

MERCADO DE HIDROGÊNIO VERDE E POWER TO X: DEMANDA POR CAPACITAÇÕES PROFISSIONAIS

Fevereiro 2023



DOCUMENTO ELABORADO PARA O PROJETO H2BRASIL

Componente 03 – Educação Profissional

GIZ

Christoph Buedke
Martin Studte
Marcelo Messias Ramos

Integration/GOPA:

Klaus-Peter Albrechtsen (Líder do projeto)
Lothar Hoppe
Rosana Zacarias Domingues

Elaborado por:

Lothar Hoppe (coordenação)
Dr. Marc Bovenschulte - Especialista Contratado - iit - Institut für Innovation und Technik
Dra. Marina Bistrizki Domingues - Especialista Contratada. UFMG
Dra. Rosana Zacarias Domingues

O trabalho apresentado aqui faz parte da colaboração do projeto na área de hidrogênio verde e suas aplicações com o Departamento Nacional do SENAI e pela **Superintendência de Negócios Internacionais - SUPERNI, liderada por Frederico Lamego de Teixeira Soares - e pela Superintendência de Educação Profissional e Superior - SUEPS, liderada por Felipe Esteves Pinto Morgado** -, além dos seguintes Departamentos Regionais do SENAI: SENAI-RN/CTGAS - Coordenação Benilton Nunes, SENAI-CE - Coordenação Isabela Maciel Teixeira, SENAI-BA - Coordenação Jose Luiz Goncalves de Almeida, SENAI-SP - Coordenação Luis Henrique Mendes de Oliveira, SENAI-SC - Coordenação Charles Zanini Miranda e SENAI-PR - Coordenação Marcos Berton.

Brasília, junho 2022

Informações Legais

- 1)** Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Consequentemente, nem o SENAI, a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo. As ideias e opiniões expressas nesta publicação são dos autores e não refletem necessariamente a posição do SENAI ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- 2)** A duplicação ou reprodução de todo ou partes (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o SENAI e a GIZ sejam citados como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes, é necessário o consentimento por escrito do SENAI e da GIZ.

SUMÁRIO

1. Introdução	9
1.1 Objetivo	10
1.2 H2-Verde como vetor energético	10
2. O PtX/H2 Verde Brasil	12
2.1 O que é H2 Verde.....	12
2.2 O que é PtX ou Power to X ou P2X	12
3. A economia do H2.....	14
3.1 A estruturação do Mercado.....	14
3.2 Cadeia de hidrogênio Verde	14
3.3 Profissionais para a cadeia do hidrogênio	15
3.4 Segurança em primeiro lugar.....	16
3.5 Uma visão de capacitação mundial	18
4. Capacitações em H2 Pt X Em outros países.	21
4.1 Análise de dados científicos.....	21
4.2 Visão geral sobre resultados de diferentes países	23
4.3 Formação profissional.....	25
4.3.1 Energia e proteção climática - Alternativas para o Futuro; total de 6 Unidades didáticas (TU)	26
4.3.2 Produção de hidrogênio; total de 16 Unidades didáticas (TU).....	26
4.3.3 Armazenamento e transporte de hidrogênio; total de 8 Unidades didáticas (TU).....	27
4.3.4 Aplicações para o uso de hidrogênio; total de 10 Unidades didáticas (TU).....	27
4.4 Conhecimento de orientação para empresas.....	27
4.5 Educação acadêmica.....	28
4.5.1 Estudos de mestrado	28
4.5.2 Certificado de Estudos Avançados	29
4.5.3 Nano Graus.....	30
4.5.4 Seminários com insumo acadêmico	30
4.6 Habilidades digitais para hidrogênio verde	32
4.7 Perfis de qualificação selecionados para a cadeia de valor de hidrogênio	34
4.7.1 Fabricante de eletrolisadores	34
4.7.2 Engenheiros/técnicos de células a combustível.....	36
4.8 Habilidades de aplicação em diferentes indústrias.....	38
4.8.1 Aço.....	39
4.8.2 Indústria química.....	40

4.8.3 Hidrogênio para mobilidade	42
5. Estudo feito para H2 PtX no Brasil	44
5.1 Metodologia	44
5.1.1 Situando o estudo	44
5.1.2 Seleção de amostra e procedimentos de coleta de dados	44
5.1.3 Instrumentos de coleta de dados	45
5.1.3.1 O questionário	45
5.1.3.2 As entrevistas	47
5.1.4 Tratamento dos dados	47
5.2 Resultados	48
5.2.1 Questionário	48
5.2.1.1 Dados Gerais	48
5.2.1.2 Dados por Grupos	52
5.2.2 Entrevistas	55
5.3 Da demanda por capacitações	56
6. Conclusões	63
7. Referências	65
8. Anexos	69
8.1 Anexo 01 - Questionário	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Papel do hidrogênio na transição energética	13
Figura 2: Identificação da cadeia de hidrogênio verde	14
Figura 3: A análise de cluster aplicando as cadeias de busca	21
Figura 4: A análise de cluster aplicando as cadeias de busca	22
Figura 5: Uma implementação bem-sucedida e a ascensão de uma verdadeira economia de hidrogênio composta de fabricação de equipamentos, produção de H ₂ , bem como transporte, armazenamento e aplicação de H ₂ em diferentes indústrias/setores requerem a geminação de habilidades digitais e habilidades técnicas, de engenharia, segurança e habilidades relacionadas ao H ₂	34
Figura 6: Cadeia de valor do hidrogênio	44
Figura 7: Relação entre população e amostra da pesquisa.....	45
Figura 8: Estrutura Questionário	46
Figura 9: Tela de abertura do questionário	46
Figura 22: Mapa de palavras derivado das entrevistas	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Capacitações por nível de graduação	16
Tabela 2: Objetivo, requisitos, conteúdo e duração de um curso típico “Hidrogênio do conhecimento básico”. O foco da aplicação (aqui: Automóvel) varia de setor para setor.	18
Tabela 3: Três tipos diferentes de “treinamento básico” representando diferentes níveis de pré-requisitos. O conhecimento anterior que pode ser tomado para definir o nível inicial integra capacidades teóricas e práticas também define a duração de cada curso e o escopo do conteúdo. É mais do que provável que um curso de 25 horas em treinamento de transição para trabalhadores experientes (certificados) resultará em pelo menos 40 horas cobrindo elementos específicos de H2 a serem integrados ao treinamento ocupacional	19
Tabela 4: Conteúdo de um curso de treinamento de transição de três dias sobre hidrogênio na indústria de gás. A participação requer conhecimento profissional certificado e se dirige aos engenheiros existentes. As horas Orientadas por tutores são complementadas por mais horas de autoaprendizado do próprio participante.....	20
Tabela 5: Módulos e conteúdo do “M.Sc. em tecnologia e economia de hidrogênio”	29
Tabela 6: Composição da amostra dos entrevistados	55
Tabela 7: Tabela de descrição de capacitações	62

LISTA DE ABREVIATURAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ABH2	Associação Brasileira do Hidrogênio
ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
ABIOGÁS	Associação Brasileira de Biogás
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
BA	Bundesagentur. - Agência Federal de Emprego
BAR	Unidade de medida de pressão
BMBF	Federal Ministry of Education and Research (Ministério de Educação e Pesquisa da Alemanha)
CAD	Computer Aided Design
CAS	Certificado de Estudos Avançados (Especialização de 6 meses)
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
cFRA	Concentração alternada Frequency Response Analysis
Chesf	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CIBIOGÁS	Centro Internacional de Energias Renováveis
CIPP	Complexo Pecém.
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono (Gás carbônico)
CTDUT	Centro de Tecnologia em Dutos
DRI	Ferro reduzido direto, também chamado de ferro esponja
ECTS	European Credit Transfer and Accumulation System - Sistema Europeu de Transferência e Acumulação de Créditos Acadêmicos
EDP	Empresa de Energia de Portugal no Brasil
ELETRONORTE	Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENEL	Empresa multinacional de energia - Entidade Nacional de Eletricidade
ER	Energias Renováveis
FAUN	Industria de equipamentos e veículos de coleta de resíduos diesel-elétricos.
FCEs	Engenheiros de células a combustível
Fe	Ferro
FIP	École Nationale Supérieure du Pétrole et des Mouters
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
GW	Gigawatt
H2	Hidrogênio
ICT	TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação)
IDT	Instituto de Desenvolvimento do Trabalho
IEA	Agência Internacional de Energia
IFs	Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia
IHK	Industrie- und Handelskammer - Câmara Regional de Indústria e Comércio.
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
MCTIC	Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações.
MEC	Ministério da Educação
MME	Ministério de Minas e Energia
MTP	Ministério do Trabalho e Previdência

MW	Mega Watt
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvidimentos
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEM	Próton Exchange Membrane
PtX	Power-to-X
PwC	Price Waterhouse Coopers
SCADA	Supervisory Central and Data Acquisition
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SHRM	Society for Human Resource Management
SI	Sistema Internacional
SOEC	Solid Oxide Electrolyser
STEM	Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TRBS/TRGS	Technischen Regeln für Betriebssicherheit/Gefahrstoffe - Regras Técnicas para Segurança Operacional (regulamento alemão)
TU	Unidades didáticas (Hora Aula 45 min.)
TU Dresden	Technische Universität Dresden - Universidade de Tecnologia de Dresden
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VET	Vocational Education and Training – Cursos e treinamentos Técnicos

1. INTRODUÇÃO

A água é o carvão do futuro. A energia do amanhã é a água que foi decomposta pela eletricidade. Os elementos decompostos de água, hidrogênio e oxigênio.

Jules Verne "A ilha misteriosa", 1874

A Alemanha e a União Europeia estabeleceram a meta ambiciosa de proteção climática de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em um total de 60% até 2030 em comparação com 1990 e de 80 a 95% até 2050. Para alcançar a desejada neutralidade climática em 2050, são necessárias mudanças em todos os setores da economia. O hidrogênio verde será indispensável aqui. Com a ajuda do hidrogênio verde e seus derivados *Power-to-X* (PtX), setores em particular que são difíceis de eletrificar (por exemplo, aviação e transporte marítimo, tráfego de mercadorias pesadas, indústrias químicas e siderúrgicas) podem ser descarbonizados e o acoplamento inteligente de setores é promovido.

Em carta ao governo federal alemão, o então ministro brasileiro de Energia, Bento Albuquerque, destacou a estratégia nacional alemã de hidrogênio como uma importante contribuição para a descarbonização e reafirmou a vontade de expandir ainda mais as energias renováveis e promover a descarbonização também no Brasil. O ministro também manifestou interesse em estabelecer uma parceria com a Alemanha para a produção de produtos verdes H2 e PtX. O Brasil está trabalhando no desenvolvimento de uma estratégia nacional na área de H2 e quer integrar o hidrogênio verde a essa estratégia. A pedido do Ministério de Minas e Energia (MME), a cooperação alemã para o desenvolvimento apoia os parceiros brasileiros no desenvolvimento de estratégias.

Nesse contexto, foi lançado em 2021 o programa de cooperação bilateral "H2Brasil" entre Alemanha e Brasil, uma iniciativa do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Sociedade Alemã de Cooperação Internacional GmbH (GIZ).

Este Programa foi dividido em cinco campos de atuação, que são:

- 1.** Criação de condições de enquadramento estrutural para regulação e planejamento energético;
- 2.** Identificação e divulgação das potencialidades técnicas e econômicas das aplicações do H2 PtX no Brasil;
- 3.** Fortalecimento de pessoal e capacidades técnicas de atores selecionados de formação profissional e universitários no campo de H2/PtX;
- 4.** Promoção de projetos inovadores nas áreas de produção, transporte, armazenamento e aceitação de produtos H2 e PtX no Brasil;
- 5.** Promoção de expansão de mercado/escalonamento de projetos.

Sendo organizado a partir da contextualização do tema H2Verde como um novo vetor energético mundial e a estruturação das necessidades de habilidades para o mercado nacional.

O SENAI DN, um parceiro reconhecido pela experiência em educação técnica profissional no país, contribuiu com especialistas técnicos e em educação para a elaboração desse estudo, além de definir um centro de excelência e cinco centros regionais para a implantação de laboratórios de referência que servirão como base para a implementação de cursos de diversos níveis para o desenvolvimento de recursos humanos que virão a atender a esse novo mercado em desenvolvimento.

O Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis / CTGAS-ER no Rio Grande do Norte foi definido como o Centro de Excelência e líder técnico da iniciativa devido à sua experiência com energias renováveis e a inserção do gás natural na matriz energética brasileira, além de estar localizado em um dos principais Estados com a implantação de geradores eólicos no país. Os outros cinco regionais, Bahia (CIMATEC - Salvador), Ceará (Fortaleza), Paraná (Curitiba), Santa Catarina (Jaraquá do Sul) e São Paulo (Indaiatuba) foram selecionados sua experiência em temas relacionados às energias renováveis, digitalização e atividades já iniciadas em hidrogênio verde e PtX.

O estudo foi dividido em três partes, sendo a primeira uma contextualização do H2Verde, a segunda trata de modelos praticados internacionalmente e a terceira de uma pesquisa nacional junto a Empresas, Associações, Instituições de Ensino, Centros de Pesquisa e Órgãos Governamentais e de fomento, para avaliar suas demandas.

1.1 Objetivo

Este estudo poderia apresentar vários objetivos tanto a nível de estado da arte do mercado como o estado da arte das capacitações ou até mesmo uma compilação das capacitações já existentes no mercado mundial. Mas para a componente O3 (capacitações) optamos em avaliar e estruturar a demanda por capacitações na cadeia do hidrogênio no Brasil, incluindo os diferentes atores envolvidos na geração, armazenamento, distribuição e utilização energética e industrial do hidrogênio e seus carregadores. Foi também objetivo do trabalho mapear as lacunas de conhecimento nesta cadeia para sugerir a formação de competências, tais como técnicos, gestores, reguladores e outros agentes-chave, para exploração do potencial mercado de hidrogênio no Brasil.

Para dar uma maior abrangência e fundamentação o estudo este foi baseado no mercado nacional e internacional na área em questão. O objetivo internacional do estudo também foi o de verificar o estado da arte desta capacitação em outros países.

1.2 H2-Verde como vetor energético

Atualmente, o uso do hidrogênio é em grande parte limitado ao refino de petróleo e à produção de amônia e metanol na indústria química. A demanda global por hidrogênio foi de aproximadamente 90 milhões de toneladas no ano 2020, produzida principalmente a partir de combustíveis fósseis (gás natural, carvão) e emitindo cerca de 900 milhões de toneladas de CO₂. A maior parte do hidrogênio produzido é utilizada no ponto de produção. Apenas 4% são vendidos como gás técnico, por exemplo, na indústria alimentícia como endurecedor de gordura, como gás antioxidante em processos metalúrgicos ou como gás dopante de alta pureza na indústria de semicondutores. As indústrias química e metalúrgica vêm usando hidrogênio em grandes quantidades há mais de 100 anos, com um bom histórico de segurança. Tendo em vista a ampla gama de usos possíveis para o hidrogênio, espera-se que o hidrogênio produzido a partir de rotas com baixa emissão de carbono apresente aplicações transversais, incluindo diversos setores econômicos. Ademais, o hidrogênio também pode se tornar cada vez mais importante para a integração de sistemas de energia com crescente participação de fontes renováveis intermitentes, devido à sua capacidade de armazenamento e transporte.

O hidrogênio apresenta um papel importante nos cenários de redução de emissões de CO₂ e na economia NET-ZERO. Estima-se que a demanda por hidrogênio aumentará em aproximadamente seis vezes para 530 milhões de toneladas em 2050, metade da qual será consumida na indústria pesada (principalmente na produção de aço e produtos químicos) e pelo setor de transporte. Em tal cenário, 30% do hidrogênio será utilizado para produção de combustíveis sintéticos à base de hidrogênio, principalmente amoníaco (para navegação e geração de energia), querosene sintético para aviação e metano como mistura em redes de gás. Enquanto 17 % serão usados em usinas elétricas a gás para equilibrar a crescente geração de eletricidade fotovoltaica, eólica e para fornecer armazenamento sazonal (IEA - Agência Internacional de Energia 2021, p. 108). Estima-se um impacto de total entre US\$60 bilhões a US\$65 bilhões anuais até 2050 para os fabricantes de máquinas e equipamentos para a cadeia do hidrogênio, prevendo as maiores parcelas de mercado para os eletrolisadores e células a combustível (Ludwig et al. 2021, p. 10). Atualmente, 120 fornecedores atuam na fabricação de eletrolisadores e células a combustível (Ludwig et al. 2021, p. 22).

A produção e o uso do hidrogênio verde, que está ocorrendo à luz do aquecimento global, não só visam substituir o hidrogênio "cinza" (CO₂ - intenso) por uma variante neutra para o clima, mas também permitirão uma variedade de aplicações adicionais no futuro. Além destes novos contextos de aplicação, dos processos industriais estabelecidos e da integração da produção de hidrogênio verde no sistema de geração de energia regenerativa, a eletrólise da água, são as inovações centrais de uma economia de hidrogênio verde.

As expectativas em relação ao desenvolvimento tecnológico e ao crescimento econômico favorável ao clima são correspondidas por expectativas não menos elevadas em relação à criação de novos empregos. Por exemplo, a União Europeia estima a criação de 5,4 milhões de novos empregos até 2050 voltados para a produção de hidrogênio, a produção de infraestrutura técnica, máquinas e indústrias fornecedoras (Serviço de Publicações da União Europeia 2019, p. 18). Da mesma forma, cerca de 800.000 pessoas deverão ser empregadas na economia do hidrogênio verde na Alemanha até 2050 (Merten et al. 2020). Devido ao tamanho do mercado e do desenvolvimento de uma economia hidrogênio verde ser um processo global, podem ser esperados fortes incentivos também em outros países, tais como Brasil, Chile e outros.

O desenvolvimento de tal economia, que atualmente está ocorrendo em escala global, é caracterizado por inúmeros desafios. Em essência, há uma simultaneidade de tecnologias, rotas de produção, modelos de negócios, regimes regulatórios, e, mais especificamente o que tange o presente relatório, requisitos de qualificação emergentes. No que diz respeito à educação e às habilidades da qualificação de profissionais, é enfatizado que estas desempenham um papel importante para uma economia de hidrogênio verde funcional e competitiva. São necessárias habilidades para a fabricação de sistemas e equipamentos técnicos para a produção, armazenamento, distribuição, uso do hidrogênio verde e para a integração de sistemas associados. Tais habilidades são igualmente necessárias para a qualificação de pessoal e para a operação e

manutenção dos novos sistemas e instalações. No lado administrativo, são necessários conhecimentos em regulações, legislações e em gestão para aplicação em procedimentos de planejamento. (Bovenschulte, 2021).

Neste contexto, surge uma questão essencial: Como preparar as habilidades e qualificações necessárias, se, por um lado, tudo está surgindo em paralelo e, por outro, ainda não existe um mercado (de trabalho) estabelecido? Num cenário de expansão do mercado até 2030 implica que “o crescimento das indústrias de hidrogênio e células a combustível levará a vastas novas oportunidades de emprego, e estas serão criadas em uma grande variedade de indústrias, habilidades, tarefas e ganhos... Muitos desses empregos não existem atualmente e não possuem títulos profissionais definidos em classificações oficiais. Além disso, muitos desses empregos exigem habilidades e educação diferenciada dos empregos atuais, e os requisitos de treinamento devem ser avaliados para que esta parte da economia em rápido crescimento tenha uma oferta suficiente de trabalhadores treinados e qualificados” (Bezdek 2019, p. 1). Atualmente, a indústria mostra um interesse crescente em questões relacionadas ao hidrogênio e células a combustível, e, portanto, nas áreas de mecânica e instalações, integradores de sistemas, fabricantes de equipamentos de teste, dentre outros. Muitas destas questões são técnicas (compatibilidade de materiais, adequação de componentes existentes, projeto de células a combustível, eletrólise, requisitos de pureza etc.) e regulatórias (regulamentos e normas existentes, que procedimentos administrativos devem ser seguidos para a instalação de uma planta industrial etc.) (*Nationale Organisation Wasserstoff - und Brennstoffzellentechnologie* (NOW GmbH) 2021, p. 58).

Uma análise dos anúncios de emprego na Alemanha no ano de 2021, mostra que os perfis hoje mais demandados referem-se à “pesquisa e desenvolvimento técnico”, “engenharia mecânica e operacional”, “engenharia elétrica”, “química” e “tecnologia energética”. Semelhante ao setor de energia eólica e solar, há também demandas em “organização e estratégia corporativa”, “fornecimento e descarte” e “compras e vendas”. Em geral, cerca de 90% dos empregos com demanda de competências em hidrogênio correspondem a “atividades tecnicamente orientadas” e “atividades altamente complexas” em seus níveis de exigência (Grimm et al. 2021, p. 4), cobertos pelo ensino acadêmico e pelo VET. Resultados similares foram obtidos em uma análise feita para a França. O estudo revela que de 84 profissões identificadas como relevantes para uma economia de hidrogênio, 58% exigem um diploma de 5 anos: as necessidades atuais estão centradas em engenheiros e “doutores”, especializados na área, devido à fase inicial de maturidade industrial e se baseiam no projeto e desenvolvimento de materiais, componentes, tecnologias e sistemas. A necessidade de técnicos (40 %) e operadores (16 %) é ainda menor. (*France Hydrogène* 2021, p. 19).

Da mesma forma, os cursos de aperfeiçoamento são predominantemente destinados a especialistas técnicos, em particular engenheiros, técnicos certificados pelo Estado e mestres artesãos, que, com base em sua formação profissional e experiência profissional já adquirida, adquirem conhecimentos especializados em tecnologias e aplicações de sistemas de hidrogênio.

2. O PTX/H2 VERDE BRASIL

O Brasil, devido à grande disponibilidade de terra e água doce, é um dos países com maior potencial de geração de energia elétrica com energias renováveis (ER) em todo o mundo. O país tem metas ambiciosas de expansão para energia renovável e conta com processos de concessões por meio de leilões para projetos de geração de energia elétrica com energias renováveis há muitos anos. Esse mecanismo tem contribuído para que o Brasil tenha um dos preços mais favoráveis da energia eólica e fotovoltaica na comparação internacional. Além disso, o Brasil possui grande capacidade de geração de eletricidade a partir de energia hidrelétrica e, graças à complementaridade dessas fontes, pode gerar constantemente eletricidade muito barata e neutra em termos climáticos durante todo o ano. A participação das energias renováveis já é de 82% (das quais 64% hidrelétricas, 18% outras renováveis). A alta e constante utilização do processo de eletrólise fornece a base para baixos custos de produção de H₂. O Brasil tem, portanto, excelentes condições como local de produção de energias renováveis e de produção de hidrogênio verde e PtX.

No âmbito do desenvolvimento de uma economia de H₂ e PtX, pretende-se alargar a oferta local de energia, promover a produção e utilização sustentável de H₂ e PtX no ciclo econômico nacional e internacional e realizar ações de formação. Isso cria empregos e renda preparados para o futuro e contribui para a segurança energética local, bem como para o aumento do valor agregado local e a diversificação da estrutura econômica.

O objetivo da política de desenvolvimento do PtX H₂ Brasil é melhorar as bases para a criação de uma economia nacional de hidrogênio com conectividade e integração no *ramp-up* do mercado regional sul-americano e internacional de H₂.

2.1 O que é H2 Verde

A produção de hidrogênio a partir da eletrólise da água utilizando fontes renováveis é um processo de baixa emissão de CO₂, podendo apresentar importantes vantagens para a descarbonização de sistemas de energia e industriais, bem como, oportunidades para o desenvolvimento de setores econômicos no Brasil. O hidrogênio de baixo carbono apresenta um relativo destaque para setores de difícil abatimento de emissões, tais como produção de materiais virgens (ex. cerâmicas, aço, cimento, fertilizantes), transportes de longa distância e carga pesada, e atividades econômicas relacionadas ao aquecimento ou combustão direta. Dessa forma, o hidrogênio oriundo da eletrólise da água, assim como, aquele produzido a partir de outras rotas que minimizam ou sequestram carbono da atmosfera, é um possível vetor energético que contribuirá para a transição energética. Dentre vários países, a Alemanha ressalta esta visão na sua Estratégia Nacional para o Hidrogênio.

2.2 O que é PtX ou Power to X ou P2X

Power-to-X (PtX) está relacionado ao processo de conversão de energia elétrica (*power*) para um outro vetor energético (X), normalmente hidrogênio ou seus carreadores, a partir da eletrólise da água. No contexto da transição energética, esses processos de conversão de energia ganharam importância em países onde há um crescimento de uso de fontes renováveis intermitentes e uma baixa interligação do sistema elétrico. Para reduzir o uso de combustíveis fósseis em suas matrizes elétricas, esses países precisam não apenas equiparar o suprimento intermitente de energia renovável às altas demandas energéticas da população, mas também distribuir e interligar o fornecimento da eletricidade gerada em regiões com condições geograficamente favorecidas de sol e vento às demais regiões de seus países. Nesse sentido, o PtX é uma solução para armazenar e transportar a eletricidade convertida em hidrogênio para diversas regiões desprovidas de suprimento de fontes de energia renovável intermitente, conforme ilustrado na Figura 1.

A reestruturação do mercado de energia é fundamentada em dois importantes pilares. O primeiro, é o de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis visando descarbonização global e dos sistemas econômicos. O segundo, é o de aproveitamento do potencial de fontes renováveis, principalmente as intermitentes como eólica e solar, a partir da expansão do uso do hidrogênio para fins energéticos, tal como para o armazenamento da eletricidade gerada durante períodos de baixa demanda.

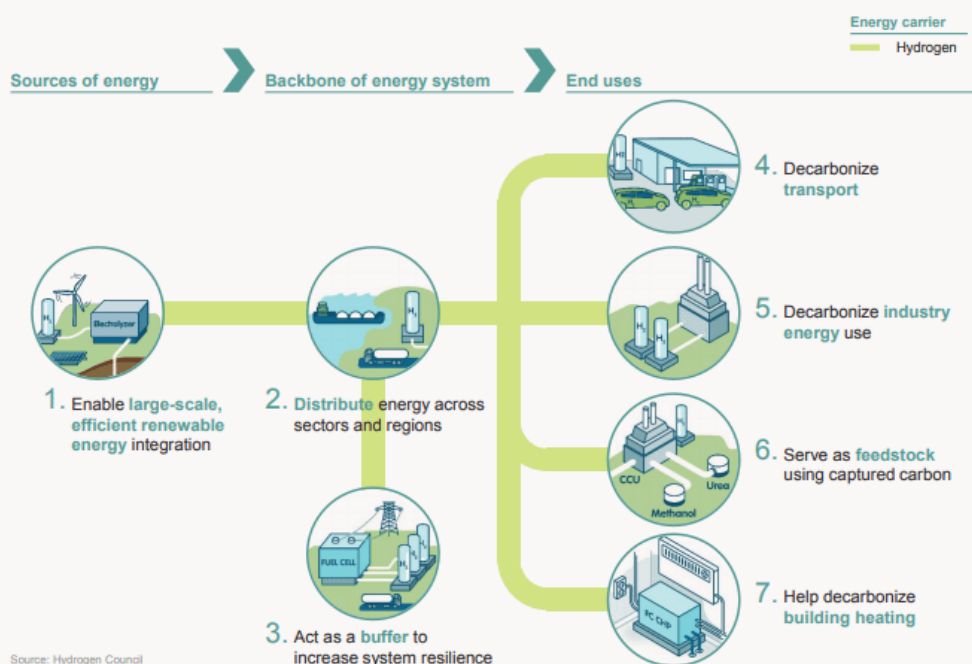


Figura 1: Papel do hidrogênio na transição energética – Fonte: Hydrogen Council, Hidrogênio tem sete papéis na descarbonização dos principais setores da economia

Uma vez obtido, o hidrogênio pode ser utilizado em seu estado líquido ou gasoso para fins energéticos e industriais. Outros combustíveis, carreadores de energia ou insumos químicos podem ser sinteticamente produzidos a partir do hidrogênio e encontram aplicações nas seguintes modalidades:

Mobilidade

- O *Power-to-X* produz combustíveis sintéticos para aplicação imediata como e-Metano, e-Metanol, e-Diesel, e-Gasolina ou combustível *e-Jet* – prontos para uso instantâneo. Eles podem ser misturados gradualmente com combustíveis fósseis, até que substituam totalmente os combustíveis fósseis como uma fonte de energia primária. A vantagem da transição do combustível fóssil para o e-combustível é que a infraestrutura já existente de transporte e armazenamento de gases, como gasodutos, os postos de gasolina e as instalações de armazenamento, pode ser aproveitada, bem como, aplicações de consumidores existentes e de baixo custo, alimentadas por *e-Fuels*.

Geração de energia

- As turbinas a gás modernas podem ser operadas com uma mistura de hidrogênio e gás natural, com uma participação de hidrogênio de 5 a 100%. O hidrogênio pode ser armazenado em cache (tanques ou cilindros), transportado em redes de gás e convertido em energia elétrica em turbinas a gás, ciclos combinados ou usinas movidas a células a combustível.

Indústria

- Em indústrias intensivas em calor, como as siderurgias, o hidrogênio permite a produção de metais livres de CO₂; o hidrogênio também poderá ser utilizado como matéria-prima para produção de amônia e outros produtos. Assim todas as áreas industriais como a química, siderúrgica, alimentícia e demais serão beneficiadas pelo uso do hidrogênio vindo de fontes renováveis.

Habitacional

- Em alguns locais a demanda por calor é o aquecimento e em outros é o resfriamento de residências e espaços públicos. Tal demanda pode ser suprida tanto a partir do insumo energético da rede ou de a partir de hidrogênio diretamente como cogeração ou até por tri geração.

A ampliação do uso do hidrogênio em atividades energéticas e industriais, inclusive as direcionadas para o contexto da transição energética, depende de esforços e investimentos em capacitações em diferentes níveis de ensino, compreendendo níveis superior, pós-graduação e técnico. É necessário construir competências locais capazes de construir, regular, operar e manter centrais de geração e de manuseio de hidrogênio e dos novos combustíveis.

O presente trabalho visa compreender as demandas por capacitação no Brasil a partir da perspectiva dos atores da cadeia do hidrogênio. Foram levantados dados através de um questionário e entrevistas com profissionais de empresas e indústrias, instituições de ensino e pesquisa e membros de agências de governo e financiamento no país.

3. A ECONOMIA DO H2

A economia do H2 verde surge na necessidade de pleno aproveitamento das energias renováveis. A necessidade de estocagem destas energias geradas em períodos de pouco consumo e a urgência na descarbonização da atual economia fez do Hidrogênio o combustível ideal para superar estas demandas.

Para dar uma maior abrangência e fundamentação o estudo é baseado no mercado nacional e internacional na área em questão. Pelo ineditismo do assunto também é de extrema importância uma visão internacional sobre o estado da arte das capacitações e para tanto foi verificado o que está sendo elaborado em outros países.

O mercado ou economia do Hidrogênio Verde, incluindo aquele relacionado ao PtX, apresenta uma demanda potencial por capacitações. Como mencionado anteriormente, o processo de migração para uma nova modalidade energética impõe desafios técnicos e operacionais que exigem conhecimentos específicos. Estes conhecimentos transcendem uma formação de engenharia ou técnica. Como exemplo, podemos considerar que um organizador e/ou projetista, de uma planta de geração de hidrogênio (eletrolise) necessita de conhecimentos de mecânica, elétrica, química, de TI e de segurança. De forma análoga, o operador desta planta uma vez projetada e em operação deverá possuir parte destes conhecimentos. Abrem-se também mercados de trabalho para especialistas em segurança, logística e motoristas para o hidrogênio.

3.1 A estruturação do Mercado

O “novo” mercado de energia baseado no PtX H2 Verde portanto, anseia por treinamentos de profissionais especializados, de formação bastante generalista, com conhecimentos específicos desta modalidade. Conforme descrito no documento: *“Os desafios da transição energética para uma economia de baixo carbono englobam mudanças na estrutura econômica, social e política. No Brasil, o contexto dessa transição está se desenvolvendo com forte multidisciplinaridade, abrangendo ao mesmo tempo o crescimento das energias renováveis e a descentralização dos sistemas de geração, além das ferramentas disponibilizadas pela digitalização dos sistemas, impactando em aspectos regulatórios e na democratização de acesso à energia... Entre os conhecimentos que os profissionais deverão deter, estão: a estrutura geral de funcionamento do setor; conhecimento de mercado; arcabouço regulatório; ferramentas computacionais e de análise de dados; e conhecimento do sistema de energia. A inteligência artificial também terá um grande crescimento e participação no setor elétrico.”*¹

3.2 Cadeia de hidrogênio Verde

Para entender as necessidades de profissionais utilizamos o infográfico da EDP na Figura 2: Identificação da cadeia de hidrogênio verde – Fonte: EDP

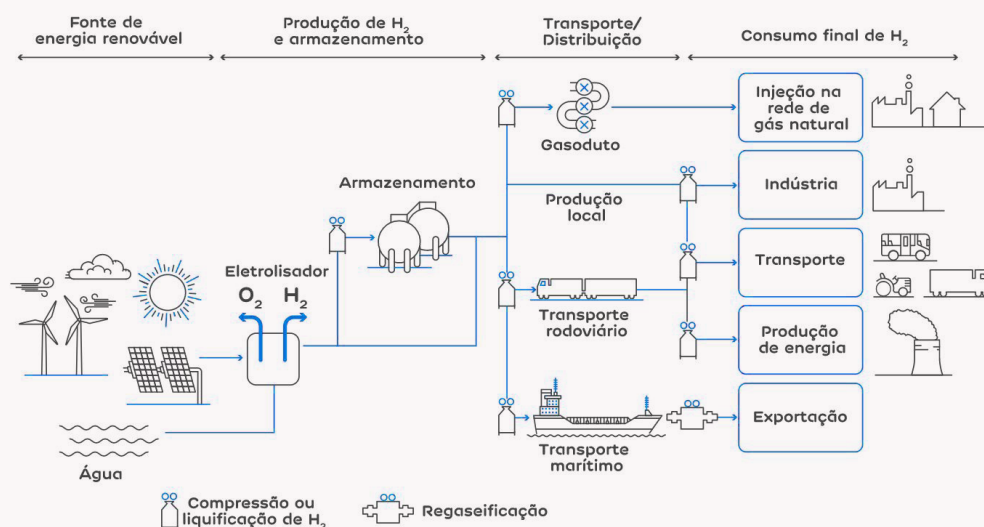


Figura 2: Identificação da cadeia de hidrogênio verde – Fonte: EDP

¹ Profissões do Futuro na Área de Energia e Implicações para a Formação Profissional - estudo feito pela GIZ para o MME em 2021.

Na Figura 2 verificamos que a cadeia pode ser basicamente dividida em quatro áreas:

Fonte de Energia Renovável

- As fontes de energia renovável associadas ao Hidrogênio Verde são: solar fotovoltaica, energia eólica, hídrica e biomassa. Os profissionais específicos destas áreas já possuem cursos e treinamentos específicos, no entanto o profissional da área de hidrogênio deve dominar o conhecimento sobre fontes de energia para produção, distribuição, armazenamento e transporte de hidrogênio, sendo capaz de identificar as emissões de CO₂ e de outros gases como o próprio H₂ associadas a cada etapa da cadeia.

Produção e Armazenamento de H2

- As técnicas de geração de hidrogênio são várias tais como a eletrólise, reforma e gaseificação de hidrocarbonetos, pirólise, frontólise, e outros processos bioquímicos associados a reforma e gaseificação. Os futuros profissionais do hidrogênio verde devem dominar as tecnologias e ter conhecimento de operação e manutenção dos equipamentos destas tecnologias.

Transporte e Distribuição

- A distribuição e transporte do hidrogênio seja por tanques pressurizados ou distribuído por gasodutos, para diversas aplicações domésticas ou relacionadas a exportação requer conhecimento em procedimentos de manuseio, segurança e operação. Inclui-se aqui os operadores de veículos e máquinas de pátio.

Consumo de H2

- O mercado de H₂ PtX subentende que o mercado adotará o hidrogênio como um energético básico para diferentes produtos e utilidades. As empresas envolvidas necessitarão dos especialistas em segurança e, dependendo de seus produtos, um especialista que acrescente ao seu currículo (mecânica, elétrica, química, mecatrônica) o conhecimento em hidrogênio.

3.3 Profissionais para a cadeia do hidrogênio

A transição para uma economia descarbonizada não implica em lançar o profissional da atualidade para o obsoleto. Estima-se que as mesmas capacitações sejam necessárias, porém com competências adicionais aos da economia atual.

Podemos identificar os futuros profissionais do mercado de hidrogênio como sendo os atuais, listados abaixo, na Tabela 1, porém com conhecimentos adicionais em H₂ específicos a cada atividade:

Nível	Formação	Atividade
Pós-graduação	Engenheiro, Economista, Mecatrônico, Químico, Ambiental.	Pesquisador em novas tecnologias (P&D) Projetista de unidades de produção Analista de mercado de energia e insumos
Bacharel	Engenheiro, Economista, Mecatrônico, Químico, Ambiental, Segurança, Direito.	Planejamento de energia e produção Planejamento de logística e distribuição Gestão de plantas industriais, logística, operação de produção Planejamento de segurança e normativas Comercializador de energia
Pós técnicos	Técnico de nível médio	Supervisão de energia e produção Supervisão de logística e distribuição Supervisão de gestão de plantas industriais, logística, operação de produção

Técnico	Técnico em mecânica, elétrica, química, ambiental, segurança. Informática, logística	Operação de produção Manutenção industrial Montador de máquinas e equipamentos Eletricista Mecânico
Especialista básico	Concluído o ensino fundamental	Motorista de caminhão Operador de máquina de pátio Assistente de produção

Tabela 1: Capacitações por nível de graduação

O estudo da demanda de competências para os profissionais com atuação na cadeia do hidrogênio elaborado pelo presente grupo é descrito a seguir.

3.4 Segurança em primeiro lugar

Geralmente, o aspecto da segurança é uma questão crucial para o uso do hidrogênio na indústria e em aplicações energéticas. Com base na colaboração internacional de Instituições Acadêmicas e Empresas, uma estrutura para uma proposta de “Currículo Internacional de Engenharia de Segurança de Hidrogênio” foi apresentada em 2006. Ele consiste em módulos, a) básicos, b) fundamentais e c) Práticos (aplicados), como a estrutura de requisitos de treinamento para proporcionar conscientização e desenvolvimento de habilidades para a economia emergente do hidrogênio (Dahoe und Molkov, 2006, p. 6), apresentando os seguintes tópicos:

Módulos básicos

- Termodinâmica;
- Cinética química;
- Dinâmica do fluido;
- Transferência de calor e massa;
- Mecânica sólida.

Módulos fundamentais

- Introdução ao hidrogênio como portador de energia;
- Fundamentos de segurança do hidrogênio;
- Liberação, mixagem e distribuição;
- Ignição de hidrogênio, Incêndios envolvendo o hidrogênio;
- Explosões de módulos, deflagrações e detonações.

Módulos práticos (aplicados)

- Efeitos de incêndio e explosão em pessoas, estruturas e meio ambiente;
- Prevenção e mitigação de acidentes;
- Engenharia de segurança computacional de hidrogênio;
- Avaliação de risco do módulo.

Sugere-se que o currículo de segurança seja um pré-requisito universal para uma indústria em funcionamento baseada na geração, transporte, armazenamento e aplicação de hidrogênio (verde). Os funcionários que trabalham direta ou indiretamente com hidrogênio devem realizar treinamentos nos módulos fundamentais. Já os módulos práticos (aplicados) fornecem aos graduados um conjunto de habilidades necessárias para solucionar problemas relacionados à segurança do hidrogênio. Estes cursos podem e devem ser destinados a engenheiros de segurança (posições ou funções similares), como treinamentos regulares de segurança e atualizações técnicas para a equipe.

Alternativamente, a aprendizagem ou critérios de desempenho podem ser derivados da educação profissional e/ou formação empresarial (Skiba, 2020). Os principais tópicos dos módulos apresentados por Dahoe e Molkov (ver acima) foram integrados à estrutura. Quando se trata de se preparar para o trabalho na indústria de hidrogênio, as seguintes habilidades e conhecimentos devem ser dominadas com segurança:

Quanto as Habilidades

- Aplicar as normas, diretrizes, códigos de prática e regulamentos relevantes do setor;
- Aplicar os requisitos de saúde de trabalho relevantes, incluindo a aplicação de controle de risco e métodos de trabalho seguros;
- Aplicar princípios e práticas de energia sustentável;
- Comunicar efetivamente com a(s) pessoa(s) relevante(s);
- Completar a documentação relevante do local de trabalho;
- Confirmar e seguir o cronograma de trabalho e as exigências do trabalho;
- Consultar pessoa(s) relevante(s) para coordenar o trabalho;
- Lidar com eventos/situações não planejados de acordo com os procedimentos do local de trabalho, de forma a minimizar os riscos para o pessoal e equipamentos;
- Seguir os procedimentos e instruções do local de trabalho relacionados com a atividade de gás hidrogênio;
- Manter a área de trabalho limpa;
- Obter os recursos e materiais relevantes para conduzir o trabalho;
- Executar verificações de qualidade;
- Trabalhar dentro dos prazos ou condições acordados.

Quanto ao Conhecimento

- Sistema Internacional (SI) de unidades e usos dentro da utilização de gás;
- Fontes de energia e transferência de calor;
- Leis combinadas de gás (Lei de Charles e Boyle);
- Inter-relação entre pressão, volume e temperatura;
- Reguladores de pressão de operação;
- Procedimentos/protocolos para lidar com eventos não planejados;
- Requisitos relevantes de licenciamento/regulamentação da indústria de hidrogênio;
- Processos relevantes de mitigação de riscos no setor, incluindo controle de riscos e métodos de trabalho seguros;
- Normas industriais, diretrizes, códigos de prática e regulamentos relevantes;
- Documentação relevante do local de trabalho;
- Políticas, procedimentos e instruções relevantes para o local de trabalho;

- Requisitos para entrar na área de trabalho;
- Autoridades estatutárias e órgãos reguladores que operam na indústria do hidrogênio;
- Princípios e práticas de energia sustentável (Skiba 2020, p. 47).

Um guia muito abrangente “Segurança de hidrogênio em garagens (oficinas)” é fornecido por *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)* 2021. Este Guia é focado em aplicações veiculares rodoviárias² e abrange conhecimentos físicos e químicos sobre hidrogênio (em comparação com combustíveis tradicionais como gás natural, diesel e gasolina), tanques de pressão e compressão de gás, sistemas de tubulação etc., sob a perspectiva da segurança. O guia não está estruturado em módulos de aprendizagem ou lições, mas permite a fácil integração do conteúdo em unidades didáticas ou autoaprendizagem. Esta regulamentação de segurança refere-se às normas alemãs, mas deve ser facilmente adaptada a outras regulamentações e exigências (inter)nacionais.

3.5 Uma visão de capacitação mundial

O uso do hidrogênio apresenta uma longa história industrial, como descrito anteriormente, a expansão em novos domínios de criação de valor e o uso de novos regimes de produção requerem esforços adicionais para criar uma “capacidade de absorção” básica (Cohen e Levinthal, 1990) em empresas e instituições existentes. Isto inclui uma “alfabetização sobre hidrogênio” que envolva o conhecimento básico e necessário sobre o tema, características físicas e químicas do hidrogênio e as necessidades para o manuseio do gás. Outros temas abrangem meios de segurança, testes de estanqueidade etc.

A nível internacional, são oferecidos cada vez mais cursos de treinamento básico no campo do hidrogênio. O conhecimento básico é necessário para trabalhar com segurança com hidrogênio e para integrar este conhecimento (e adquirir experiências práticas) em outras etapas representadas por módulos de treinamento adicionais e mais específicos. Os cursos de treinamento de conhecimentos básicos são oferecidos por Câmaras de Indústria e Comércio, Instituições Científicas, Empresas, Instituições de Ensino Técnico etc. E, como regra geral, têm a duração de um dia. Um exemplo da Suíça (*Auto Gewerbe Verband Schweiz*, 2022) para os funcionários que trabalham no setor de manutenção de automóveis é apresentado na Figura 2.

Objetivo	Adquirir conhecimento básico do hidrogênio como um versátil portador de energia, bem como entender processos de produção e vários exemplos de uso.
Requisitos	Se possível: Conhecimento básico “gases”
Conteúdo	I. Explique a dispersão do hidrogênio no ar II. Conheça as propriedades do hidrogênio III. Descreva o significado do gás ideal e do hidrogênio a gás real IV. Conhecendo a produção de hidrogênio V. Conheça as possibilidades de transporte VI. Por que propulsão de hidrogênio? Quais são suas características? VII. Avisos de perigo VIII. Distinguir categorias de tanques de pressão H2 para veículos terrestres (tipo 1 – 4 de acordo com ISO 15869:2009) IX. Outras possibilidades de armazenamento X. Aplicações em carros, ônibus, caminhões e máquinas de construção XI. Materiais XII. Infraestrutura XIII. Regulamentos
Duração	1 dia

Tabela 2: Objetivo, requisitos, conteúdo e duração de um curso típico “Hidrogênio do conhecimento básico”. O foco da aplicação (aqui: Automóvel) varia de setor para setor (fonte: *Auto Gewerbe Verband Schweiz* 2022, modificado).

É preciso levar em conta que o conteúdo apresentado em um programa de um dia se aplica para trabalhadores altamente qualificados e experientes, com conhecimentos práticos e teóricos em sua área (ex. setor automotivo). Portanto, o nível vocacional desses participantes é tecnicamente elevado e avançado. Quando se trata de participantes sem um nível de

² O guia não aborda células a combustível

conhecimento técnico tão robusto («iniciantes absolutos»), a duração do curso de «Conhecimentos básicos de hidrogênio» deverá ser mais longa. Isto é especialmente verdadeiro para práticas e treinamentos que requerem não apenas habilidades cognitivas, mas também habilidades e capacidades manuais.

Um elemento importante é que a maioria dos cursos, também e especialmente aqueles para “iniciantes absolutos”, não são restritos a teoria do hidrogênio, mas integram elementos práticos como, por exemplo, a transparência de uma chama de H₂, o gás ser inodoro, a eletrólise da água produzindo H₂ e O₂, o funcionamento de uma célula a combustível etc. Além disso, alguns treinamentos incluem esclarecimentos gerais, como “o hidrogênio só é explosivo quando misturado com oxigênio/ar”, “tanques de hidrogênio ou veículos de célula a combustível não são bombas de hidrogênio potenciais (termonucleares)” e outros (Wurster und Schmidtchen, 2011). Também estão incluídas informações práticas, como o fato de que a uma pressão de 700 bar, 5 kg de hidrogênio (equivalente a 500 km autonomia de um carro normal) podem ser armazenados em um tanque de 125 litros (dimensões muito diferentes em comparação com a gasolina ou o diesel). Assim, como para qualquer outro treinamento, é importante que haja alguns dispositivos e aparelhos para as práticas, tais como sensores de gás para testes de estanqueidade, um pequeno eletrolisador funcional, um verdadeiro tanque de hidrogênio etc. Somente um equipamento técnico adequado garantirá uma transferência de conhecimento e desenvolvimento de habilidades bem-sucedidas, com um manuseio seguro e eficiente do gás e das tecnologias relacionadas.

Nível inicial	Tipo de treinamento	Conteúdo típico
Nenhum conhecimento teórico ou básico em tecnologia e trabalho; não específico para gás e H ₂	“Iniciantes absolutos” (por exemplo, alunos, estudantes de graduação)	Caracterização química e física do H ₂ , seu comportamento e experimentos práticos relacionados.
Formação e experiência em profissão técnica; não específico para H ₂	Elementos específicos de H ₂ para serem integrados no treinamento ocupacional	Todo o conteúdo do treinamento de “iniciantes absolutos” mais a extensão de habilidades e conhecimentos específicos para se preparar para o primeiro contato do mundo real com o H ₂ em ambientes tradicionais como automobilístico.
Nível comprovado (certificado) de habilidades técnicas, conhecimentos e experiência, específicos do setor	Treinamento de transição (melhoria de competências “up-skilling”)	Comparável aos elementos a serem integrados ao treinamento ocupacional, mas mais condensados e mais detalhados devido à rica experiência profissional e know-how.

Tabela 3: Três tipos diferentes de “treinamento básico” representando diferentes níveis de pré-requisitos. O conhecimento anterior que pode ser tomado para definir o nível inicial integra capacidades teóricas e práticas também define a duração de cada curso e o escopo do conteúdo. É mais do que provável que um curso de 25 horas em treinamento de transição para trabalhadores experientes (certificados) resultará em pelo menos 40 horas cobrindo elementos específicos de H₂ a serem integrados ao treinamento ocupacional (ver capítulo 5.3).

Conforme observado na Tabela 3, os cursos básicos não são homogêneos em duração ou conteúdo e são complementados por cursos específicos do setor para profissionais que precisam de “treinamento de transição” para hidrogênio (por exemplo: de gás natural para hidrogênio). Estes cursos são específicos por setor e perfil, requerem conhecimentos prévios experientes e comprovados (muitas vezes certificados). Uma análise de cursos exemplares de diferentes países resulta em um escopo consistente em relação ao seu conteúdo e duração. A duração média é de 20 a 30 horas dependendo das exigências locais e da profundidade de cada módulo; alguns cursos integram explicitamente lições em células a combustível ou outras aplicações básicas específicas.

Um exemplo do Reino Unido para “treinamento de transição” na indústria do gás é dado na Tabela 4. O foco do setor é mais concentrado e as exigências de participação são mais altas do que para um curso “Conhecimentos Básicos de Hidrogênio” (*Basic Knowledge Hydrogen*).

Competências do núcleo de hidrogênio	Horas mínimas de aprendizado orientado
Segurança, legislação e normas	1,0
Produtos e características da combustão de hidrogênio	3,0
Ventilação para aparelhos de queima de gás hidrogênio	1,0
Instalação de tubulações e acessórios	1,0

Competências do núcleo de hidrogênio	Horas mínimas de aprendizado orientado
Teste de aperto e purga	3,0
Instalação de medições	1,0
Situações inseguras, avisos de emergência e etiquetas de aviso	1,0
Verificação e ajuste da pressão do queimador do aparelho a hidrogênio e taxas de gás	2,0
Funcionamento e verificação dos dispositivos e controles de segurança de gás e dos aparelhos a hidrogênio	2,0
Instalação, inspeção e teste de chaminés e condensados	2,0
Restabelecer o fornecimento de gás existente e reascender aparelhos	2,0
Comissão de aparelhos	1,0
Entrega e engajamento do cliente	1,0
Serviço e manutenção	1,0
Ações emergenciais de gás e procedimentos	1,0
Lidando com fugas de gás relatadas	2,0
Total:	25 horas

Tabela 4: Conteúdo de um curso de treinamento de transição de três dias sobre hidrogênio na indústria de gás. A participação requer conhecimento profissional certificado e se dirige aos engenheiros existentes. As horas Orientadas por tutores são complementadas por mais horas de autoaprendizado do próprio participante (fonte: Energy and Utility Skills Group 2021).

Como o treinamento de transição resulta em um certificado profissional para os participantes, “espera-se que ele seja orientado por um tutor e presencialmente em um centro de treinamento”. Como ainda não existem redes de hidrogênio instaladas, não é possível obter experiência prática fora do local. Um centro de treinamento deve fornecer acesso a uma fonte hidrogênio gasoso juntamente com aparelhos e equipamentos adequados, para permitir que os alunos compreendam e demonstrem conhecimento e compreensão sobre uma gama de aparelhos que encontrarão durante um ensaio de hidrogênio” (Energy and Utility Skills Group 2021, p. 2). Como as Universidades e os Centros de IDT apresentam larga experiência com tecnologias de hidrogênio, esses locais poderiam ser uma opção para serem Centros de Treinamento e Aperfeiçoamento profissional para atividades não acadêmicas. (Bovenschulte, 2021). No Brasil, por exemplo, os centros do SENAI poderiam atender a essa abordagem de “uso duplo” - dupla formação.

4. CAPACITAÇÕES EM H2 PT X EM OUTROS PAÍSES.

4.1 Análise de dados científicos

Para o estudo apresentado, uma análise de agrupamento de dados bibliográficos foi executada usando o SCOPUS®-database³, a fim de identificar questões que são relevantes na pesquisa e investigação científica. Duas abordagens de pesquisa foram definidas:

- A: Análise de todas as entradas do SCOPUS® aplicando as cadeias de busca ("hydrogen" OR "electrolyzer" OR "fuel cell" AND ("skills" OR "workforce" OR "skillset"). A análise resultou em 358 artigos contendo pelo menos uma das combinações possíveis.
- B: Análise de todas as entradas do SCOPUS® aplicando as cadeias de busca "fuel cell" AND ("skills" OR "workforce" OR "skillset"). A análise resultou em 104 artigos contendo pelo menos uma das combinações possíveis.

A análise semântica dos resumos dos artigos para a primeira abordagem de busca (A) resulta em 4 aglomerados distintos (Figura 3) que descrevem diferentes áreas para o desenvolvimento de habilidades e mão-de-obra relacionadas ao hidrogênio, eletrolisadores e células a combustível.

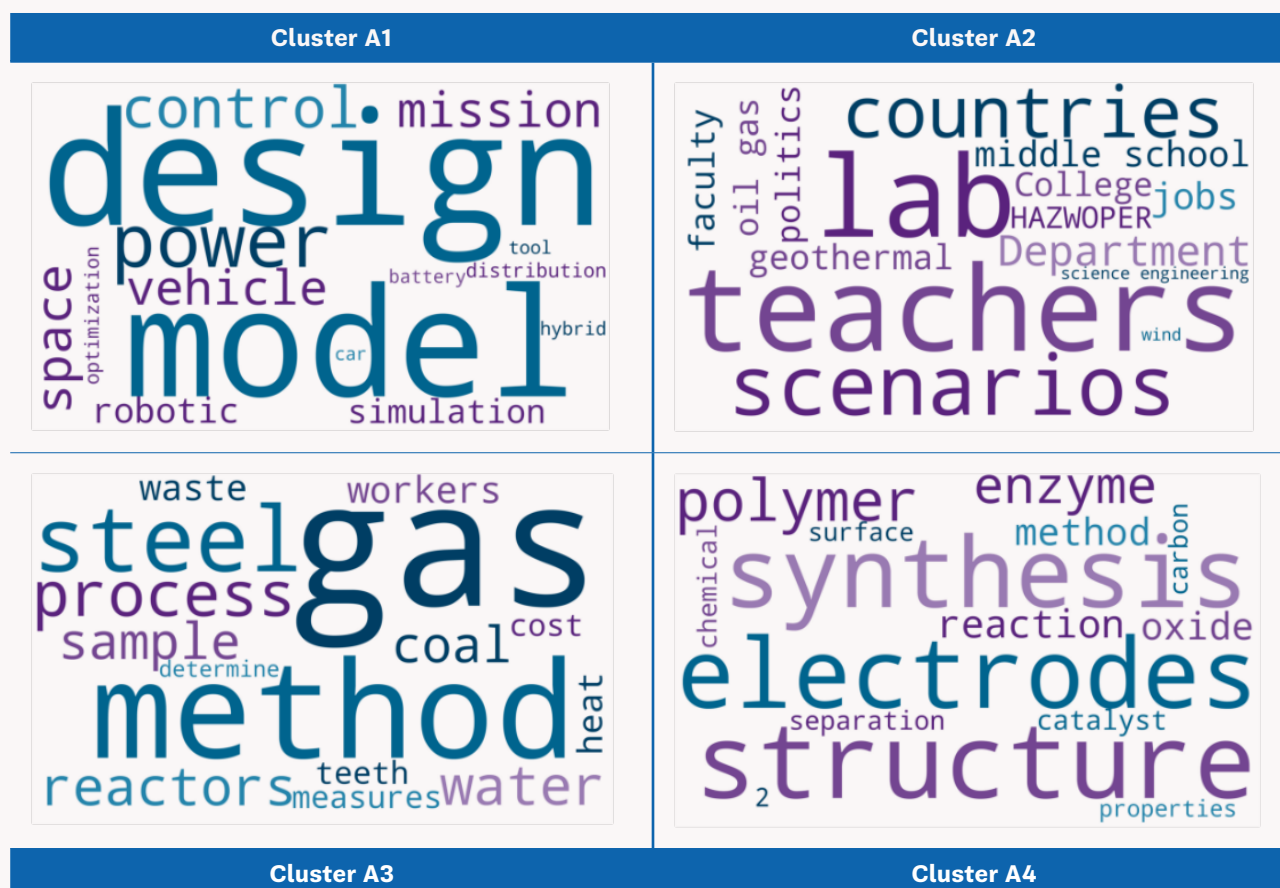


Figura 3: A análise de cluster aplicada às cadeias de busca ("hydrogen" OR "electrolyzer" OR "fuel cell") AND ("skills" OR "workforce" OR "skillset") produz 4 agrupamentos.

Os grupos identificados representam as seguintes questões:

³ Scopus® é uma das bases de dados de literatura mais completas do mundo e contém informações sobre mais de 75 milhões de artigos de quase 25.000 títulos, incluindo 23.500 periódicos revisados por pares. Além disso, mais de 9 milhões de artigos de conferências e cerca de 200.000 livros podem ser encontrados. As entradas cobrem os campos das ciências naturais, tecnologia, medicina, ciências sociais e artes e humanidades - veja também <https://www.scopus.com/home.uri>.

- O Cluster **A1** representa o projeto, modelagem e controle (potência) de sistemas relacionados ao hidrogênio (com um forte foco em veículos devido à integração da cadeia de busca “célula a combustível” - veja também o cluster **B1** em Figura 4).
- O Cluster **A2** se concentra na educação básica para hidrogênio (incluindo aspectos de segurança representados pela palavra *HAZPOWER* = *Hazardous Waste Operations und Emergency*) e sua implementação institucional. O “petróleo” e o “gás” podem estar relacionados às habilidades de transição em direção ao hidrogênio e *power-to-x*.
- O Cluster **A3** coloca um foco na indústria siderúrgica e uso relacionado de H2, mesmo que o termo “redução direta” não esteja presente.
- O Cluster **A4** abrange a geração de hidrogênio (verde). Os termos biológicos estão correlacionados com a produção/conversão de hidrogênio a partir da biomassa.

A análise de agrupamento mais focada (B) usando apenas as cadeias de busca “fuel cell” AND (“skills” OR “workforce” OR “skillset”) produz 5 agrupamentos (Figura 4).

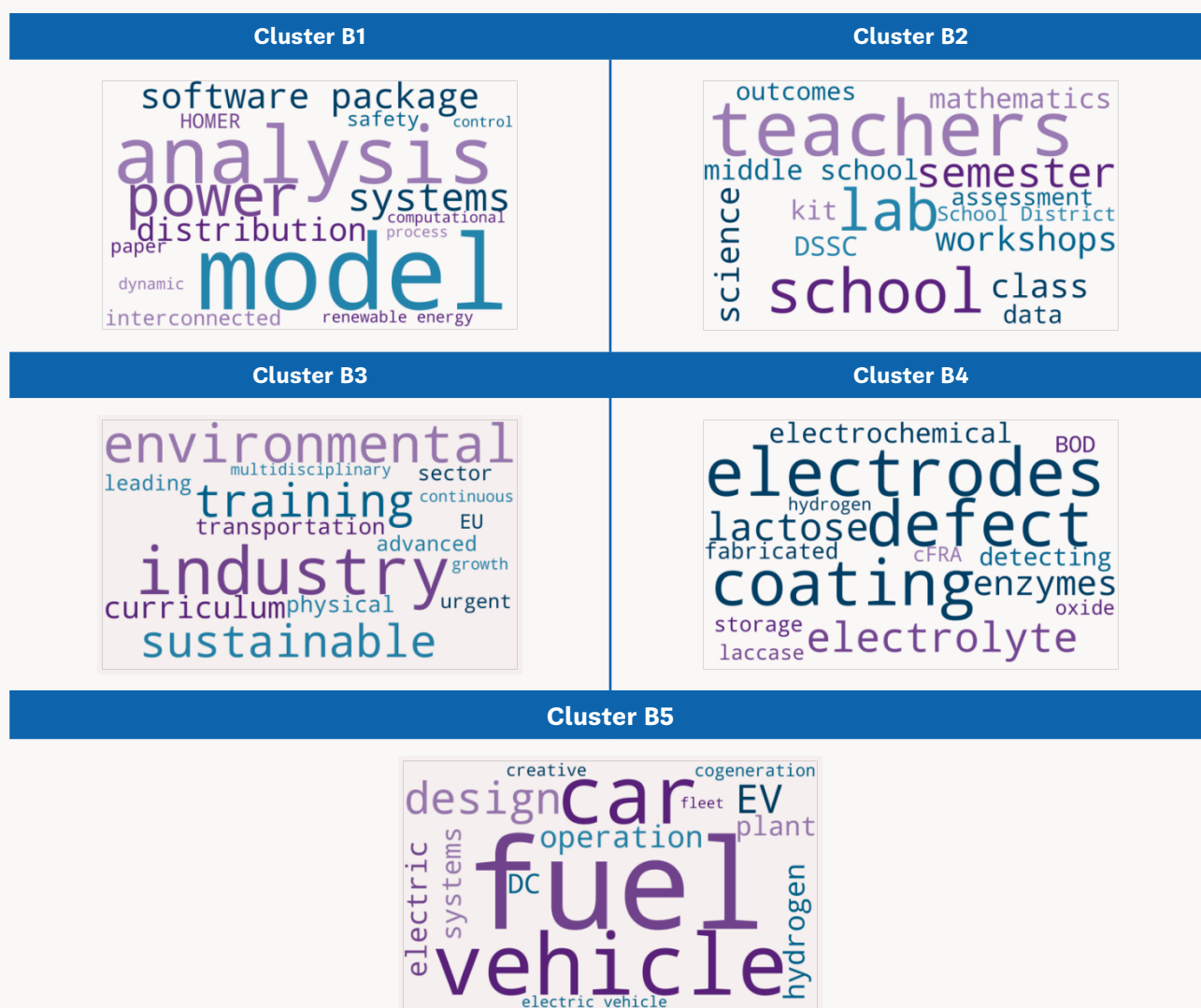


Figura 4: A análise de cluster aplicando as cadeias de busca “fuel cell” AND (“skills” OR “workforce” OR “skillset”) resulta em 5 agrupamentos.

Os grupos cobrem as seguintes áreas relevantes para o desenvolvimento de habilidades e mão-de-obra:

- O Cluster **B1** trata da modelagem e análise de sistemas de energia (distribuídos) por ferramentas digitais; o foco é relevante para células a combustível estacionárias e sua integração em usinas de energia virtuais.
- O Cluster **B2** trata de questões (básicas) de treinamento, incluindo escolas/colégios e a estrutura institucional (equivalente ao cluster **A2** em Figura 3).

- O Cluster **B3** representa treinamentos ambientais relacionados a sistemas de hidrogênio/células a combustível.
- O cluster **B4** representa P&D (por exemplo, a abreviação “cFRA” = concentração alternada *Frequency Response Analysis*, um método de estudo da dinâmica das células a combustível) e a produção de sistemas de células a combustível (equivalente ao cluster A4 em Figura 3).
- O Cluster **B5** coloca o foco em aplicações móveis de células a combustível (veículos) e é complementar ao cluster **B1** (células a combustível estacionárias).

Os resultados obtidos mostram que, mesmo em estudos científicos, as questões de educação e formação da economia do hidrogênio (verde) não estão bem estabelecidas até agora. No entanto, os clusters identificados utilizando dados bibliométricos se encaixam muito bem com os resultados descritos nos capítulos seguintes deste estudo.

4.2 Visão geral sobre resultados de diferentes países

A Direção Regional da Baixa Saxônia-Bremen da Agência Federal de Emprego da Alemanha aborda um conjunto de tópicos em sua diretriz para o planejamento de objetivos educacionais sobre o tema do hidrogênio (verde) (BA *Regionaldirektion Niedersachsen*-Bremen 2021, p. 2-3) que pode ser visto como um estoque universal de conhecimento sobre habilidades e capacidades para uma economia de hidrogênio. Em linha com os exemplos dados em Tabela 1 e Tabela 2 os conhecimentos básicos devem ser cobertos por uma qualificação suplementar (módulos de 20 a 30 horas de aprendizagem orientada, incluindo sessões práticas) nos currículos de treinamento profissional existente - por exemplo, eletricista, mecânico, engenheiro de equipamentos industriais, montador de tubulações, mecânico de veículos etc.:

- Conhecimento básico do material “hidrogênio” com possíveis áreas de aplicação
 - Funcionamento de células a combustível, eletrólise, sistemas de armazenamento e condução;
 - Caracterização de hidrogênio;
 - Produção de hidrogênio;
 - Aceitação da tecnologia;
 - Possíveis aplicações;
 - Pré-requisitos.
- Tecnologia de instalações e sistemas de hidrogênio
 - Configuração de plantas de hidrogênio;
 - Operando plantas de hidrogênio de forma ecológica e econômica;
- Produção e manutenção de células a combustível, eletrólise, tubulações e sistemas de armazenamento, por exemplo, construção/manutenção de estações de reabastecimento à base de hidrogênio ou altos-fornos
 - Conversão de gasodutos ou redes de gás natural;
 - Reparo de veículos em oficinas;
 - Tipos e formas de armazenamento;
 - Estática de tubos, dinâmica de tubos e formas de transporte ou dutos.
- Química de bateria e tecnologia de alta tensão elétrica.
- Procedimentos de licenciamento, conceitos de segurança e manuseio seguro do hidrogênio
 - por exemplo, para forças de resgate em caso de acidentes ou incidentes;
 - Questões legais.

Este escopo de objetivos educacionais relevantes para o hidrogênio (verde) foi derivado da análise de estudos e entrevistas adicionais com especialistas, a fim de aumentar a conscientização dos fornecedores de educação e treinamento e dar orientações sobre padrões de qualificação apropriados, os primeiros perfis de trabalhadores qualificados para atividades definidas são esperados para 2023 (*Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie* (NOW GmbH) 2021, p. 59). Os cursos Educação e Treinamento Vocacional correspondentes - por exemplo, para caminhões movidos a célula a combustível e outros veículos terrestres - são geralmente elaborados em um processo colaborativo de cocriação, incluindo parceiros industriais locais/regionais, a fim de atender às demandas no local.

Uma visão mais detalhada dos perfis profissionais é dada por um estudo francês. Semelhante à abordagem executada neste documento para reunir as atuais e futuras demandas de qualificação e competências das indústrias através de uma pesquisa e entrevistas em profundidade, a agência “*France Hydrogène*” publicou um “*White Paper*” em 2021 sobre as (próximas)

habilidades e profissões da indústria do hidrogênio. Com base na análise bibliográfica e no feedback da indústria, foram identificadas 84 profissões relevantes para a indústria do hidrogênio (*France Hydrogène* 2021). As informações detalhadas são elaboradas no “*White Paper*”, conforme listado nas referências no final deste relatório. O setor de hidrogênio recorre às profissões existentes com maior ou menor especialização em hidrogênio: da referência de 84 profissões, 27 requerem especialização em hidrogênio e 41 requerem conhecimentos básicos, enquanto 16 profissões não requerem conhecimentos particulares de hidrogênio, por exemplo:

- **Especialista (Expert) em hidrogênio:** Um engenheiro de design de células a combustível deve ser competente na área de química, eletricidade, eletroquímica, mecânica de fluidos etc. Seu trabalho requer um conhecimento comprovado de hidrogênio e suas especificidades;
- **Conhecimento básico:** Um montador de tubos precisará dominar certos procedimentos de segurança ao trabalhar em um local em operação;
- **Sem conhecimento de hidrogênio:** Um caldeireiro não precisará de conhecimento específico sobre hidrogênio, pois não interagirá com equipamentos de hidrogênio (*France Hydrogène* 2021, p. 34).

Mesmo que - como no caso do caldeireiro, por exemplo - diferentes fornecedores de equipamentos e de sistemas não entrem em contato direto com o hidrogênio, é necessário um sistema de qualidade padronizado para garantir que todas as peças e componentes do sistema atendam aos requisitos básicos de qualidade com base nas propriedades químicas e físicas do hidrogênio. Isto inclui o uso de material adequado (certificado), produtos, pré-produtos e semiacabados, treinamento de qualidade especial, testes para soldagem e fabricação de sistemas de alta pressão (tubos e sistemas de armazenamento) etc. Como a economia do hidrogênio está atualmente enfrentando uma fase muito dinâmica, novos conhecimentos resultantes do progresso técnico devem ser constantemente integrados em processos de aprendizagem contínua e implica em uma atualização frequente de habilidades e competências.

Devido à dinâmica mencionada, aplicações complexas, tais como a conversão de fábricas para um fornecimento de energia neutro para o clima com base no hidrogênio verde, estão em grande parte abrindo novos caminhos. Particularmente nas áreas de produção, instalação, aceitação e manutenção, o conhecimento que muitas vezes está espalhado por diferentes instituições e locais deve ser reunido. Por exemplo, os equipamentos e as instalações para armazenamento de hidrogênio devem ser equipados e testados de acordo com a “prontidão de hidrogênio”, conexões de tubulações soldadas e sem parafusos devem ser usadas onde possível, o comportamento com possíveis outros gases devem ser determinados, os sistemas devem ser equipados com sensores de gás etc. e sistemas elétricos sem faíscas devem ser instalados (Fraunhofer IST 2022).

O exemplo de fábrica mostra que os sistemas de hidrogênio (exemplo diferente para o setor elétrico, que exige principalmente habilidades relacionadas à engenharia elétrica) são multidisciplinares. Consequentemente, o “*White Paper*” da “*France Hydrogène*” descreve 14 grandes áreas de habilidade técnica que foram utilizadas para qualificar os perfis das 84 profissões identificadas; as áreas de habilidade em negrito são essenciais para quase todas as profissões relacionadas ao hidrogênio (verde):

- Energia / Energia renovável;
- Engenharia civil / Construção e estruturação;
- Engenharia ambiental (climática);
- **Engenharia elétrica e computação industrial;**
- Engenharia de software;
- Engenharia de materiais;
- **Engenharia mecânica;**
- **Engenharia industrial / Engenharia de produção;**
- Manuseio de metal;
- **Mecânica de fluidos;**
- **Metrologia;**
- Montagem;
- Ferramentas de design;
- **Qualidade, segurança, ambiente.**

A escassez de mão-de-obra existente (na França), são apresentados no “*White Paper*” (ver a referência correspondente). Uma abordagem semelhante à do “*White Paper*” francês é realizada atualmente para a Austrália, visando identificar e planejar as futuras habilidades e necessidades de treinamento dos australianos que trabalham com hidrogênio (PwC 2022). O escopo do trabalho é entender quais funções serão necessárias em toda a cadeia de fornecimento de hidrogênio na Aus-

trália, e determinar se novos caminhos de educação e treinamento (diplomas universitários, qualificações VET etc.) são necessários. Isto, inclui recomendações sobre como estabelecer uma oferta de trabalhadores qualificados para o futuro. O objetivo é construir um entendimento das funções do trabalho e das capacidades básicas necessárias para empreender atividades específicas relevantes de hidrogênio de forma segura e eficaz, ao mesmo tempo em que apoia uma cadeia de fornecimento de hidrogênio e economia em larga escala na Austrália (até 2030 e além). Foram identificadas seis áreas da cadeia de suprimento que requerem desenvolvimento de habilidades e treinamento para apoiar a economia do hidrogênio:

- 3) Produção de Hidrogênio:** Esta área diz respeito à produção de hidrogênio por diversas rotas (por exemplo, com tecnologias renováveis ou combustíveis fósseis com soluções de captura de carbono).
- 4) Distribuição de Hidrogênio:** Esta área diz respeito a todas as atividades de mão-de-obra necessárias para a compressão física, transporte e distribuição de hidrogênio ou seus derivados entre os locais. Isto inclui através de tubulações em forma gasosa, bem como através de atividades logísticas, incluindo transporte rodoviário e marítimo.
- 5) Armazenamento de hidrogênio:** Esta área diz respeito às atividades necessárias para manter o hidrogênio ou quaisquer derivados em um único local por qualquer período de tempo, como conversão em um composto (por exemplo, amônia), e a infraestrutura física necessária, como navios-tanque e postos de reabastecimento.
- 6) Mistura de hidrogênio com gás:** Esta área trata das atividades necessárias para misturar hidrogênio na rede de gás natural existente ou nova na Austrália, incluindo os impactos aos aparelhos de consumo, turbinas a gás e manutenção decorrentes da substituição do gás natural por hidrogênio.
- 7) O hidrogênio como combustível para transportes:** Esta área trata das atividades de apoio à introdução do hidrogênio como combustível em aplicações de mobilidade, incluindo tanto veículos comerciais de passageiros quanto equipamentos de plantas móveis utilizados em ambientes industriais/comerciais.
- 8) Hidrogênio como combustível para exportação:** Esta área trata de todas as atividades de apoio à exportação de hidrogênio em escala a partir dos portos da Austrália, seja na forma gasosa/líquida ou convertida em um transportador de hidrogênio (por exemplo, amoníaco).

Por meio de pesquisas, análise de dados e consultas, os seguintes *insights* foram identificados até agora:

- O número de funções necessárias para apoiar as seis áreas da cadeia de fornecimento de hidrogênio.
- As capacidades de hidrogênio (habilidades e conhecimento) exigidas pelas funções de trabalho relevantes.
- Os caminhos atuais de educação e treinamento disponíveis, e lacunas de treinamento relevantes que precisarão ser abordadas.

As partes interessadas foram envolvidas através de consultas individuais, e grupos de discussão de especialistas. Todas as partes interessadas tinham conhecimentos especializados em hidrogênio e trabalhavam para várias organizações, tais como órgãos de ponta, associações industriais, empregadores, departamentos governamentais e instituições de educação e treinamento. O relatório final será apresentado ao Departamento de Educação, Habilidades e Emprego da Austrália no final de maio de 2022 (comunicação pessoal).

4.3 Formação profissional

Uma abordagem abrangente para a formação profissional foi escolhida pela Escola Profissional Estadual em Sonneberg, Turingia (Alemanha)⁴. Aqui, os primeiros passos para uma expansão específica H2 dos cursos de treinamento existentes estão sendo dados no contexto do projeto “H2-Well”⁵ financiado pelo BMBF (Landratsamt Sonneberg und Staatliche Berufsbildende Schule Sonneberg 2019, p. 4). Os currículos existentes de formação dual STEM⁶ como técnico em mecatrônica, técnico em mecatrônica de veículos motorizados e técnico em eletrônica para energia e tecnologia de construção ainda não incluíram nenhum treinamento básico em tecnologias de hidrogênio. Por esta razão, a Escola Profissional Estadual de Sonneberg desenvolveu módulos adicionais a serem integrados nos currículos existentes. As 40 unidades didáticas, 45 minutos (TU) de aprendizagem orientada cada uma, fazem parte da área eletiva obrigatória nas ocupações dos treinamentos acima mencionados durante 2 ou 3 anos. Elas combinam conhecimentos teóricos com elementos práticos, utilizando kits

⁴ Veja o site <https://sbbs-son.de/>

⁵ Veja o site <https://www.h2well.de>

⁶ STEM = Ciência, Tecnologia, Engenharia, Matemática

demonstradores de alta qualidade⁷. As excursões complementares (visitas a empresas) oferecem aprendizagem adicional em ambientes “do mundo real”⁸ e não estão incluídas nas 40 unidades didáticas. Os módulos e unidades de didáticas são:

4.3.1 Energia e proteção climática - Alternativas para o Futuro; total de 6 Unidades didáticas (TU)

- 1)** Energia e formas de energia e sua conversão mútua (2TU)
 - Tipos de energia química/física;
 - 1ª e 2ª lei da termodinâmica;
 - Eficiência na determinação experimental.
- 2)** Energia primária e secundária (2TU)
 - Fornecimento de energia na Europa e Alemanha agora e no futuro;
 - Plano e Realidade do Uso de Energia - Cenários problemáticos;
 - Energia alternativa e sustentabilidade.
- 3)** Abordagem para resolver o problema de energia usando hidrogênio como combustível universal. Fonte de energia (2TU)
 - Problemas com o “excesso” energia verde;
 - Problema das fontes de energia primárias anteriores;
 - Compatibilidade ambiental e climática através do uso de hidrogênio;
 - Aspectos da eficiência econômica.

4.3.2 Produção de hidrogênio; total de 16 Unidades didáticas (TU)

- 1)** Noções básicas químicas e físicas do hidrogênio (6 TU)
 - a)** Ocorrência, propriedades, reatividade;
 - b)** Hidrogênio como substância perigosa inclusive regulamentos de segurança;
 - c)** Avaliação do risco;
 - Integração do TRBS 1111 (Perigo), TRBS 1112 (Ex-proteção)⁹
 - Integração do TRGS 751 (prevenção de riscos de incêndio e explosão com TRBS 3151);
 - Integração do TRBS 1123 (sistemas sujeitos à inspeção).
- 2)** Métodos de produção de hidrogênio (cores de hidrogênio) (10 TU)
 - a)** Importantes processos industriais para a produção de hidrogênio:
 - Reforma a vapor;
 - Gaseificação de carvão;
 - Oxidações parciais de produtos petrolíferos.
 - b)** Produção de hidrogênio por eletrólise
 - Processos gerais de eletrólise, tais como a eletrólise alcalina e eletrolise;
 - Eletrólise de alta temperatura e excursão técnica para KYOCERA AVX / KUMATEC Hydrogen GmbH;
 - Eletrólise por meio de PEM incluindo configurações de teste para eficiência e características de tensão e de corrente;

⁷ Os kits demonstradores são fornecidos pela leXsolar, um fabricante baseado em Dresden para equipamentos de sala de aula relacionados a energias renováveis e integração de sistemas (<https://lexsolar.com/products.html>).

⁸ A prefeitura de Sonneberg usa um sistema baseado em células de combustível para geração de calor e eletricidade que serve como uma aplicação prática para a formação profissional.

⁹ TRBS = Regulamento alemão “Regras técnicas para segurança operacional” – “Regras técnicas para segurança operacional”, fornecido pelo Instituto Federal para Segurança no Trabalho e Health (BauA).

- Experimentos com e sem pressão incluindo medidas de segurança ocupacional e avaliação de risco;
- Influência da respectiva fonte primária de energia da energia elétrica utilizada.

4.3.3 Armazenamento e transporte de hidrogênio; total de 8 Unidades didáticas (TU)

- 1) Armazenamento como gás - estágios de pressão (4 TU)
 - Inclusão de diretrizes de segurança como TRBS 1122 e 1201 Partes 1 a 3 (inspeção e reparo de sistemas de pressão;
 - Inclusão dos TRBS 3145 e 3146 (Enchimento, retenção, esvaziamento de recipientes de gás pressurizado);
 - Experimentos com conversor de pressão de 30 bar como acumulador em comparação com os acumuladores Li e Pb.
- 2) Outras possibilidades de armazenamento como líquido e com materiais portadores (1 TU)
 - Inclusive medidas de segurança TRBS 2141.
- 3) Formas de transporte como gasodutos, reboque para usuário final (1 TU)
- 4) Infraestrutura futura de gás com uso de redes e postos de abastecimento existentes como desafio social (2 TU)
 - Inclusão do TRGS 751 e TRBS 3151 (prevenção de riscos de incêndio e explosão).

4.3.4 Aplicações para o uso de hidrogênio; total de 10 Unidades didáticas (TU)

- 1) Melhoria da mobilidade em automóveis, ônibus, caminhões e outros veículos comerciais (6 TU)
 - a) Combustão de hidrogênio via motor de ciclo como uso alternativo de tecnologias convencionais de propulsão;
 - Avaliação experimental com motores menores até 30 bar;
 - Determinação da eficiência em comparação com metanol e etanol.
 - b) Células a combustível e seu uso para variantes de acionamento elétrico de veículos;
 - Uso experