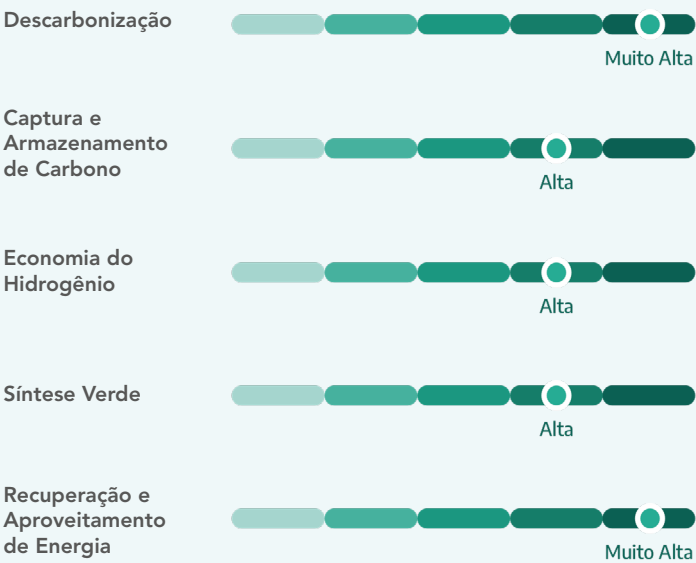
Regulação e Certificação de Combustíveis Sustentáveis - Domínio de normas técnicas, critérios ambientais e instrumentos legais que definem os requisitos para a produção, comercialização e uso de combustíveis derivados do hidrogênio. Envolve a compreensão de marcos regulatórios nacionais e internacionais, como ISO 14067, CORSIA/ICAO e RED II, e certificações como RenovaBio, ISCC, CertifHy e Bonsucro. Inclui também o conhecimento de metodologias para verificação da pegada de carbono, origem renovável da energia utilizada, eficiência do ciclo de vida e conformidade com metas de descarbonização.

Gestão Integrada da Cadeia de Suprimentos - Domínio da coordenação estratégica e operacional dos fluxos de matérias-primas, informações, energia e serviços ao longo de toda a cadeia de valor dos combustíveis derivados do hidrogênio. Envolve o desenvolvimento de práticas colaborativas entre produtores, fornecedores, operadores logísticos e consumidores, com foco em eficiência, rastreabilidade, redução de custos e sustentabilidade. Inclui o uso de tecnologias digitais como *blockchain*, *IoT* e plataformas de monitoramento em tempo real para otimização de estoques, prevenção de riscos e aumento da resiliência.

Descarbonização e Transição Energética - Domínio de estratégias integradas, políticas públicas e tecnologias voltadas à mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e à substituição progressiva de fontes fósseis por vetores energéticos de baixo carbono, como hidrogênio verde, biometano, e-combustíveis e eletrificação direta. Inclui também soluções baseadas na natureza, tecnologias de alta eficiência, CCS/CCU e mecanismos de compensação e precificação de carbono, sempre alinhando inovação tecnológica, segurança energética, justiça climática e metas de neutralidade, com análise dos impactos socioeconômicos associados.

12. INOVAÇÃO PARA TRANSIÇÃO INDUSTRIAL SUSTENTÁVEL

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

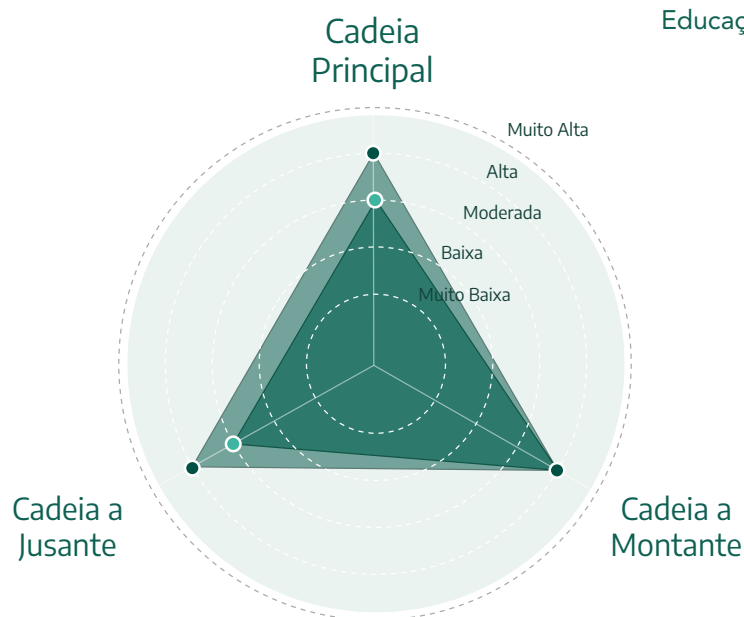
2028

Importância do Perfil Profissional

- Promove a descarbonização de processos industriais por meio de inovações tecnológicas e do uso de hidrogênio verde, elevando a eficiência energética e reduzindo emissões de GEE.
- Viabiliza a integração do hidrogênio verde em processos industriais de alta demanda térmica e química, substituindo fontes fósseis por rotas limpas e tecnologias emergentes.
- Fortalece a capacidade de adaptação tecnológica da indústria, articulando soluções inovadoras em processos, produtos e modelos de negócio alinhados à circularidade e à economia do hidrogênio.
- Acelera a difusão de tecnologias sustentáveis, conectando centros de PD&I, cadeias produtivas, indústrias públicas e privadas, instituições reguladoras e instrumentos financeiros para elevar o TRL e reduzir o tempo de mercado.
- Contribui para a soberania tecnológica nacional, com desenvolvimento de propriedade intelectual, capacitação industrial e internalização de conhecimentos críticos para uma economia de baixo carbono.

Atividades

- Identificar gargalos tecnológicos e operacionais em processos industriais passíveis de substituição de fontes fósseis por hidrogênio verde, com foco em aplicações de alta temperatura, eletrificação indireta e síntese de compostos químicos.
- Desenvolver soluções inovadoras para *retrofit* e *redesign* de plantas industriais, integrando eletrolisadores, sistemas de armazenamento de hidrogênio verde e tecnologias de captura e reaproveitamento de calor residual para maximizar a eficiência energética dos sistemas.
- Planejar e executar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) voltados à adequação de processos industriais à utilização segura e eficiente do hidrogênio verde como vetor energético e químico, incluindo o desenvolvimento de catalisadores, reatores e materiais avançados.
- Avaliar o ciclo de vida (ACV), análise termoeconômica e análise multicritério de processos produtivos e produtos relacionados à cadeia do hidrogênio verde e derivados, para selecionar e implementar soluções tecnológicas de alto impacto para a transição energética da indústria.
- Elaborar estratégias de inovação tecnológica baseadas em economia circular, promovendo o reúso de subprodutos industriais, o aproveitamento de efluentes como insumo para eletrólise e a criação de cadeias produtivas integradas ao ecossistema do hidrogênio verde e derivados.
- Estabelecer parcerias interinstitucionais e redes de cooperação público-privada para acesso à infraestrutura de teste, validação tecnológica e escalonamento industrial de soluções inovadoras para processos de descarbonização com base em hidrogênio verde.
- Apoiar a formulação de políticas industriais e regulatórias para estímulo à adoção de tecnologias inovadoras baseadas em hidrogênio verde, propondo incentivos fiscais e econômicos à inovação, redução de barreiras tecnológicas e mecanismos de certificação e rastreabilidade.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Gestão da Inovação Tecnológica para Hidrogênio Verde e Derivados - Domínio de estratégias e ferramentas de gestão da inovação aplicadas ao desenvolvimento e escalonamento de tecnologias habilitadoras para o hidrogênio verde, com foco na superação do Vale da Morte tecnológico (TRLs 4 a 7). Inclui o conhecimento de modelagem de projetos de inovação aberta, mapeamento de oportunidades de financiamento, aplicação de metodologias ágeis, aplicação de *design thinking* e *roadmaps* tecnológicos voltados à descarbonização da indústria.

Equipamentos e Tecnologias Aplicadas à Cadeia do Hidrogênio Verde e Derivados - Conhecimento técnico sobre pesquisa, desenvolvimento e operação de equipamentos e materiais voltados ao uso do hidrogênio como vetor energético, incluindo eletrodos, membranas, compressores, tanques de estocagem, células a combustível, eletrolisadores (PEM, AEM, SOEC), interfaces de segurança, sensores e sistemas de controle, com foco em eficiência, segurança e conformidade regulatória.

Transição Energética Eficiente e Inovação Industrial - Domínio para a formulação e execução de estratégias tecnológicas avançadas voltadas à descarbonização progressiva do sistema energético, com base na reestruturação das matrizes elétrica e térmica por meio de fontes renováveis e soluções inovadoras, sistemas de energia interconectados, digitalização de redes por meio de *smart grids*, eletrificação de setores de difícil descarbonização, armazenamento em larga escala e aplicação de modelos energéticos descentralizados.

Articulação Interinstitucional e Redes de Cooperação para Inovação - Competência para a mobilização de parcerias estratégicas para o desenvolvimento de soluções sustentáveis baseadas em hidrogênio, incluindo acordos de cooperação técnica, consórcios de inovação, participação em editais de fomento à inovação focados em transição energética, participação em redes internacionais de PD&I (ex.: *Mission Innovation*, IPHE) e construção de ecossistemas de inovação multissetoriais, envolvendo governo, academia, indústria e sociedade civil.

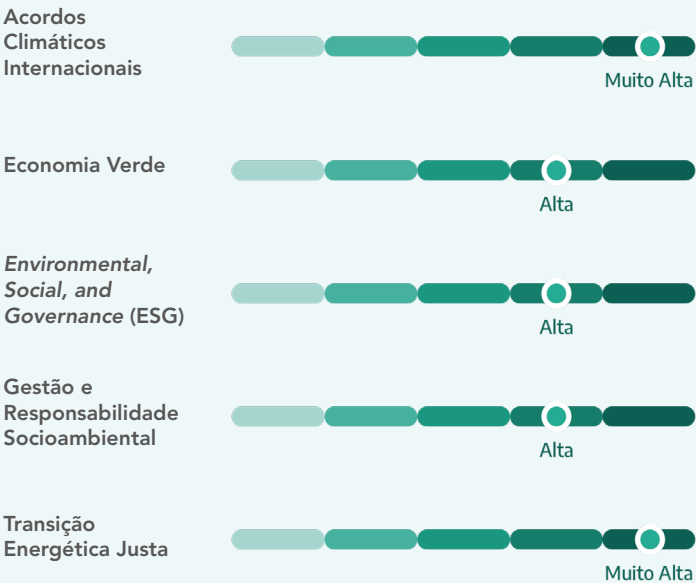
Energias Renováveis e de Baixo Carbono - Conhecimento sobre fontes de energias renováveis provenientes de recursos naturais inesgotáveis, incluindo a análise de seus potenciais de geração, mecanismos de conversão de energia e escala de produção, além do desenvolvimento de novas tecnologias, visando aprimorar a eficiência no aproveitamento energético, no que abrange as etapas de projeto, instalação e operação.

Novos Modelos de Negócio para Economia do Hidrogênio - Análise e desenvolvimento de modelos de negócio baseados em hidrogênio verde e derivados, incluindo contratos de fornecimento, consórcios industriais, mercados voluntários e regulados de carbono, além da estruturação de plataformas industriais compartilhadas (*hubs* de hidrogênio verde). Inclui também o conhecimento de ferramentas de modelagem de negócios adaptadas à economia circular e aos princípios ESG.

Cadeias Produtivas Sustentáveis e Circularidade Industrial - Compreensão das interações entre processos industriais e recursos naturais para otimizar o uso do hidrogênio verde em cadeias produtivas integradas, envolvendo o desenho de simbioses industriais, rotas de aproveitamento de resíduos, integração energética entre plantas (*energy cascading*) e a análise de fluxos de massa e energia com base em princípios de produção limpa e logística reversa.

13. JUSTIÇA SOCIOAMBIENTAL PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

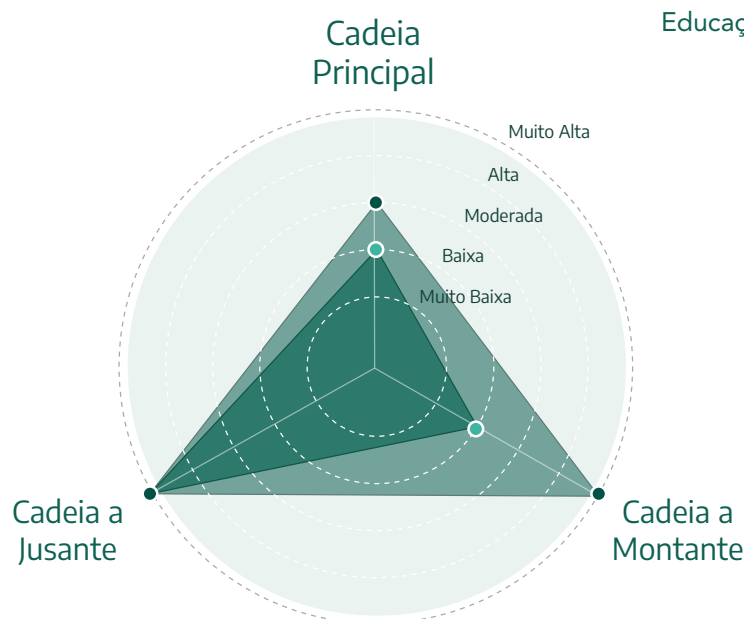
2030

Importância do Perfil Profissional

- Promove a inclusão e a equidade na transição energética, assegurando que os benefícios sejam distribuídos de forma justa e os impactos negativos mitigados, especialmente para comunidades vulneráveis.
- Fortalece a governança socioambiental, garantindo que as decisões sobre projetos de energia considerem os direitos humanos e os interesses das comunidades locais.
- Impulsiona a resiliência territorial e a proteção de populações afetadas diante dos eventos advindos ou potencializados pelas atividades industriais ou naturais.
- Assegura a confiabilidade e a responsabilidade legal dos empreendimentos de transição energética, promovendo práticas éticas e sustentáveis.
- Estimula a cooperação interinstitucional e a articulação multisetorial para a construção de uma agenda climática e energética mais justa e inclusiva.

Atividades

- Interpretar normas ambientais nacionais e internacionais, promovendo a responsabilização legal e a integridade de projetos de transição energética diante das mudanças climáticas.
- Fortalecer estruturas participativas e espaços de diálogo entre governo, empresas, comunidades e sociedade civil, ampliando a escuta qualificada e construindo agendas comuns que promovam transparência e legitimidade na transição energética justa.
- Desenvolver e integrar critérios socioambientais em decisões estratégicas, mediante contextos distintos de aplicação, orientando investimentos sustentáveis e práticas empresariais com menor impacto ambiental.
- Desenvolver instrumentos jurídicos e diagnósticos técnicos que fortaleçam a cooperação interinstitucional, subsidiem políticas públicas e consolidem a governança e a transparência em projetos alinhados à agenda climática e energética.
- Mobilizar redes multissetoriais para projetos climáticos colaborativos, promovendo soluções compartilhadas e inovação territorial em cadeias produtivas sustentáveis.
- Elaborar planos integrados de resiliência climática, com foco na justiça territorial e na proteção de populações vulneráveis diante de eventos extremos naturais e/ou advindos de atividades industriais.
- Aplicar metodologias de valoração de quesitos sociais e ambientais, tangíveis ou intangíveis, subsidiando as tratativas justas entre as partes interessadas e o uso eficiente de recursos em projetos de energia renovável.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Legislação Ambiental, Direitos Humanos e Transparência - Compreensão e aplicação dos princípios da legislação ambiental vigente, incluindo diretrizes internacionais, no que diz respeito à poluição, degradação ambiental e caracterização legal dos recursos naturais, bem como dos instrumentos de gestão e transparência da política nacional de sustentabilidade ambiental e de zonas protegidas, assegurando eficiência jurídica e responsividade às mudanças climáticas.

Governança - Entendimento sobre os sistemas de gestão, monitoramento, controle e liderança das organizações e suas relações com diferentes atores, por meio da comunicação transparente com a localidade do entorno dos empreendimentos e demais partes interessadas, a fim de contribuir para a transparência, a confiabilidade, o valor e a longevidade dos negócios.

Gestão Socioambiental - Conjunto de políticas públicas, decisões empresariais ou práticas que colocam o desenvolvimento sustentável em evidência nas decisões estratégicas das organizações e levam em consideração o impacto e o envolvimento social de comunidades, visando a uma gestão com foco na redução de impactos sociais e ambientais no entorno dos empreendimentos, na produção e no consumo sustentável.

Acordos de Cooperação e Políticas Públicas - Desenvolvimento de estratégias e ações para estabelecer parcerias e fortalecer iniciativas colaborativas entre diferentes instituições. Inclui a elaboração de instrumentos jurídicos para formalizar a cooperação técnica mútua, promovendo o desenvolvimento de programas, projetos ou atividades, e direcionar a formulação de políticas públicas mais aderentes aos contextos de acordos de cooperação internacionais.

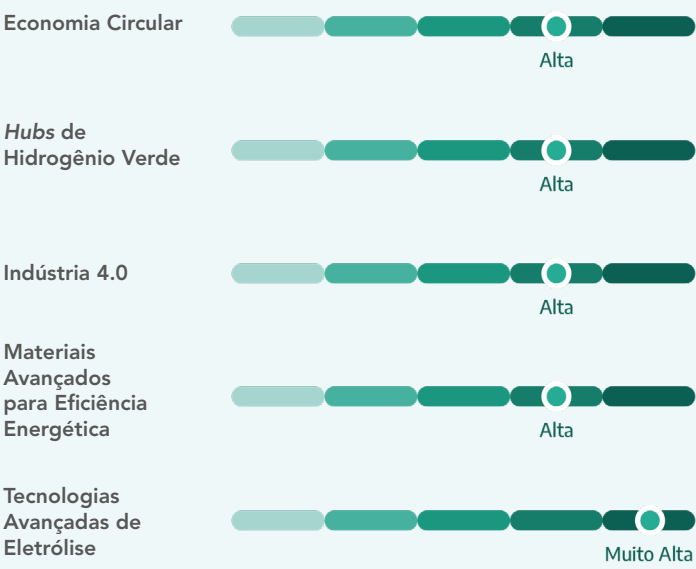
Articulação e Redes de Cooperação - Conhecimento acerca de incentivos e técnicas de viabilização de parcerias e de colaboração mútua entre os diversos atores, visando ao desenvolvimento de programas, projetos ou atividades e à promoção da integração e da sincronia nas atividades de planejamento, gestão, elaboração de instrumentos jurídicos de formalização, execução e medição de desempenho das cadeias produtivas. Inclui também o incentivo à inovação em distintos níveis de escalabilidade.

Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas - Entendimento sobre a vulnerabilidade de cidades, comunidades e ecossistemas às mudanças climáticas, com foco no desenvolvimento de estratégias de adaptação, como a construção de infraestruturas resilientes e sistemas de alerta, além da elaboração de planos de resposta para mitigar os riscos ligados a eventos climáticos extremos e desastres naturais.

Conhecimento Jurídico e Equilíbrio Socioambiental - Conhecimento sobre aspectos jurídicos, técnicas de comunicação social, medidas compensatórias e divulgação de informações sobre impactos empresariais gerados à comunidade, visando balancear os aspectos ambientais com os interesses sociais das comunidades impactadas por projetos de transição energética, garantindo a proteção dos direitos e a promoção da justiça socioambiental.

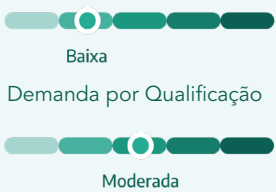
14. MANUFATURA DE EQUIPAMENTOS DA CADEIA DE HIDROGÊNIO VERDE

Tendências



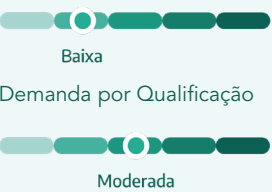
Ceará

Situação atual da maturidade



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



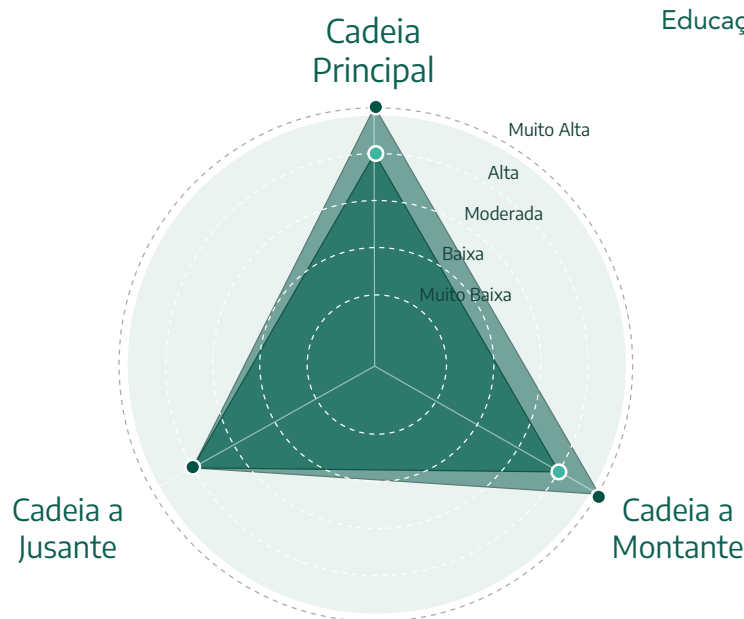
Intensificação da Demanda
2035

Importância do Perfil Profissional

- Promove o desenvolvimento e a fabricação de equipamentos estratégicos para a cadeia produtiva do hidrogênio verde.
- Integra tecnologias industriais e digitais para viabilizar processos produtivos flexíveis, escaláveis e adaptados às exigências da transição energética.
- Garante qualidade, segurança e desempenho na fabricação de equipamentos, considerando requisitos normativos e características do hidrogênio.
- Fomenta cadeias produtivas sustentáveis, integrando fornecedores, eficiência no uso de materiais e práticas de economia circular.
- Contribui para a digitalização e a sustentabilidade da indústria, incorporando tecnologias da Indústria 4.0, automação, sensoriamento inteligente e práticas de economia circular nos processos de manufatura.

Atividades

- Integrar tecnologias de automação, sensores inteligentes e robótica colaborativa em linhas de produção de componentes da cadeia do hidrogênio verde, aplicando princípios da Indústria 4.0 para aumentar a eficiência, a rastreabilidade, a adaptabilidade dos processos e a sustentabilidade socioambiental.
- Projetar sistemas de manufatura avançada com capacidade de reconfiguração rápida, incorporando TICs e arquiteturas modulares para a produção flexível de eletrolisadores, membranas e sistemas pressurizados em escala industrial.
- Aplicar ferramentas da qualidade no controle de processos críticos da manufatura, assegurando a conformidade dimensional e funcional de materiais que reagem com o hidrogênio, válvulas e unidades de compressão para hidrogênio verde.
- Interpretar e implementar normas técnicas nacionais e internacionais na fabricação de equipamentos da cadeia de hidrogênio, garantindo segurança, interoperabilidade e aceitação em mercados regulados.
- Utilizar modelos estatísticos e técnicas de aprendizado de máquina para análise de dados de sensores industriais, antecipando falhas e otimizando planos de manutenção preditiva em linhas de produção de equipamentos energéticos de alta criticidade.
- Mapear fluxos logísticos e relações interinstitucionais nas cadeias produtivas de hidrogênio verde, promovendo projetos de pesquisa e desenvolvimento por meio de redes de cooperação entre a academia e a iniciativa privada.
- Incorporar boas práticas de sustentabilidade industrial no design e na fabricação de equipamentos, incluindo a economia circular, a redução do consumo energético e a adoção de materiais de menor impacto ambiental.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Processos Industriais e Indústria 4.0 - Domínio das tecnologias, métodos e ferramentas aplicadas aos processos industriais, integrando automação, sensoriamento, análise de dados, robótica colaborativa e manufatura digital, bem como o uso de tecnologias da Indústria 4.0 para otimização, rastreabilidade, eficiência e flexibilidade na fabricação de equipamentos para a cadeia do hidrogênio verde.

Sistemas de Manufatura Avançada e de Controle e Segurança - Compreensão dos sistemas de manufatura flexível e reconfigurável, que combinam automação, controle industrial, tecnologias da informação e comunicação (TIC), além de sensores, atuadores e arquiteturas modulares, assegurando operação segura, adaptabilidade e alta precisão na produção de equipamentos críticos da cadeia do hidrogênio.

Gestão, Normalização e Ferramentas da Qualidade - Domínio das normas técnicas nacionais e internacionais aplicáveis, bem como de metodologias de gestão da qualidade, Controle Estatístico de Processos (CEP), Seis Sigma, FMEA, auditorias internas e ferramentas de inspeção que asseguram conformidade dimensional, funcional e de desempenho dos equipamentos, além de garantir sua aceitação em mercados regulados.

Ciências dos Materiais Aplicadas ao Hidrogênio Verde - Conhecimento sobre propriedades físico-químicas, comportamento mecânico e degradação de materiais metálicos, cerâmicos, poliméricos e compósitos, dentre outros, utilizados, por exemplo, na fabricação de eletrolisadores, tanques, válvulas, sensores e sistemas pressurizados, entre outros, considerando resistência à corrosão, integridade estrutural, compatibilidade com hidrogênio, segurança operacional e desempenho em condições extremas de pressão, temperatura e ambientes reativos.

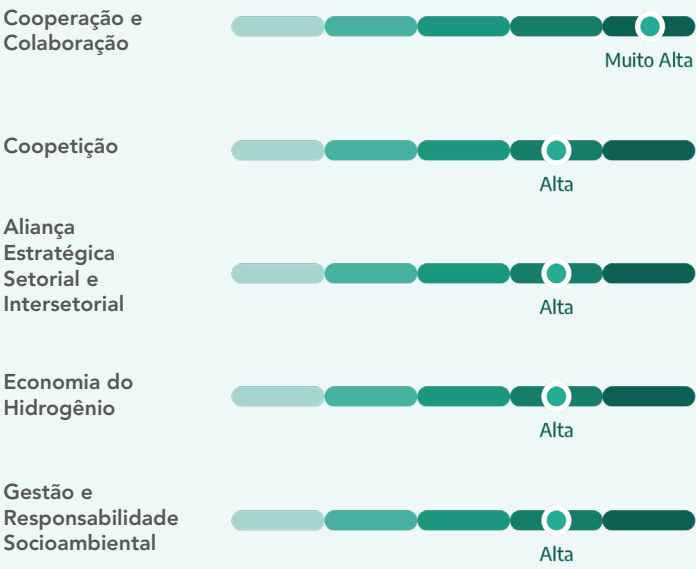
Estatística Aplicada à Manutenção Preditiva e Prescritiva - Domínio de métodos estatísticos, modelos matemáticos e técnicas de *machine learning* para análise de dados provenientes de sensores industriais, permitindo antecipação de falhas, definição de padrões operacionais, otimização de planos de manutenção e suporte à tomada de decisão em ambientes produtivos de alta criticidade.

Cadeias Produtivas e Cooperação entre Entes do Setor Produtivo e Academia - Compreensão das dinâmicas das cadeias produtivas da indústria do hidrogênio, incluindo mapeamento de fornecedores, integração de processos, desenvolvimento de redes de cooperação industrial e logística, com foco na redução de custos, aumento da resiliência produtiva e fortalecimento dos arranjos industriais locais e globais.

Boas Práticas de Sustentabilidade Industrial - Domínio de práticas que promovem sustentabilidade nos processos de manufatura, incluindo uso eficiente de recursos, reaproveitamento de insumos, redução de emissões de gases de efeito estufa, redução de poluentes, escolha de materiais de menor impacto ambiental, economia circular, Análise de Ciclo de Vida (ACV) e alinhamento aos critérios ESG aplicados à cadeia produtiva do hidrogênio verde.

15. NEGOCIAÇÕES E ALIANÇAS COLABORATIVAS PARA O HIDROGÊNIO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Alta

Demanda por Qualificação



Moderada

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Alta

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

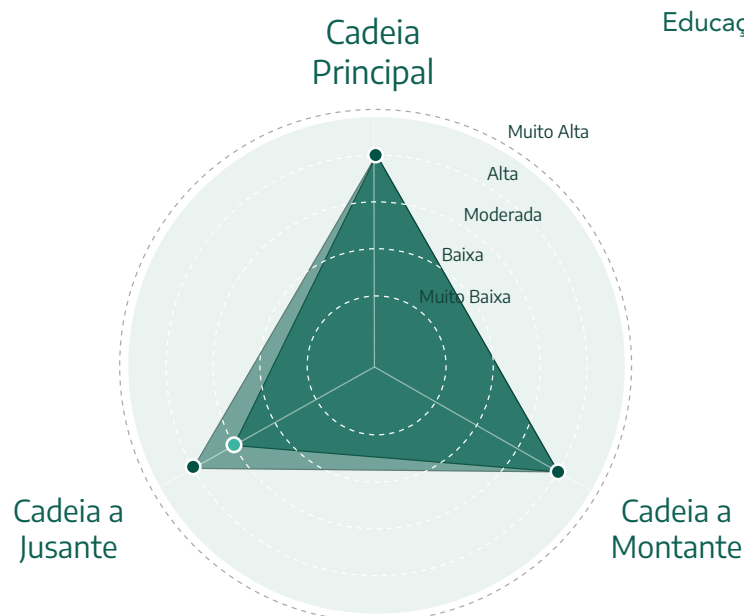
2026

Importância do Perfil Profissional

- Fortalece alianças estratégicas e ambientes colaborativos que impulsionam o desenvolvimento da cadeia do hidrogênio em nível local, nacional e internacional.
- Fomenta redes de cooperação, consórcios e parcerias que reduzem riscos, atraem investimentos e ampliam o compartilhamento de infraestrutura e conhecimento.
- Contribui para a construção de governança compartilhada, segurança jurídica e alinhamento institucional, essenciais para acelerar projetos e políticas de descarbonização.
- Articula interesses públicos, privados e sociais em torno de metas comuns de transição energética, garantindo legitimidade, escalabilidade e impacto sistêmico.
- Assegura que as negociações estejam alinhadas às exigências geopolíticas, regulatórias e comerciais do cenário global, fortalecendo a inserção do Brasil na economia de baixo carbono.

Atividades

- Planejar, conduzir e mediar processos de negociação interorganizacional com foco na construção de alianças colaborativas no setor de hidrogênio verde e derivados.
- Elaborar e formalizar acordos de cooperação técnica, memorandos de entendimento, *joint ventures* e parcerias estratégicas com base em objetivos compartilhados.
- Articular redes intersetoriais envolvendo governos, universidades, sociedade civil, empresas, startups, organizações multilaterais e investidores institucionais, visando à descarbonização e à transição energética.
- Mapear interesses, capacidades e contrapartidas de potenciais parceiros para compor consórcios ou ecossistemas de inovação voltados ao hidrogênio verde e derivados.
- Identificar sinergias e complementaridades tecnológicas, logísticas e comerciais, fortalecendo a competitividade de projetos integrados.
- Estabelecer marcos de governança, critérios de compartilhamento de riscos e benefícios, cronogramas e indicadores de desempenho voltados ao avanço da cadeia do hidrogênio verde.
- Conduzir análises de viabilidade de alianças internacionais com foco em exportação de hidrogênio verde, certificação, rastreabilidade e acesso a fundos climáticos.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Acordos de Cooperação - Domínio dos processos de elaboração de termos de compromisso, memorandos de entendimento, acordos de consórcio e acordos de cooperação técnica e transferência de conhecimento, assegurando segurança jurídica, alinhamento institucional e fortalecimento de parcerias estratégicas entre empresas, governos, centros de pesquisa e organismos multilaterais para o avanço da cadeia do hidrogênio.

Cadeia de Valor do Hidrogênio - Compreensão sistêmica da cadeia de valor do hidrogênio, desde fornecedores de energia e insumos até os usuários finais, mapeando fluxos de materiais e dados, rastreabilidade digital, gargalos operacionais e interações logísticas, técnicas e regulatórias que garantem a competitividade, a segurança e a sustentabilidade dos projetos.

Gestão da Inovação - Domínio de métodos e estratégias para estruturação de portfólios de inovação, desenvolvimento de projetos colaborativos, aceleração tecnológica e articulação com ecossistemas de *startups*, universidades e centros de PD&I, aplicando *frameworks* como *Design Thinking*, *Open Innovation*, *Agile* e ferramentas de fomento para impulsionar soluções sustentáveis na economia do hidrogênio.

Articulação e Negociação - Conhecimento de métodos e práticas de negociação interorganizacional, mediação de conflitos e interesses, construção de acordos colaborativos e definição de modelos de negócios e de governança, além de compartilhamento de riscos e benefícios, assegurando equilíbrio entre interesses públicos, privados e sociais para viabilizar projetos e parcerias na cadeia do hidrogênio verde e derivados.

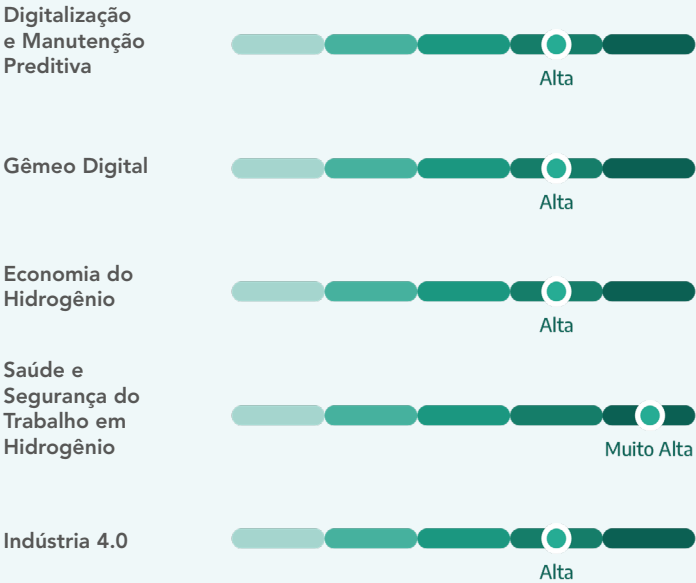
Gestão e Responsabilidade Socioambiental - Compreensão dos princípios de ESG aplicados à cadeia do hidrogênio, integrando ações de sustentabilidade, ecoeficiência, inclusão social e responsabilidade ambiental, desde a formulação de projetos até sua operação, alinhando organizações aos ODS, aos marcos regulatórios e às exigências dos mercados sustentáveis.

Economia do Hidrogênio e Modelos de Negócio - Domínio das dinâmicas econômicas, estruturais e regulatórias do mercado do hidrogênio, incluindo análise de custos, precificação, estruturação de contratos de longo prazo (PPAs), PPPs, mercados *spot* e plataformas digitais, além do desenvolvimento de modelos de negócio financeiramente sustentáveis, juridicamente seguros e alinhados às metas de descarbonização.

Inteligência Competitiva e Coopetição - Aplicação de métodos de inteligência competitiva, *benchmarking*, vigilância tecnológica e análise de tendências de mercado, articulando estratégias que combinam cooperação e competição para formação de consórcios, compartilhamento de infraestrutura, desenvolvimento de padrões tecnológicos e geração de valor em mercados dinâmicos e interdependentes.

16. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

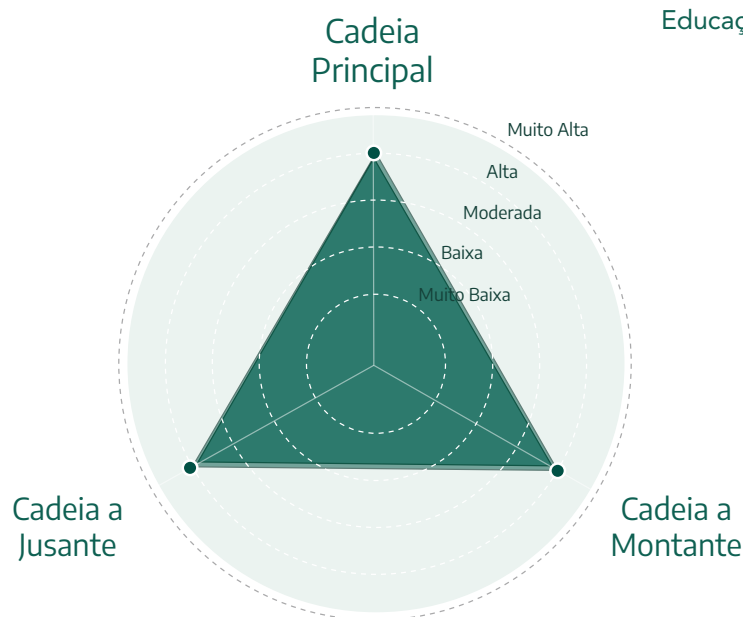
2035

Importância do Perfil Profissional

- Garante a operação segura, eficiente e contínua de equipamentos da cadeia do hidrogênio, como eletrolisadores, compressores e sistemas de armazenamento.
- Aplica sensores, *IoT*, inteligência artificial e análise de dados para prever falhas, otimizar desempenho e ampliar a vida útil dos ativos.
- Assegura a gestão de riscos operacionais, o cumprimento de normas técnicas e padrões de segurança em ambientes industriais de alta criticidade.
- Contribui para a digitalização da manutenção, transformando dados em decisões estratégicas para elevar a confiabilidade e a eficiência dos processos.
- Integra tecnologias da Indústria 4.0 e práticas de sustentabilidade para garantir a competitividade, a resiliência e o desempenho dos sistemas produtivos.

Atividades

- Planejar intervenções técnicas, por meio da utilização de ferramentas digitais e análises de dados, minimizando paradas não programadas e otimizando a performance dos equipamentos.
- Interpretar dados coletados por dispositivos *IoT* e sistemas SCADA para identificar falhas em potencial, desvios operacionais e oportunidades de melhoria.
- Modelar o comportamento de equipamentos e sistemas em ambientes virtuais, antecipando impactos operacionais e propondo ajustes técnicos baseados em simulações.
- Monitorar e realizar intervenções técnicas em eletrolisadores, compressores, tanques de alta pressão e sistemas auxiliares, assegurando sua operação dentro dos padrões de segurança e eficiência.
- Atuar na aplicação de normas técnicas e na gestão de riscos operacionais em ambientes com potencial explosivo ou inflamável, promovendo treinamentos e procedimentos de segurança.
- Avaliar métricas como tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para reparo (MTTR), disponibilidade e eficiência energética, fornecendo subsídios para decisões estratégicas na operação dos ativos industriais.
- Integrar soluções da Indústria 4.0, como realidade aumentada, *machine learning* e integração de sistemas para a otimização e melhoria dos processos.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Internet das Coisas (IoT) e Smart Sensors - Compreensão sobre redes de sensores e dispositivos inteligentes integrados aos sistemas de produção, armazenamento e distribuição de hidrogênio, permitindo o monitoramento contínuo de variáveis críticas (temperatura, pressão, vazamento, vibração, etc.) e a automação da resposta a eventos, utilizando também sistemas de supervisão, aumentando a confiabilidade dos ativos e a segurança operacional.

Gestão Integrada de Qualidade, Saúde, Meio Ambiente e Segurança (QSMS) - Domínio de normas e práticas relacionadas ao QSMS com foco em ambientes de alto risco, como plantas de hidrogênio, e no uso de tecnologias emergentes e abordagens interdisciplinares para a promoção de ambientes de trabalho seguros e sustentáveis, garantindo conformidade regulatória, mitigação de impactos ambientais e excelência operacional.

Resolução de Problemas Complexos em Contextos Industriais de Alta Criticidade - Capacidade analítica e sistêmica para lidar com situações imprevistas e multifatoriais na operação de eletrolisadores, tanques de armazenamento de alta pressão e outras infraestruturas da cadeia do hidrogênio, incluindo o uso de ferramentas de engenharia e gestão da manutenção.

Planejamento e Manutenção de Equipamentos da Cadeia do Hidrogênio - Compreensão das rotinas de manutenção preventiva, preditiva e corretiva aplicadas a eletrolisadores, compressores, tanques de alta pressão e demais equipamentos da cadeia do hidrogênio, incluindo planejamento técnico, análise de falhas, controle de indicadores operacionais (MTBF, MTTR, disponibilidade) e aplicação de tecnologias digitais para garantir segurança, continuidade operacional e eficiência dos ativos.

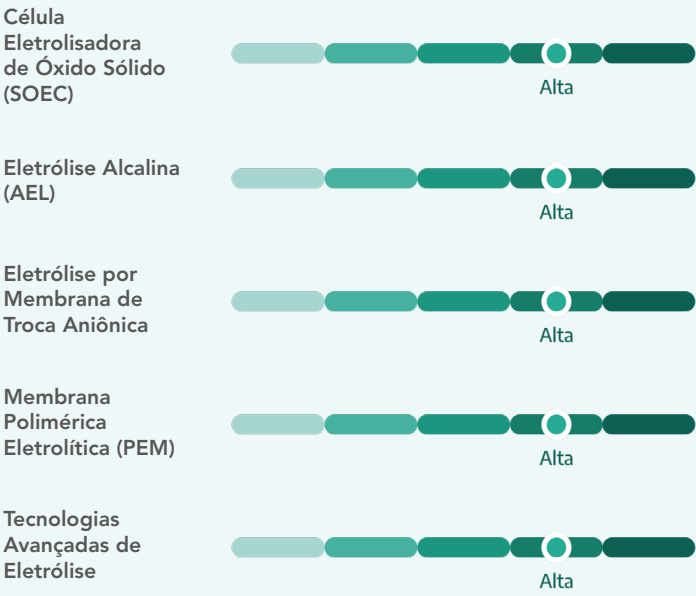
Inovação Tecnológica voltada à Eficiência Operacional e Sustentabilidade - Entendimento sobre a incorporação de tecnologias emergentes, como realidade aumentada para manutenção assistida, gêmeo digital, materiais avançados e robótica, com o objetivo de otimizar os processos operacionais e de manutenção.

Dispositivos e Tecnologias para Produção de Hidrogênio - Conhecimento técnico dos princípios de funcionamento, variáveis operacionais e manutenção de eletrolisadores, sistemas de purificação da água, compressores, tanques de alta pressão, entre outros dispositivos, além de tecnologias que aumentam a eficiência e reduzem os custos na produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis.

Estatística Aplicada à Manutenção Preditiva e Prescritiva - Domínio de métodos estatísticos e modelos matemáticos utilizados na análise de dados operacionais para prever falhas, estimar vida útil de componentes e apoiar decisões estratégicas de manutenção. Inclui a interpretação de séries temporais, regressão, controle estatístico de processos e uso de *machine learning* voltado à confiabilidade operacional.

17. PROCESSOS ELETROQUÍMICOS APLICADOS

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

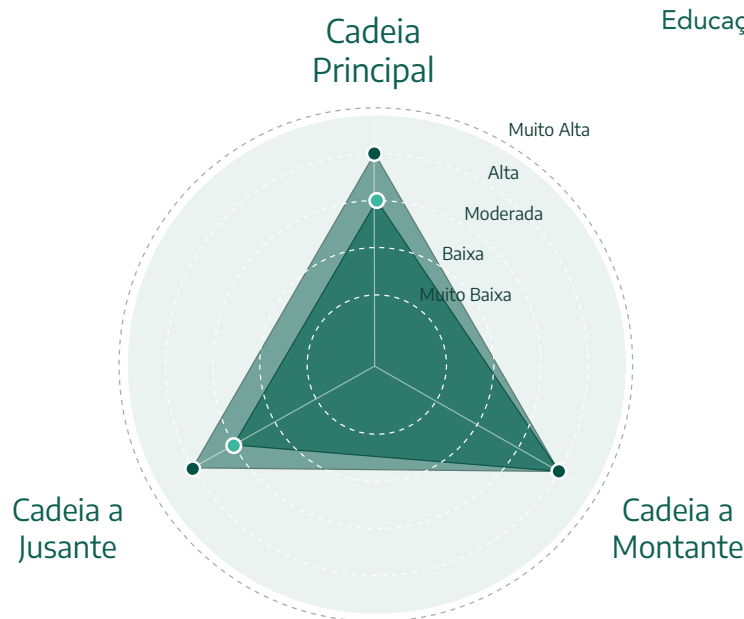
2028

Importância do Perfil Profissional

- Fomenta a base tecnológica da produção de hidrogênio verde por meio de sistemas eletroquímicos escaláveis, seguros e conectados a fontes renováveis.
- Seleciona, testa e aplica materiais e componentes críticos em sistemas eletroquímicos, garantindo eficiência operacional e adequação a diferentes condições industriais.
- Contribui para a integração dos processos eletroquímicos em sistemas energéticos sustentáveis, promovendo flexibilidade, eficiência e balanceamento dinâmico de redes.
- Apoia a inovação tecnológica e o avanço industrial por meio do desenvolvimento de soluções eletroquímicas mais eficientes, duráveis e de menor custo.
- Assegura a conformidade técnica, a rastreabilidade e a segurança operacional em projetos de produção de hidrogênio verde em escala piloto e industrial.

Atividades

- Projetar e operar sistemas eletroquímicos para produção de hidrogênio verde, considerando as diferentes tecnologias de eletrólise e suas aplicações industriais.
- Selecionar e caracterizar materiais e componentes críticos, como eletrodos, catalisadores e membranas, assegurando desempenho, durabilidade e viabilidade econômica.
- Monitorar variáveis eletroquímicas e operacionais em tempo real, utilizando metodologias de análise e diagnóstico para avaliação de desempenho, otimização de sistemas, rastreabilidade e certificação.
- Desenvolver soluções inovadoras em eletrólise, participando de projetos de PD&I voltados à redução de custos, aumento de eficiência e nacionalização de tecnologias.
- Integrar os processos eletroquímicos a fontes renováveis de energia, promovendo o uso eficiente de recursos e a estabilidade operacional na produção de hidrogênio verde e derivados.
- Elaborar estudos técnicos e atuar em equipes multidisciplinares, conectando o conhecimento eletroquímico às demandas industriais, regulatórias e ambientais.
- Implementar práticas de segurança, normatização e conformidade técnica, contribuindo para a credibilidade e a escalabilidade dos processos de produção de hidrogênio verde e derivados.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Produção, Uso e Armazenamento do Hidrogênio - Conhecimento das principais rotas tecnológicas para a produção de hidrogênio, tais como: a reforma a vapor de metano (SMR) com captura de CO₂, gaseificação de biomassa, ciclos termoquímicos e eletrólise da água por tecnologias PEM, alcalina, AEM e SOEC. Inclui o domínio das tecnologias de armazenamento físico na forma gasosa sob alta pressão ou líquida (criogenia), armazenamento químico por hidretos metálicos, materiais porosos e LOH-Cs, considerando propriedades termoquímicas, eficiência energética e aspectos de segurança.

Tecnologias de Eletrólise - Conhecimento técnico-científico sobre os principais processos de eletrólise da água - AEL, PEM, SOEC e AEM -, considerando eficiência energética, pureza do hidrogênio, durabilidade, temperatura de operação, densidade de corrente, custo de matérias-primas e manufatura, bem como a termodinâmica eletroquímica, cinética de eletrodos e mecanismos de degradação, sendo estes essenciais para a implementação de sistemas industriais eficientes, escaláveis e integrados a fontes renováveis.

Materiais e Membranas Avançadas - Conhecimento das propriedades físico-químicas, estruturais e eletrocatalíticas de membranas poliméricas, catalisadores metálicos (Pt, Ir, Ni), eletrodos porosos, materiais cerâmicos condutores de oxigênio ou prótons, além da caracterização via técnicas como espectroscopia (FTIR, XPS), microscopia eletrônica, DRX, voltametria cíclica e EIS (espectroscopia de impedância eletroquímica), buscando elevar a durabilidade e eficiência dos sistemas eletrolíticos, especialmente sob condições extremas de temperatura e acidez.

Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação - Domínio de métodos científicos e ferramentas experimentais voltados à criação, validação e escalonamento de tecnologias eletroquímicas para produção de hidrogênio verde, incluindo o delineamento, simulações, testes-piloto, ensaios de desempenho e modelagem computacional, bem como as fases do ciclo de inovação, com foco em soluções de alta maturidade (TRL 6 a 9), orientadas à eficiência, segurança e viabilidade industrial.

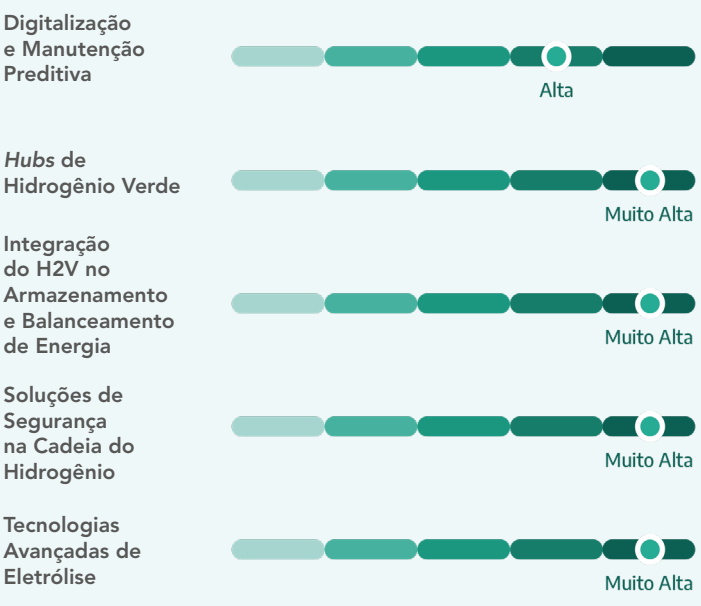
Sistemas de Integração Energética e Recursos Hídricos - Domínio das arquiteturas que integram sistemas eletrolíticos às redes energéticas modernas, com foco na otimização do fluxo energético em cenários de geração renovável intermitente, incluindo: (i) o acoplamento técnico-operacional com fontes como energia solar fotovoltaica (PV), eólica e hídrica, (ii) uso de sistemas híbridos de armazenamento, (iii) aplicação de simulações computacionais e (iv) modelagem preditiva.

Internet das Coisas (IoT) e Smart Sensors em Processos Eletroquímicos - Domínio de tecnologias embarcadas, sensores inteligentes, redes de comunicação e infraestrutura digital aplicados ao monitoramento e controle avançado de sistemas eletroquímicos, além da utilização de redes IoT industrial (como LoRa, NB-IoT, Sigfox), sensores físico-químicos, sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) e plataformas de edge computing.

Regulamentações - Domínio dos marcos legais e normativos aplicáveis à cadeia de valor do hidrogênio, com foco em segurança, qualidade e rastreabilidade, bem como aplicação de normas como ISO 22734, ISO 19880, IEC 62282 e diretrizes nacionais da ANP e ABNT, além de frameworks como o CertifHy, Fit for 55 e o Plano Nacional do Hidrogênio (PNH₂), envolvendo análises de risco, conformidade ambiental e estratégias regulatórias.

18. PROJETO, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE PLANTAS DE HIDROGÊNIO E DERIVADOS

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Alta

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

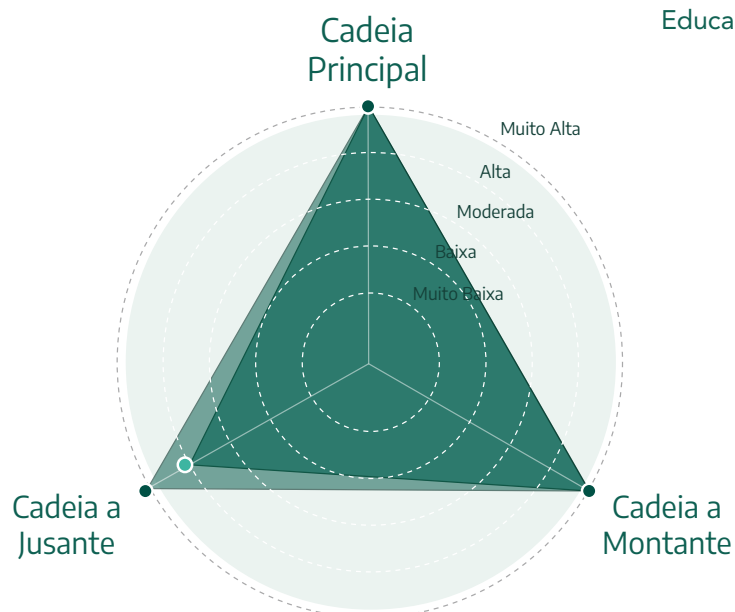
2030

Importância do Perfil Profissional

- Viabiliza projetos de plantas de hidrogênio e derivados com foco em desempenho, escalabilidade e conformidade técnica.
- Integra engenharia, automação, segurança e gestão de projetos em ambientes industriais de alta complexidade.
- Garante a aplicação de normas e práticas ambientais e de segurança na implantação de unidades produtivas.
- Aplica tecnologias digitais para otimizar processos, elevar a rastreabilidade e garantir eficiência operacional.
- Contribui para a estruturação da infraestrutura nacional de hidrogênio, com inovação, sustentabilidade e articulação de fornecedores.

Atividades

- Desenvolver projetos detalhados de plantas de hidrogênio, integrando fluxos de processo, especificação de equipamentos e linhas de produção, com foco em eficiência energética e escalabilidade, alinhados às metas de produção.
- Realizar análise de viabilidade técnico-econômica e financeira para construção e montagem de unidades de produção de hidrogênio, utilizando o custo nivelado do hidrogênio (LCoH).
- Projetar e implementar sistemas automatizados de controle de processo e monitoramento em tempo real, utilizando sensores e softwares para otimizar a fabricação dos equipamentos que envolvem o setor industrial do hidrogênio verde.
- Avaliar a performance dos projetos, a construção e a montagem da planta, utilizando indicadores de eficiência operacional e energética e taxa de conversão, propondo melhorias com base em novas tecnologias emergentes, como eletrólise avançada.
- Supervisionar a construção civil, a montagem eletromecânica de equipamentos e os sistemas industriais, gerenciando escopo, prazo, custo e qualidade, com foco em recursos humanos, logística e suprimentos, conforme normas técnicas estabelecidas.
- Desenvolver e aplicar sistemas de avaliação, prevenção e mitigação de riscos operacionais, com tecnologias digitais e planos de evacuação, respeitando legislações ambientais e normas reguladoras de padrão internacional.
- Garantir que as etapas do projeto estejam em conformidade com normas técnicas nacionais e internacionais e certificações específicas para construção, montagem e produção de hidrogênio verde e derivados, elaborando relatórios técnicos e coordenando auditorias internas e externas.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Fabricação de Equipamentos de Processos Industriais - Conhecimento de tecnologias, técnicas, ferramentas industriais e equipamentos relacionados ao processo produtivo, conferindo visão sistêmica da produção e possibilitando a orientação de melhorias no processo, de acordo com as necessidades identificadas.

Gestão Técnica Econômico-Financeira - Compreensão e aplicação de técnicas e métodos de análise, planejamento, organização e controle financeiro de uma organização, com a intenção de assegurar resultados positivos, sempre utilizando metodologias que possibilitem obter o menor LCoH (custo nivelado do hidrogênio).

Automação, Robótica e Tecnologias Digitais na Fabricação de Equipamentos e Componentes - Aplicação de técnicas, softwares e equipamentos em máquinas e operações industriais, habilitando-as a operar de maneira autônoma ou pré-programada, utilizando-se de partes mecânicas automáticas controladas remotamente, a fim de reduzir o esforço ou a interferência humana.

Gestão de Projetos e Ferramentas de Gestão - Aplicação de fundamentos técnicos, teóricos e práticos na elaboração e execução de atividades alinhadas e coordenadas para alcançar, com sucesso, os objetivos predefinidos, possibilitando posicionamento diante de desafios complexos e definição de objetivos factíveis.

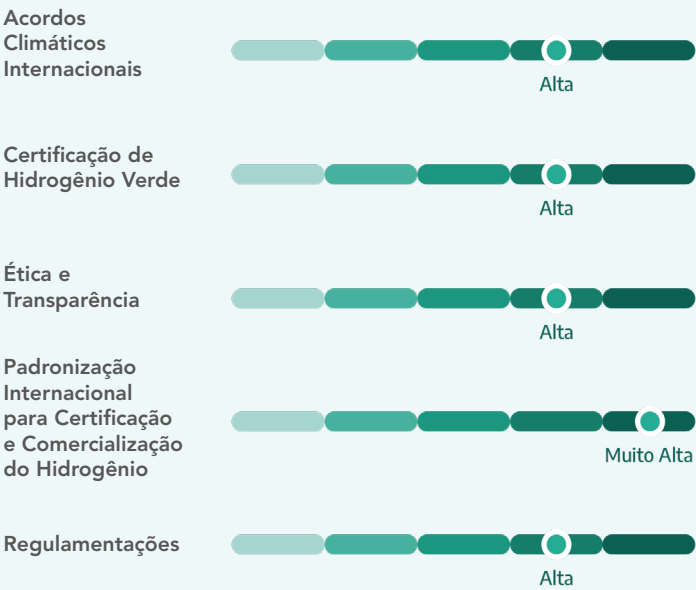
Métodos Construtivos - Conhecimento sobre o uso de técnicas, processos e métodos para estruturação e construção de parques de geração de energia a partir de fontes renováveis (eólica *onshore*, eólica *offshore* e célula fotovoltaica), bem como prospecção de métodos inovadores a serem utilizados.

Sistemas de Controle, Segurança e Prevenção de Riscos - Estudo e desenvolvimento de dispositivos e sistemas que visam ao controle e à garantia da integridade das atividades desenvolvidas no setor energético.

Normas Técnicas e de Qualidade, Segurança, Meio Ambiente e Saúde - Conhecimento, interpretação e aplicação de normas técnicas e de diretrizes de qualidade, saúde, meio ambiente e segurança relacionadas a projetos e processos construtivos de sistemas de energias renováveis e à produção do hidrogênio verde.

19. REGULAÇÃO NA CADEIA PRODUTIVA DO HIDROGÊNIO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



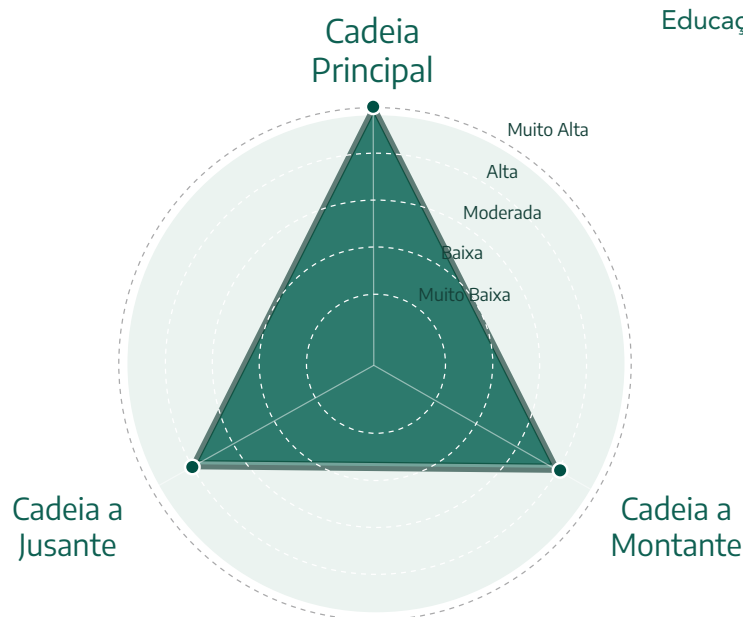
Intensificação da Demanda
2026

Importância do Perfil Profissional

- Garante a conformidade legal, técnica e ambiental das operações da cadeia do hidrogênio, assegurando segurança jurídica e viabilidade dos projetos.
- Alinha normas técnicas, padrões de segurança e certificações às diretrizes nacionais e internacionais da transição energética.
- Contribui para a estruturação de marcos regulatórios que viabilizam inovação, competitividade e inserção do Brasil em mercados globais.
- Apoia a formulação de políticas públicas e a definição de regulamentos e instrumentos de incentivo com foco em previsibilidade e atração de investimentos sustentáveis.
- Assegura a interoperabilidade regulatória entre os elos da cadeia, integrando rastreabilidade e exigências de certificação.

Atividades

- Elaborar normas técnicas e regulamentos setoriais aplicados à cadeia do hidrogênio, integrando critérios ambientais, econômicos e de segurança, com base em acordos multilaterais e padrões internacionais, a fim de assegurar alinhamento regulatório e promover a expansão sustentável do setor.
- Interpretar e aplicar normas e requisitos de certificação, rastreabilidade e verificação da pegada de carbono, assegurando a conformidade com selos de origem renovável e exigências internacionais, valorizando atributos sustentáveis que ampliem a competitividade em mercados regulados.
- Realizar análises regulatórias e diagnósticos jurídicos aplicados a projetos de hidrogênio verde, identificando barreiras normativas e propondo ajustes institucionais que viabilizem investimentos e garantam segurança jurídica aos agentes envolvidos.
- Assessorar empreendimentos e consórcios na adequação às exigências regulatórias do comércio internacional, promovendo a conformidade com protocolos alfandegários, ambientais e fiscais e fortalecendo a inserção estratégica do hidrogênio brasileiro no mercado global.
- Mediar processos de articulação entre governo, iniciativa privada e sociedade civil, construindo consensos regulatórios, mecanismos de incentivo e pactuações intersetoriais que fortaleçam a governança e legitimem os instrumentos normativos do setor.
- Analisar e orientar a aplicação de códigos de conduta, normas setoriais e diretrizes regulatórias à luz de princípios de ética, transparência e responsabilidade socioambiental, assegurando a coerência institucional com compromissos ESG e contribuindo para a legitimidade e confiabilidade do ambiente regulatório.
- Monitorar tendências tecnológicas e transformações nos sistemas produtivos do hidrogênio, propondo atualizações regulatórias e mecanismos adaptativos que garantam a segurança operacional, a inovação contínua e a sintonia com os avanços da transição energética.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Selos e Certificações - Entendimento de processos, critérios e normas aplicados à certificação de produtos, serviços e processos vinculados à cadeia do hidrogênio verde, incluindo o domínio de requisitos técnicos, ambientais e regulatórios exigidos por certificações nacionais e internacionais, como as de baixo carbono e de garantia de origem, além de ações voltadas à acreditação, rastreabilidade, verificação da pegada de carbono e comunicação de atributos sustentáveis, garantindo reputação, acesso a mercados regulados e valorização econômica dos agentes produtivos inseridos na cadeia do hidrogênio verde.

Comércio Exterior - Estudo da transação internacional de bens, serviços e valores, englobando a compreensão das exigências fiscais, sanitárias, legais e comerciais envolvidas no processo.

Políticas Públicas e Governança - Entendimento sobre as iniciativas do poder público, como a definição de regulamentações, fontes de fomento e de incentivos econômicos, entre outras ações que promovam o desenvolvimento setorial, bem como atividades colaborativas entre diferentes atores, buscando eficiência operacional, legitimidade das decisões e gestão transparente.

Articulação e Negociação - Compreensão de métodos de negociação, com ênfase na ética, na comunicação eficaz, na integração e no equilíbrio entre as partes, visando ao estabelecimento de acordos e parcerias colaborativas, além da capacidade de adaptação dinâmica aos compromissos mútuos específicos ao longo do processo negocial.

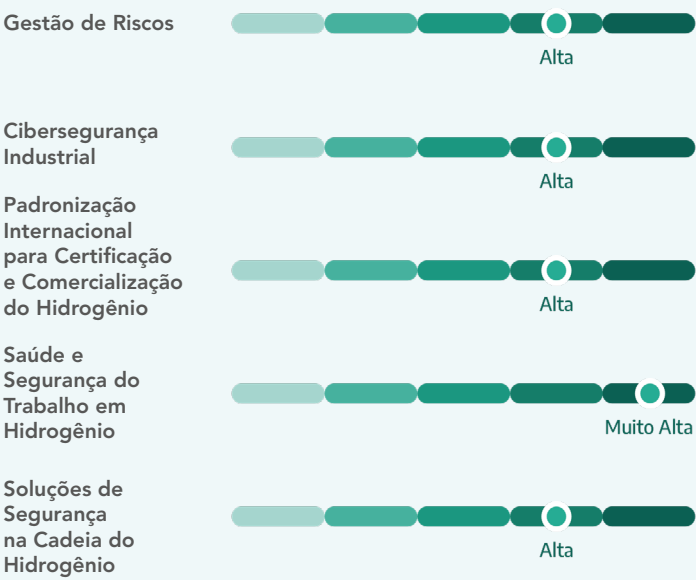
Responsabilidades Legais e Conflitos Regulatórios - Compreensão sobre fundamentos jurídicos que impactam a cadeia regulada do hidrogênio, incluindo contratos, sanções, responsabilizações e mecanismos legais aplicáveis a conflitos administrativos, regulatórios ou ambientais. Envolve a capacidade de identificar quando acionar suporte jurídico institucional e de reconhecer situações com potencial litigioso, facilitando a interlocução com instâncias legais e evitando riscos de não conformidade.

Equipamentos e Tecnologias Aplicadas ao Uso do Hidrogênio - Pesquisa e desenvolvimento de equipamentos e materiais adequados a sistemas que utilizam hidrogênio como fonte de energia, bem como prospecção de novas tecnologias e suas aplicações.

Economia do Hidrogênio - Compreensão sobre a análise integrada dos fatores que estruturam e condicionam a cadeia de valor do hidrogênio como vetor energético estratégico na transição para uma economia de baixo carbono, os fundamentos econômicos que regem a produção, o armazenamento, a distribuição, a comercialização e o uso final do hidrogênio em diferentes rotas tecnológicas, além de estratégias de análise econômica (técnica, logística, escalabilidade, contexto geológico específico, financiamento público e privado) e de precificação (CAPEX, OPEX, custos ambientais e sociais, emissões evitadas e instrumentos de monetização ambiental, como créditos de carbono e certificados de origem).

20. SAÚDE, SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE NA CADEIA DO HIDROGÊNIO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Baixa

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

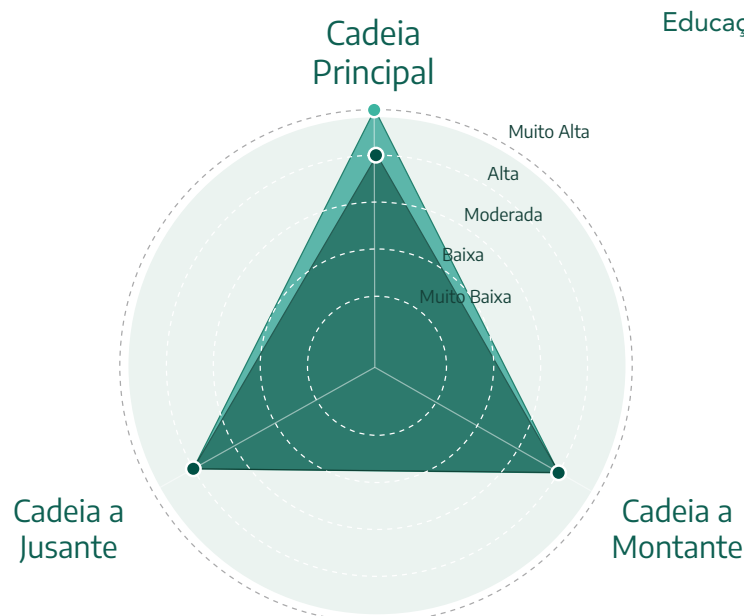
2028

Importância do Perfil Profissional

- Garante a integridade física e ambiental das operações, por meio da gestão de riscos, conformidade normativa e cultura organizacional voltada à saúde, segurança e meio ambiente.
- Viabiliza a implantação de plantas industriais seguras, garantindo padrões nacionais e internacionais e protocolos de resposta a emergências.
- Promove a confiabilidade pública e a aceitação social dos projetos da cadeia do hidrogênio, ao mitigar riscos ocupacionais, operacionais, tecnológicos e ambientais.
- Integra tecnologias digitais, cibersegurança e análise preventiva e preditiva, para antecipar possíveis falhas e proteger trabalhadores, ativos e comunidades.
- Contribui para a resiliência organizacional e sustentabilidade da cadeia do hidrogênio, por meio de práticas de saúde e segurança ocupacional, ergonomia e bem-estar psicossocial.

Atividades

- Avaliar e controlar os riscos ocupacionais relacionados aos processos químicos, térmicos, pressurizados e eletrolíticos em sistemas de produção, armazenamento, transporte e aplicação de hidrogênio e derivados, com foco em cenários de falha críticos.
- Articular o gerenciamento de riscos ocupacionais aos planos de segurança de processos, integrando sensores inteligentes, protocolos SCADA, IoT industrial e inteligência artificial para análise preventiva e preditiva de falhas.
- Conduzir auditorias técnicas e diagnósticos de conformidade com normas internacionais, assegurando a adequação dos sistemas de qualidade, segurança, saúde, meio ambiente e segurança de processos às exigências legais e aos requisitos de seguradoras e investidores.
- Projetar e gerenciar programas de saúde e segurança ocupacional voltados à cadeia do hidrogênio, com foco na prevenção de exposições a alta tensão, a gases, a ruídos, a radiações eletromagnéticas, a estresse térmico e a outros riscos.
- Desenvolver e aplicar protocolos de resposta a emergências, integrando defesa civil, corpo de bombeiros, sistemas de alarme e evacuação, brigadas internas e planos de contingência baseados em simulações realistas de cenários acidentais na cadeia produtiva do hidrogênio.
- Atuar na gestão de dados críticos de qualidade, saúde, segurança e meio ambiente (*compliance digital*) e na implementação de políticas de privacidade e cibersegurança em ambientes industriais.
- Mapear riscos e vulnerabilidades, propondo medidas de mitigação com base em estudos prospectivos e simulações quantitativas de risco (QRA), considerando a inserção da cadeia do hidrogênio em regiões urbanas, corredores logísticos e setores de infraestrutura.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Gerenciamento de Riscos Ocupacionais e Programas de Gerenciamento de Riscos - Domínio de metodologias e programas voltados à prevenção de riscos na cadeia do hidrogênio, assegurando ambientes seguros e saudáveis, em conformidade com as Normas Regulamentadoras (NRs), em contextos de alta tensão, inflamabilidade, alta pressão e atmosferas confinadas.

Estudos Prospectivos e Análises de Riscos Aplicados à Saúde, Segurança do Meio Ambiente - Conhecimento técnico para condução de estudos prospectivos e aplicação de ferramentas como Análise Preliminar de Risco (APR), Análise Quantitativa de Risco (AQR), HAZOP e FMEA, promovendo prevenção e proteção, resiliência e conformidade na cadeia do hidrogênio verde.

Normas Técnicas e de Qualidade, Saúde, Segurança e Meio Ambiente - Conhecimento, interpretação e aplicação de normas técnicas e de diretrizes de qualidade, saúde, segurança e meio ambiente relacionadas a projetos e processos construtivos da cadeia do hidrogênio.

Regulamentação, Selos e Certificações - Domínio das normas, leis e diretrizes aplicáveis à cadeia do hidrogênio verde, bem como dos processos de certificação e rotulagem que garantem atributos técnicos, operacionais, ambientais e comerciais, promovendo conformidade, rastreabilidade e competitividade no mercado.

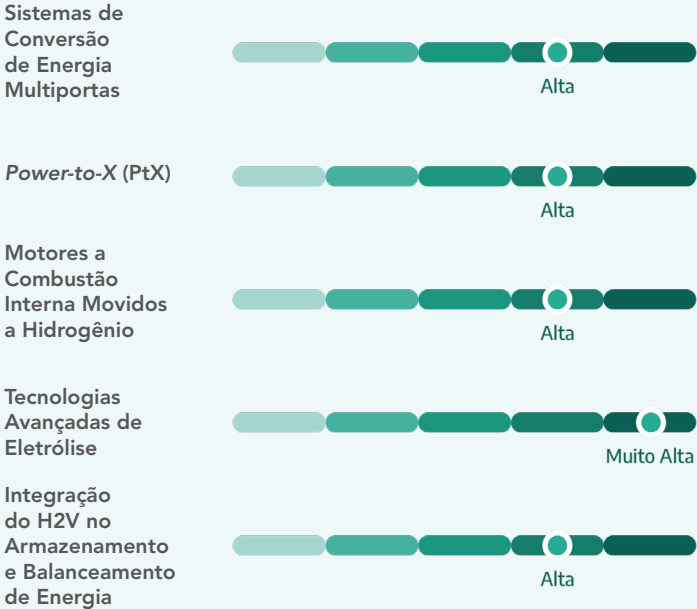
Inteligência Artificial e Data Analytics para Saúde, Segurança e Bem-Estar Organizacional - Capacidade de utilizar literatura especializada da área, técnicas de inteligência artificial e análise de dados para identificar padrões, prever riscos à saúde e segurança e fornecer recomendações personalizadas tanto aos colaboradores – para melhorar sua saúde, segurança e bem-estar – quanto à gestão, para planejamento estrutural de prevenção, proteção e promoção de saúde e de segurança psicológica.

Acompanhamento, Gestão e Privacidade de Dados Aplicados à Saúde, Segurança e Meio Ambiente - Aplicação de tecnologias de monitoramento e acompanhamento para coleta de dados que possibilitem mecanismos de rastreamento de padrões, além da compreensão e da aplicação de práticas seguras e éticas que tenham como base a garantia da privacidade e da conformidade com regulamentações voltadas à gestão de dados sensíveis de indivíduos.

Aspectos Psicofisiológicos do Trabalho, Ergonomia e Design de Ambientes Laborais - Entendimento de aspectos psicofisiológicos relacionados ao trabalho e de métodos e técnicas para planejamento de ambientes de trabalho seguros, saudáveis e adequados, considerando princípios da ergonomia na prevenção de lesões, além da promoção de saúde e segurança psicológica, da garantia de bem-estar e produtividade, da promoção de motivação e equilíbrio entre vida profissional e pessoal e da prevenção de estresse e transtornos psicológicos correlatos.

21. SOLUÇÕES DE CONVERSÃO ENERGÉTICA PARA A INDÚSTRIA DO HIDROGÊNIO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Demanda por Qualificação



Intensificação da Demanda

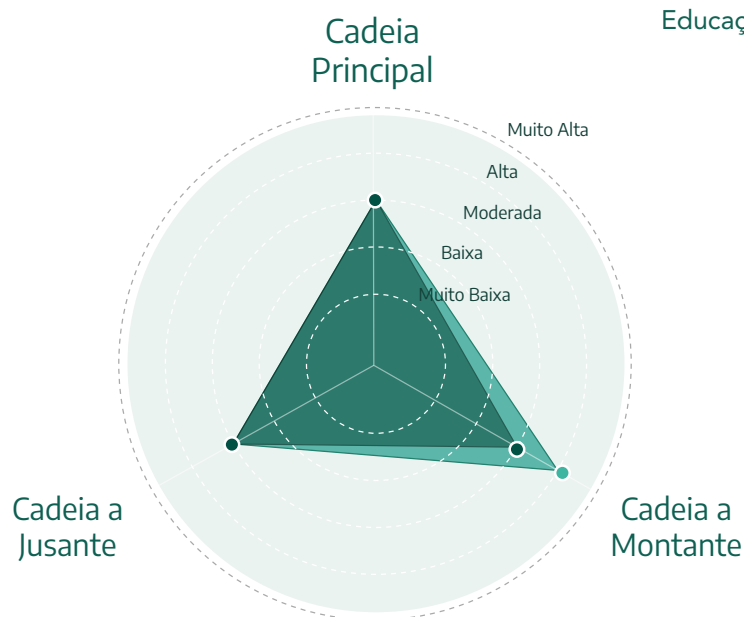
2028

Importância do Perfil Profissional

- Viabiliza o aproveitamento contínuo de fontes de energia de baixo carbono, por meio de soluções de conversão energética, garantindo estabilidade, flexibilidade e integração com os processos industriais da cadeia do hidrogênio.
- Promove a estabilização do fornecimento de energia em sistemas industriais e redes elétricas.
- Viabiliza o uso do hidrogênio como vetor de armazenamento em soluções híbridas.
- Contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para o aumento da segurança energética.
- Promove a criação de mercados e tecnologias sustentáveis para estocagem e reconversão de energia.

Atividades

- Projetar e operar sistemas de armazenamento elétrico, térmico, mecânico e químico.
- Avaliar a aplicação de diversas tecnologias de armazenagem de energia – como baterias, supercapacitores, hidrogênio e derivados, ar comprimido e armazenamento térmico – como parte das soluções para atendimento à indústria.
- Integrar soluções de armazenamento com fontes renováveis e sistemas de produção de hidrogênio.
- Analisar o desempenho e a eficiência de processos de conversão energética aplicados à produção e reconversão de hidrogênio, utilizando indicadores operacionais e simulações para otimizar o rendimento e a integração com sistemas industriais.
- Realizar análises de viabilidade técnica e econômica de soluções de conversão em larga escala.
- Aplicar normas técnicas e regulatórias para garantir uma operação segura e eficiente.
- Promover a otimização de plantas de produção de hidrogênio para garantir eficiência energética e minimizar perdas e emissões indiretas.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Sistemas de Armazenamento de Energia - Domínio das tecnologias de estocagem de energia elétrica, térmica, mecânica ou química, incluindo hidrogênio em formas gasosa, líquida ou sólida, considerando densidade energética, reconversão por células reversíveis (rSOC), eficiência, tempo de resposta e viabilidade econômica em diferentes aplicações industriais e escalas produtivas.

Modelagem e Simulação de Sistemas de Conversão - Conhecimento sobre ferramentas computacionais aplicadas à representação matemática de sistemas híbridos de conversão energética, permitindo simular cenários operacionais, prever o desempenho de acoplamentos com eletrólise e fontes renováveis, otimizar fluxos termoenergéticos e apoiar decisões técnicas em projetos industriais complexos.

Tecnologias de Eletrólise - Compreensão técnica sobre eletrólise da água com tecnologias alcalina, PEM, AEM e SOEC, incluindo eficiência, estabilidade, durabilidade, custos e requisitos para integração com renováveis variáveis, com foco na produção de hidrogênio e na adaptação aos diferentes contextos industriais e regulatórios da transição energética.

Tecnologias de Conversão Eletroquímica e Termoquímica de Energia - Domínio das rotas termoquímicas e eletroquímicas, como reforma a vapor, gaseificação, pirólise e células reversíveis, avaliando eficiência, emissões, condições operacionais e integração com fontes renováveis para produção de calor, eletricidade ou combustíveis sintéticos baseados em hidrogênio.

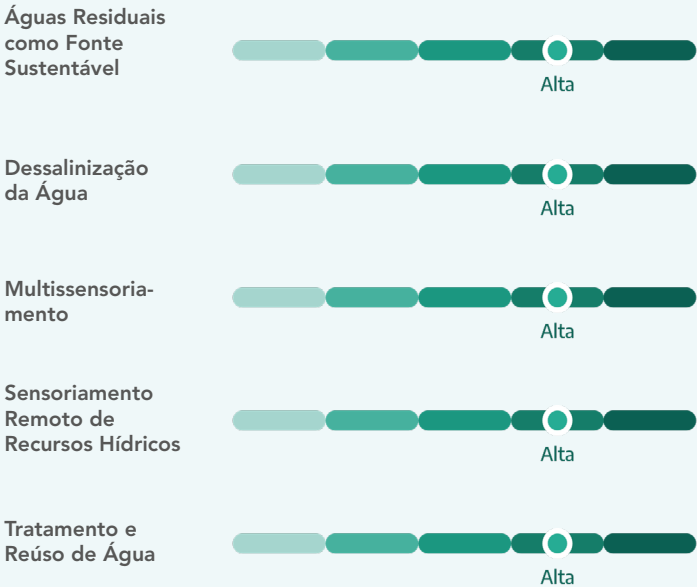
Sistemas Multiportas e Acoplamento Setorial - Conhecimento sobre arquiteturas multiportas que interligam eletricidade, calor, hidrogênio e demais vetores energéticos, com base em princípios de gestão ISO 50001, microgeração e eficiência energética, promovendo flexibilidade, segurança e integração entre setores produtivos e sistemas híbridos descentralizados.

Integração Energética com Fontes Renováveis - Conhecimento sobre estratégias de acoplamento entre fontes renováveis variáveis (como solar, eólica e biomassa) e sistemas de eletrólise e armazenamento, incluindo controle de fluxo, previsão de carga e *buffers* energéticos, garantindo estabilidade operacional, eficiência e interoperabilidade em contextos industriais complexos.

Processos Industriais - Domínio técnico dos fluxos produtivos, variáveis operacionais e sistemas de controle associados à conversão energética, integrando automação, indicadores de eficiência, qualidade da energia e segurança operacional para otimizar a sustentabilidade e o desempenho dos processos industriais com uso de hidrogênio.

22. SOLUÇÕES HÍDRICAS SUSTENTÁVEIS PARA A TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Alta

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

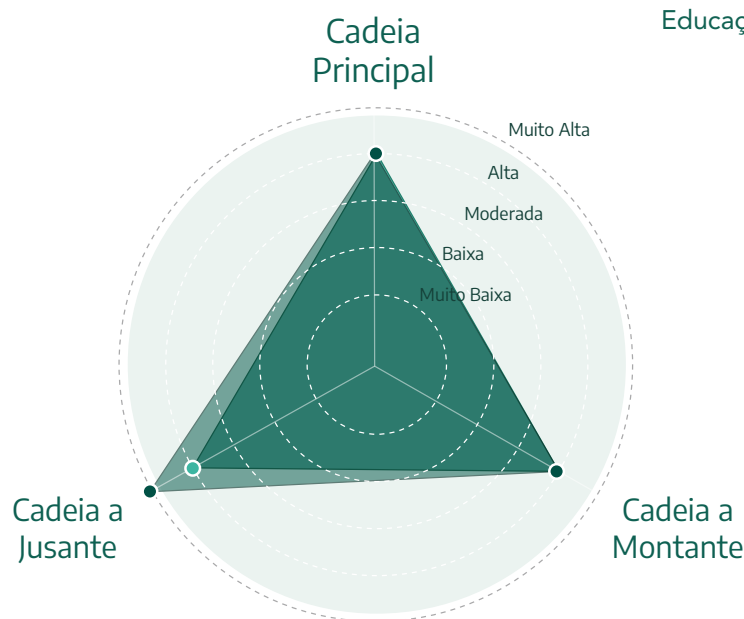
2028

Importância do Perfil Profissional

- Promove o uso eficiente e sustentável da água em processos energéticos, sobretudo na produção de hidrogênio verde, amônia e derivados.
- Apoia a adoção de sistemas de captação, reúso e tratamento de água e efluentes, otimizando recursos hídricos em contextos industriais.
- Integra tecnologias de dessalinização e sensoriamento remoto, aumentando a resiliência diante da escassez hídrica.
- Fomenta a articulação entre políticas de gestão de recursos hídricos e estratégias de transição energética e desenvolvimento territorial.
- Estimula ecossistemas colaborativos para decisões sustentáveis sobre o uso da água em projetos energéticos.

Atividades

- Propor soluções de modo a garantir segurança hídrica e energética, desempenho operacional e justiça socioambiental.
- Planejar, implementar e otimizar sistemas de captação, tratamento e reúso de água em projetos energéticos sustentáveis, com foco na produção de hidrogênio verde e derivados.
- Avaliar a disponibilidade hídrica e o impacto de empreendimentos sobre bacias hidrográficas e ecossistemas aquáticos em áreas de implantação industrial.
- Integrar tecnologias avançadas de monitoramento, sensoriamento remoto e análise em tempo real para gestão eficiente da água em ambientes industriais.
- Desenvolver estudos de viabilidade técnica e ambiental para a dessalinização e a otimização do reúso de águas residuais em processos produtivos da cadeia do hidrogênio.
- Aplicar princípios de ecoeficiência hídrica e economia circular para reduzir perdas, otimizar processos e aumentar a produtividade industrial.
- Avaliar parâmetros físico-químicos, microbiológicos e de ecotoxicidade ao longo das etapas de tratamento de água e efluentes industriais, com o objetivo de garantir a performance dos sistemas, a conformidade regulatória e a qualidade final da água utilizada ou descartada em projetos da cadeia do hidrogênio.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Gestão e Conservação dos Recursos Hídricos - Compreensão dos instrumentos de planejamento e regulação, como planos de bacia, outorga e cobrança pelo uso da água, água positiva, bem como aplicação de indicadores como pegada hídrica e índice de reutilização, integrando tecnologias de monitoramento e soluções baseadas na natureza, com foco na sustentabilidade de processos energéticos.

Infraestrutura Hídrica - Conhecimento em engenharia química, hidráulica e sanitária voltado ao planejamento e à operação de estações de tratamento de água e de efluentes (ETAs e ETEs), redes pressurizadas e unidades de reúso. Abrange a escolha de tecnologias de tratamento, materiais, automação e sensoramento, com foco na eficiência operacional, economia de energia e água e segurança hídrica em projetos industriais e energéticos.

Dessalinização de Água - Domínio técnico das rotas de dessalinização, como filtração, ultrafiltração, dosagens químicas, osmose reversa e eletrodiálise, considerando condutividade, salinidade, pureza exigida e condições locais, bem como análise de viabilidade econômica e ambiental, descarte de rejeitos e ecotoxicidade, integração com renováveis e aplicação em contextos de escassez hídrica na produção de hidrogênio verde.

Ecoeficiência Hídrica - Conhecimento sobre práticas de redução de perdas, recirculação e reúso interno de água, integrando automação, medição em tempo real e indicadores de desempenho hídrico, com alinhamento a normas como ISO 14046, estratégias ESG e economia circular, visando à produtividade com menor impacto ambiental, social e econômico.

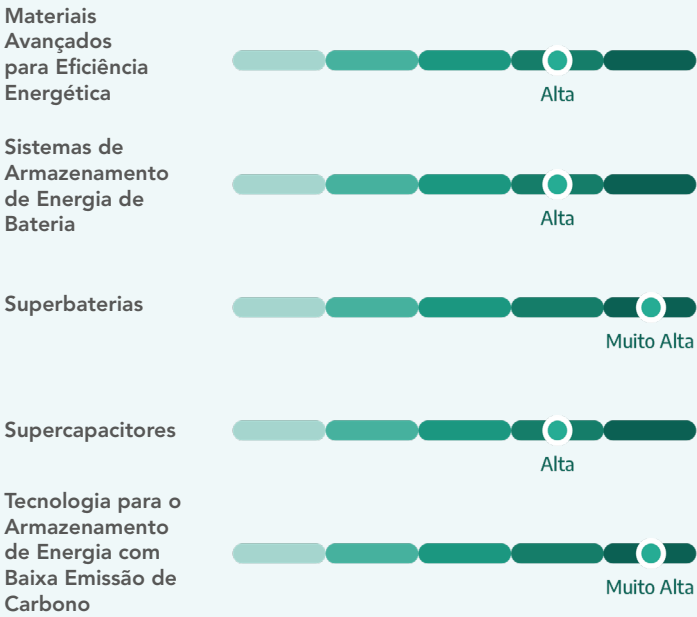
Regulação e Governança do Uso da Água e Energia - Domínio dos marcos legais, diretrizes regulatórias, leis e normas ambientais, além de arranjos institucionais que regem o uso da água e da energia e a preservação dos recursos hídricos, incluindo o *nexus* água-energia-clima, outorga, tarifação, mediação de conflitos e atuação de órgãos como ANA e ANEEL, com foco em legitimidade, segurança jurídica e viabilidade de projetos.

Boas Práticas de Sustentabilidade Hídrica na Indústria - Compreensão de estratégias como reúso de efluentes tratados, recirculação interna, captação e reaproveitamento de águas pluviais, redução de perdas, reciclagem, aproveitamento de resíduos sólidos e compostagem/ou geração de biogás de lodo de ETEs, com apoio de indicadores de desempenho, auditorias ambientais e gestão integrada, alinhadas às normas ISO 14001 e 14046, aos princípios ESG e à economia circular no setor industrial.

Tecnologias Avançadas para Tratamento da Água, Efluentes e Reúso - Conhecimento de tecnologias aplicadas ao tratamento de efluentes, como osmose reversa, sistemas de ultrafiltração, oxidação por ultravioleta e sistemas híbridos, considerando compatibilidade com equipamentos, parâmetros físico-químicos, conformidade regulatória e uso de automação e sensores inteligentes para garantir qualidade, eficiência e sustentabilidade hídrica.

23. SOLUÇÕES PARA ARMAZENAMENTO ENERGÉTICO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Alta

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

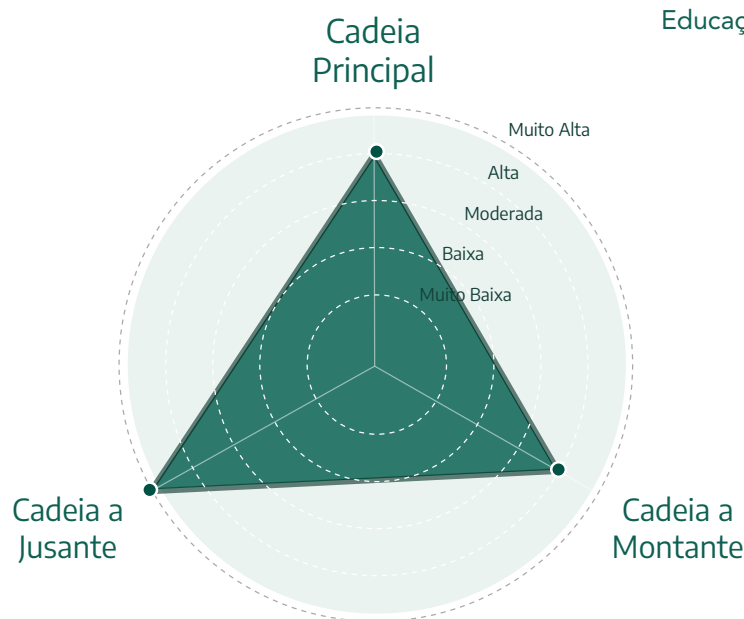
2030

Importância do Perfil Profissional

- Garante a estabilidade do suprimento energético a partir de fontes renováveis variáveis, assegurando continuidade e previsibilidade operacional.
- Viabiliza o uso do hidrogênio como vetor energético em sistemas de armazenamento.
- Assegura flexibilidade e confiabilidade na oferta e demanda de energia.
- Contribui para a redução de perdas, custos operacionais e emissões em sistemas energéticos.
- Impulsiona a inovação tecnológica e a consolidação de matrizes energéticas de baixo carbono.

Atividades

- Projetar e dimensionar sistemas de armazenamento em diferentes formas – elétrica, térmica, mecânica e química –, considerando requisitos técnicos, operacionais e ambientais.
- Avaliar e comparar tecnologias como baterias, supercapacitores, hidrogênio comprimido, hidretos metálicos e soluções térmicas, identificando suas aplicações mais adequadas.
- Integrar soluções de estocagem a plantas de energias renováveis, processos de eletrólise e microrredes, promovendo flexibilidade, continuidade e eficiência energética.
- Monitorar o desempenho, a durabilidade e a eficiência energética dos sistemas instalados, adotando estratégias inteligentes de operação e protocolos de segurança.
- Aplicar normas técnicas e regulamentos nacionais e internacionais relacionados ao armazenamento de energia e à segurança em ativos industriais e pessoas.
- Desenvolver estratégias de carregamento, descarga e tempo de resposta que otimizem o uso da energia armazenada e aumentem a vida útil dos sistemas.
- Realizar estudos de viabilidade econômica, análise de ciclo de vida e avaliação de impactos ambientais, assegurando alinhamento com critérios ESG e políticas de transição energética.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

● IMPORTÂNCIA DO PERFIL

● DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Materiais Avançados para Armazenamento de Energia - Entendimento acerca do desenvolvimento e aplicação de materiais com propriedades físico-químicas otimizadas para dispositivos de estocagem, como baterias, supercapacitores e tanques de hidrogênio sólido. Inclui métodos e tecnologias para alcançar alta densidade energética, estabilidade térmica e resistência à degradação.

Segurança Operacional e Normas Técnicas de Armazenamento - Conhecimento acerca dos critérios técnicos e normativos associados ao armazenamento de energia em suas diversas formas, com domínio de protocolos de mitigação, normas nacionais e internacionais, metodologias de análise de risco e integração com sistemas inteligentes de monitoramento e prevenção de falhas.

Sistemas de Armazenamento de Energia - Conhecimento sobre tecnologias e métodos para armazenar energia oriunda de fontes diversas, além de formas não convencionais de conversão.

Viabilidade Econômico-Financeira e Regulamentações - Domínio de ferramentas para análise de viabilidade econômica e financeira de projetos de armazenamento energético, associado ao conhecimento dos marcos regulatórios, resoluções para sistemas híbridos e normativas emergentes ligadas ao hidrogênio, instrumentos de financiamento climático, incentivos fiscais, fundos verdes e programas públicos de apoio à inovação.

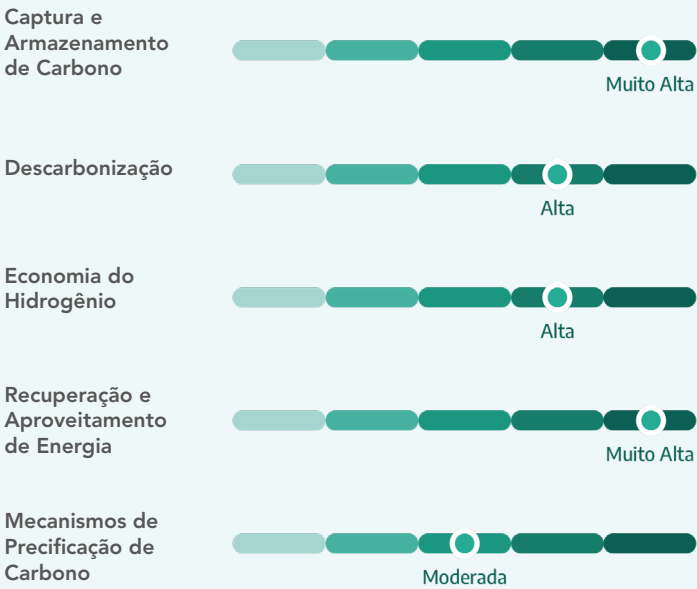
Gestão do Ciclo de Vida - Domínio das metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicadas à mensuração de impactos ambientais, sociais e econômicos em sistemas de estocagem de energia, análise de matérias-primas críticas, reciclabilidade, extensão de vida útil, indicadores ESG e uso de ferramentas digitais, contribuindo para decisões sustentáveis, competitividade estratégica e legitimação socioambiental das tecnologias de armazenamento.

Smart Grids - Entendimento acerca da integração entre armazenamento energético e redes elétricas inteligentes, com domínio de tecnologias como medidores inteligentes, SCADA, EMS, IoT, resposta à demanda e plataformas de gestão em tempo real. Viabiliza interoperabilidade, automação, controle bidirecional e operação de microrredes com armazenamento, de forma a viabilizar a transição energética com confiabilidade, flexibilidade e inteligência operacional.

Controle de Processos e Segurança Aplicada ao Armazenamento de Hidrogênio Verde e de Baixo Carbono - Compreensão dos sistemas de controle, automação e instrumentação aplicados ao armazenamento de hidrogênio em diferentes estados físicos, com foco em estabilidade operacional, mitigação de riscos de explosão, vazamentos ou sobrepressão. Inclui protocolos de segurança industrial, sensores inteligentes, sistemas redundantes e práticas normativas voltadas à prevenção de falhas em ambientes críticos da cadeia do hidrogênio.

24. TECNOLOGIAS DE CAPTURA, ARMAZENAMENTO E UTILIZAÇÃO DE CARBONO (CCUS)

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Moderada

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Moderada

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

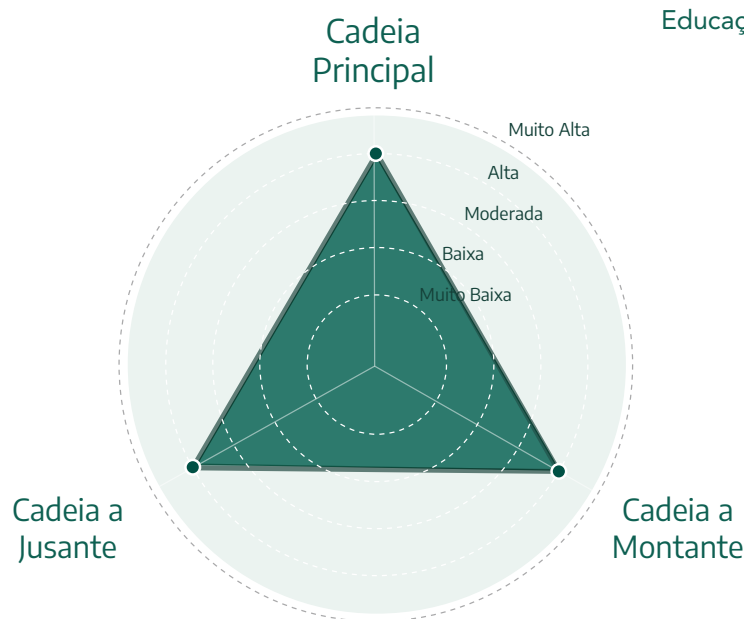
2028

Importância do Perfil Profissional

- Promove o reaproveitamento do CO₂ capturado em setores industriais, agrícolas e energéticos.
- Viabiliza a transição para uma economia de baixo carbono, apoiando metas nacionais e internacionais de descarbonização.
- Fortalece cadeias produtivas, incentivando o uso circular do carbono, visando à descarbonização e à sustentabilidade.
- Integra políticas ambientais, energéticas e econômicas, articulando sustentabilidade com competitividade e inovação produtiva.
- Incentiva a inovação tecnológica, impulsionando pesquisa em materiais, processos e aplicações para a captura, o armazenamento e o uso de CO₂ em processos produtivos.

Atividades

- Monitorar, operar e otimizar sistemas de captura e armazenamento de carbono em processos industriais e energéticos.
- Integrar tecnologias de captura e armazenamento e uso do CO₂ ao fluxo produtivo, considerando aspectos técnicos, econômicos, operacionais e ambientais.
- Interpretar e aplicar legislações, normas e certificações relacionadas ao mercado de carbono e à compensação de emissões.
- Avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do uso do CO₂ capturado e armazenado em diferentes setores.
- Atuar em projetos de compensação de emissões e iniciativas de neutralidade climática, alinhando soluções tecnológicas, baseadas na natureza e híbridas, às metas de descarbonização.
- Analisar rotas tecnológicas para o uso do carbono, como sua conversão em produtos químicos, combustíveis sintéticos, materiais de construção e produtos agrícolas, entre outros.
- Conduzir estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e inventário de emissões de gases de efeito estufa (GHG Protocol), para embasar decisões em projetos de captura, armazenamento e uso de carbono.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Mercado de Carbono - Domínio de metodologias e protocolos para quantificação, verificação e compensação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), com base em normas como a ISO 14064, o Protocolo de Gases de Efeito Estufa e diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), assegurando rastreabilidade, integridade e comercialização de créditos em mercados regulados e voluntários, alinhados às metas do Acordo de Paris.

Análise Econômica e Tributação de Créditos de Carbono - Compreensão de dinâmicas de precificação, mercados regulados, tratamento fiscal e valorização de ativos ambientais, incluindo normas, regimes tributários aplicáveis e instrumentos de incentivo, essenciais à viabilidade econômica e à atratividade de projetos de compensação de emissões.

Ética, Transparência e Responsabilidade Socioambiental - Domínio de princípios éticos, práticas de governança e mecanismos de transparência para garantir integridade institucional, conformidade ESG e inclusão social, com foco em prestação de contas, relatórios de sustentabilidade e mitigação de impactos ambientais na cadeia do carbono.

Prospecção e Vigilância Tecnológica - Conhecimento sobre métodos de monitoramento e análise de tendências tecnológicas, regulatórias e científicas, com uso de ferramentas como mineração de patentes e inteligência competitiva, aplicados ao avanço de tecnologias de descarbonização e à adaptação estratégica em mercados dinâmicos.

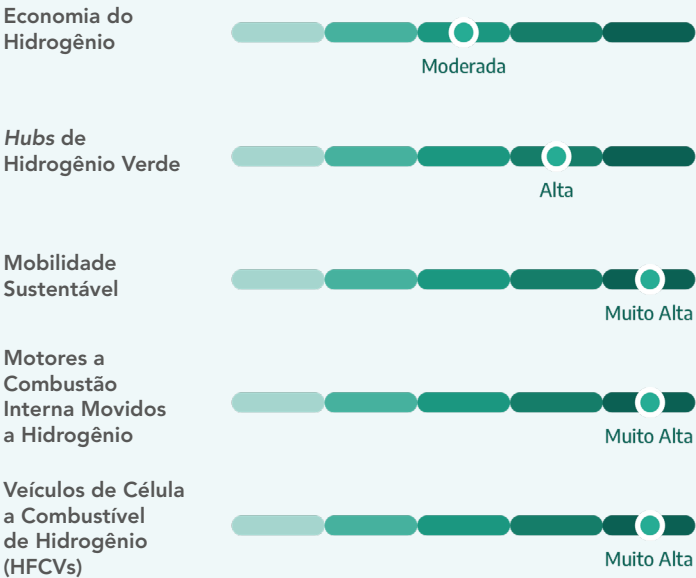
Articulação e Negociação - Domínio de estratégias para conduzir acordos colaborativos em ambientes multissetoriais, com base em negociação integrativa, mediação de conflitos e construção de confiança, viabilizando parcerias estratégicas para projetos de captura, armazenamento, uso e comercialização de carbono.

Descarbonização e Transição Energética - Conhecimento de estratégias tecnológicas e políticas públicas voltadas à redução de emissões, com foco em hidrogênio verde, CCUS, eletrificação, soluções baseadas na natureza e compensação via mercado de carbono, alinhadas à segurança energética e à justiça climática.

Regulamentações e Padronizações - Conhecimento e aplicação das normas e certificações que estruturam os mercados de carbono, além de mecanismos de medir, relatar e verificar, essenciais à rastreabilidade, integridade ambiental e aceitação de projetos em mercados regulados e voluntários.

25. VEÍCULOS SUSTENTÁVEIS E INFRAESTRUTURAS PARA MOBILIDADE A HIDROGÊNIO

Tendências



Ceará

Situação atual da maturidade



Muito Baixa

Demanda por Qualificação



Baixa

UF de Referência no Brasil

Situação atual da maturidade



Baixa

Demanda por Qualificação



Moderada



Intensificação da Demanda

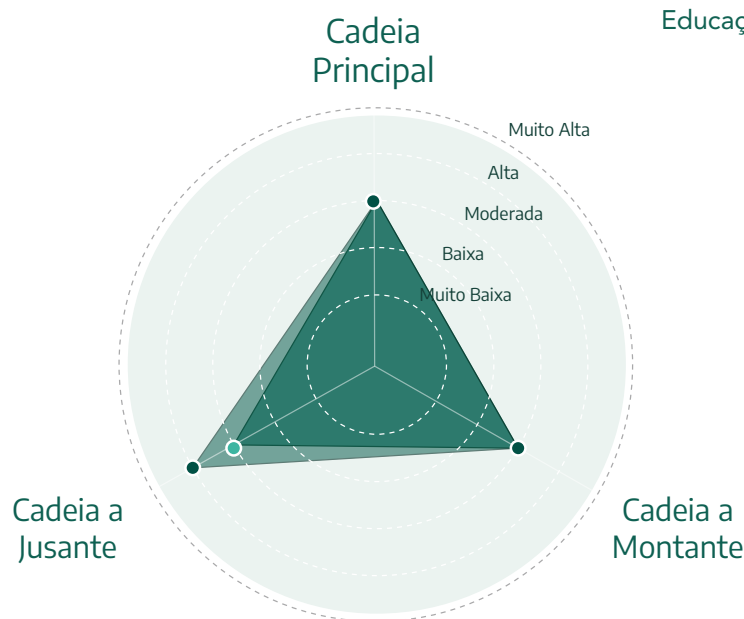
2030

Importância do Perfil Profissional

- Articula soluções para veículos movidos a hidrogênio e infraestrutura, ampliando a mobilidade de baixo carbono em todos os modais de transporte.
- Viabiliza a introdução de veículos movidos a hidrogênio nas estratégias de transição energética, promovendo o desenvolvimento industrial e mercadológico.
- Fomenta a aplicação de tecnologias de simulação e controle de sistemas embarcados para otimizar o desempenho de frotas de baixa emissão de carbono.
- Apoia a expansão de *hubs* de hidrogênio verde, com foco na logística e no abastecimento de hidrogênio e derivados em diferentes modais de transporte.
- Contribui para a resiliência da infraestrutura de mobilidade por meio de soluções de armazenamento de hidrogênio e integração com fontes renováveis.

Atividades

- Implementar infraestrutura de produção, armazenamento e abastecimento de hidrogênio e derivados, voltada à operação segura e eficiente de veículos em diversos modais de transporte.
- Especificar e validar soluções de propulsão baseadas em células a combustível e motores de combustão interna a hidrogênio e derivados, considerando requisitos técnicos, normativos e de sustentabilidade.
- Empregar ferramentas avançadas de simulação, gerenciamento e modelagem para prever o desempenho energético e ambiental de veículos e infraestruturas associadas à cadeia do hidrogênio.
- Integrar tecnologias de cibersegurança e sistemas embarcados para garantir a rastreabilidade, a conectividade e a integridade operacional de frotas inteligentes movidas a hidrogênio.
- Aplicar mecanismos de certificação e de segurança ativa e passiva em meios de transporte de passageiros e cargas movidos a hidrogênio.
- Avaliar a viabilidade técnica e econômica do uso do hidrogênio em diferentes modais de transporte.
- Fomentar a inovação em materiais e componentes automotivos sustentáveis, promovendo leveza estrutural, eficiência energética e redução do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida.



PERSPECTIVA DA CADEIA PRODUTIVA

Legenda:

- IMPORTÂNCIA DO PERFIL
- DEMANDA DO PERFIL

Domínios de Conhecimento

Infraestrutura de Abastecimento e Armazenamento de Hidrogênio e Derivados - Domínio de tecnologias e sistemas para abastecimento de hidrogênio, incluindo produção, compressão, armazenamento e distribuição nos estados gasoso (em diversas pressões) e líquido, contemplando a integração com fontes renováveis, aplicação de normas operacionais de segurança e adaptação da infraestrutura para os modais rodoviário, ferroviário, marítimo e aeronáutico, de forma a garantir continuidade operacional, redução de custos e minimização de perdas energéticas.

Sistemas de Armazenamento de Energia - Conhecimento sobre tecnologias e métodos para armazenar energia gerada por meio de fontes renováveis diversas, com foco em sistemas de hidrogênio (gasoso ou líquido), envolvendo parâmetros como densidade energética, pressão, custos de compressão, liquefação e adsorção, bem como a reconversão eficiente em eletricidade, calor ou energia mecânica por meio de células reversíveis (rSOC), microturbinas, células a combustível e sistemas híbridos.

Simulação e Modelagem de Mobilidade a Hidrogênio - Domínio de ferramentas computacionais aplicadas à simulação de veículos a hidrogênio e suas interações com os sistemas de infraestrutura de abastecimento e armazenamento, além do uso de softwares especializados como MATLAB/Simulink, ANSYS e outros, para a análise e otimização de fluxos energéticos, comportamento térmico, dinâmica de veículos e cenários logísticos.

Cibersegurança e Sistemas Embarcados - Domínio de arquiteturas e protocolos de segurança cibernética aplicados a veículos inteligentes movidos a hidrogênio, como Internet das Coisas (IoT), comunicação veículo a veículo (V2V) e veículo a infraestrutura (V2X), além do desenvolvimento e da implementação de sistemas embarcados que garantem a integridade operacional dos veículos e a proteção dos dados, utilizando práticas avançadas de criptografia, autenticação e defesa contra ataques cibernéticos.

Soluções de Propulsão Veicular a Hidrogênio e Derivados - Conhecimento técnico sobre o design, desenvolvimento e operação de sistemas de propulsão para veículos movidos a hidrogênio, incluindo células a combustível (PEMFC), componentes do sistema de *powertrain* elétrico (baterias, motores elétricos, inversores, conversores e sistemas de gerenciamento veicular), motores de combustão interna adaptados para o uso de hidrogênio, bem como tecnologias adequadas para diferentes modais de transporte.

Tecnologias de Segurança Veicular - Domínio das tecnologias de segurança veicular aplicados a veículos movidos a hidrogênio, incluindo sistemas de segurança ativa – como frenagem automática de emergência, controle eletrônico de estabilidade, sensores de proximidade e câmeras para assistência ao motorista – e sistemas de segurança passiva – como zonas de deformação, *airbags* e dispositivos de proteção contra vazamentos de hidrogênio.

Inovação em Materiais Sustentáveis - Conhecimento em pesquisa e desenvolvimento de materiais avançados com foco em eficiência energética, sustentabilidade e baixo impacto ambiental, além da aplicação de compósitos, ligas e polímeros de alta performance em tanques, sistemas de propulsão e componentes veiculares, promovendo eficiência energética e redução de emissões. Contempla também a Análise do Ciclo de Vida e a busca por soluções recicláveis, reutilizáveis e alinhadas à mobilidade a hidrogênio.

6. ESPECIALISTAS DO SETOR

A construção deste trabalho contou com a contribuição de especialistas de instituições estratégicas do Ceará, que participaram do processo de construção dos conteúdos apresentados. A seguir, são relacionados os especialistas que colaboraram com suas experiências e conhecimentos estratégicos para esta publicação:

PARTICIPANTE	INSTITUIÇÃO
Alessandra Grangeiro	Companhia de Desenvolvimento do Complexo Industrial e Portuário do Pecém S.A. (CIPP S.A.)
Alexandre de Lima Santos	Serviço Social da Indústria (SESI-Ceará)
Antonio Wendell de Oliveira Rodrigues	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Brenno Misquita Silva	White Martins
Brígida Miola	Secretaria do Desenvolvimento Econômico do Estado do Ceará (SDE)
Camila Alves de Lavor	Instituto Sesi SENAI
Camylla Melo	Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC)
Cândido Henrique de Aguiar Bezerra	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-Ceará)
Cayo Cid de França Moraes	Energia Pecém
Constantino Frate	Consultor e Coordenador do Núcleo de Energia da Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC)

PARTICIPANTE	INSTITUIÇÃO
Daniela Telles	Utilitas
Davi Gabriel Lopes	DGLopes Consult
Elizabete Araújo Carneiro	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Ewerton Emmanuel da Silva Calixto	Associação Brasileira da Indústria do Hidrogênio Verde (ABIHV)
Fábio Feijó	Zona de Processamento de Exportação do Ceará (ZPE-CE)
Felipe da Silva Frutuoso	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-Ceará)
Fernanda Delgado	Associação Brasileira da Indústria do Hidrogênio Verde (ABIHV)
Fernando Henrique de Medeiros Fernandes	Verde Soluções
Francisco Pereira Marques Neto	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-Ceará)
Francisco Serra Oliveira Alexandre	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Frederico Ribeiro do Carmo	Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)
Gleide Lima	Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE)
Gustav Souza Costa	Companhia de Gás do Ceará (CEGÁS)

PARTICIPANTE	INSTITUIÇÃO
Heitor Studart	Conselho Temático de Infraestrutura (Coinfra/FIEC)
Helano Márcio Vieira Rangel	Grupo Argo
Hugo Ricardo Lamas Diogo	Fortescue
Isabela Maciel Taveira	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI-Ceará)
Joaquim Rolim	Gerência de Desenvolvimento Sustentável da Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC)
Jorge Alexandre Barros de Almeida	PI Ecology
José de Paula Barros Neto	Universidade Federal do Ceará (UFC)
Jurandir Picanco	Consultor de Energia da Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC)
Marcelo Serra Silva	Qair Energy Brasil
Maria Ludmilla Campos de Moraes	Associação das Empresas do Complexo Industrial e Portuário do Pecém (AECIPP)
Marisete Dantas de Aquino	Universidade Federal do Ceará (UFC)
Mark McHugh	Casa dos Ventos
Mônica Cavalcanti Sá de Abreu	Laboratório de Estudos em Competitividade e Sustentabilidade (LECoS/UFC)

PARTICIPANTE	INSTITUIÇÃO
Mônica Cavalcanti Sá de Abreu	Laboratório de Estudos em Competitividade e Sustentabilidade (LECoS/UFC)
Monica Saraiva Panik	Consultora da Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC) para o Hidrogênio
Ocelo Pinho	Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC)
Ocivaldo Fernandes	Grupo Argo Tech
Pedro Henrique de Lima Gomes	Universidade Estadual do Ceará (UECE)
Ricardo do Couto Maia	Qair Brasil
Ricardo José Ferracim	GH2 Global, Nova Engevix e H2Helium
Ricardo Gedra	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)
Sarah L. da Cunha Lima	Instituto Verdeluz
Venicio Soares de Oliveira	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)
Vinicius Soro	Instituto Amazônia +21

7. REFERÊNCIAS

1. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Green Hydrogen**: A guide to policy making. Abu Dhabi: IRENA, 2022. Disponível em: https://h2.pe/uploads/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_-1.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.
2. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acesso em: 27 jul. 2025.
3. FUEL CELLS AND HYDROGEN JOINT UNDERTAKING (FCH JU). **Hydrogen Roadmap Europe**: a sustainable pathway for the European energy transition. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019. 52 p. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2843/275063>. Acesso em: 27 jul. 2025.
4. INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Skills for a greener future**: skills for energy transition. Geneva: ILO, 2022. Disponível em: <https://www.ilo.org/topics-and-sectors/skills-and-lifelong-learning/skills-green-jobs>. Acesso em: 27 jul. 2025.
5. ZHU, Y.; KEOLEIAN, G.A.; COOPER, D.R. The role of hydrogen in decarbonizing U.S. industry: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S. l.], v. 214, e115392, maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115392>.
6. ANAND, C.; CHANDRAJA, B.; NITHIYA, P.; AKSHAYA, M. et al. Green hydrogen for a sustainable future: a review of production methods, innovations, and applications. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 111, p. 319-341, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.257>.
7. WEISS, R.; KANTO, T.; KIVIRANTA, K.; IKÄHEIMO, J.; KÄRKI, J. Large scale power-to-X production enabling hydrogen valleys: a case study of future industrial hydrogen valley opportunity in Finland. **Applied Energy**, v. 388, e125596, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125596>.
8. BAMPAGOU, M.; PANOPoulos, K. D. An overview of hydrogen valleys: current status, challenges and their role in increased renewable energy penetration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 207, e114923, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114923>.

9. BHANDARI, R.; TRINKS, R.; ARORA, L. et al. Hydrogen production using high temperature electrolysis: A techno-economic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 105, p. 455-469, 2020.
10. PIVETTA, D.; DALL'ARMI, C.; SANDRIN, P.; BOGAR, M.; TACCANI, R. The role of hydrogen as enabler of industrial port area decarbonization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 189, parte B, e113912, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113912>.
11. BOTELHO, D.F.; MORAES, C.A.; OLIVEIRA, L.W. de. Green hydrogen production from hydro spilled energy in Brazilian hydropower plants. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 68, p. 575-585, 28 maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.255>.
12. LEAL, J.I.; TOFOLI, F.L.; MELO, F.D.; LEÃO, R.P.S. Site suitability analysis for green hydrogen production using multi-criteria decision-making methods: a case study in the state of Ceará, Brazil. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 97, p. 406-418, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.11.427>.
13. CÂMARA DE COMÉRCIO BRASIL-CANADÁ (CCBC). **Brazil could offer 15% of green hydrogen exports in the future**. 2024. Disponível em: <https://www.ccbc.org.br/en/publicacoes/news-ccbc/brazil-could-offer-15-of-green-hydrogen-exports-in-the-future/>. Acesso em: 5 ago. 2025.
14. CZAPP. **Brazilian ports get ready for energy transition with green hydrogen**. 2024. Disponível em: <https://www.czapp.com/analyst-insights/brazilian-ports-get-ready-for-energy-transition-with-green-hydrogen/>. Acesso em: 5 ago. 2025.
15. AZEVEDO, S.S.P.; PEREIRA JUNIOR A.O.; SILVA N.F. et al. Assessment of offshore wind power potential along the Brazilian Coast. **Energies**, n.13, p. 2557, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13102557>.
16. PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; GONÇALVES, A.R. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar 2017**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. DOI: <https://doi.org/10.34024/978851700089>.
17. MACHADO MEYER. **Viability of green hydrogen hubs in Brazil**. 2024. Disponível em: <https://www.machadomeyer.com.br/en/recent-publications/publications/infrastructure-and-energy/viability-of-green-hydrogen-hubs-in-brazil>. Acesso em: 5 ago. 2025.

18. REUTERS. **Brazil's Eletrobras partners with GEP for green hydrogen project.** 2024a. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/brazils-eletrobras-partners-with-gep-green-hydrogen-2024-05-14/>. Acesso em: 5 ago. 2025.
19. WORLD BANK. **Green Hydrogen in Developing Countries:** Pathways for Industrial Decarbonization. Washington: World Bank, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.
20. AUSTRIAN INSTITUTE OF ECONOMIC RESEARCH (WIFO). **Socioeconomic impacts of green hydrogen in Brazil.** 2024. Disponível em: <https://www.wifo.ac.at/en/publication/72983/>. Acesso em: 5 ago. 2025.
21. WORLD BANK. **World Bank supports Ceará's green hydrogen strategy to boost economic transformation.** Washington: World Bank, 2025. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/07/09/world-bank-supports-cearas-green-hydrogen-strategy-to-boost-economic-transformation>. Acesso em: 5 ago. 2025.
22. REUTERS. **Brazil's Eletrobras, Suzano team up to make green hydrogen and synthetic fuels.** 2024b. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/brazils-eletrobras-suzano-team-up-make-green-hydrogen-synthetic-fuels-2024-06-27/>. Acesso em: 5 ago. 2025.
23. REUTERS. **Saudi Arabia's PIF plans \$15 billion investment in Brazil.** 2024c. Disponível em: <https://www.reuters.com/business/energy/saudi-arabias-pif-plans-invest-15-billion-brazil-says-brazilian-minister-2024-06-12/>. Acesso em: 5 ago. 2025.
24. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review.** 2022. Paris: IEA, 2022.
25. GHAF FOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, G. L. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. **Desalination**, v. 309, p. 197–207, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>.
26. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional do Hidrogênio:** Relatório Técnico e Estratégico. Rio de Janeiro: EPE, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-do-Hidrogenio>. Acesso em: 5 ago. 2025.

27. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Review**. 2023. Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acesso em: 27 jul. 2025.
28. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Nova Indústria Brasil**: Estratégia para Reindustrialização Verde e Digital. Brasília: MDIC, 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/nova-politica-industrial-tem-r-300-bilhoes-previstos-para-financiamento-ate-2026>. Acesso em: 5 ago. 2025.
29. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal**: Green Hydrogen Supply and Demand 2050. Abu Dhabi: IRENA, 2023. Disponível em: https://india-re-navigator.com/public/uploads/1651644555-IRENA_Global_Trade_Hydrogen_2022.pdf. Acesso em: 27 jul. 2025.
30. BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional do Hidrogênio**: Diretrizes para a Economia do Hidrogênio no Brasil. Brasília: MME, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>. Acesso em: 5 ago. 2025.
31. WORLD BANK. **Green Hydrogen in Developing Countries**: Pathways for Industrial Decarbonization. Washington: World Bank, 2024. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/953571597951239276/pdf/Green-Hydrogen-in-Developing-Countries.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2025.
32. FIGUEIREDO, M. A. G. de; SANTOS, L. G. dos; NASCIMENTO, R. L.; CORRÊA, H. L. The Brazilian Research Scenario in Green Hydrogen: A Brief Contextualization. **Journal of Energy and Power Technology**, v. 6, n. 4, 2024. DOI: 10.21926/jept.2404020.

Executado por:



Em parceria com:

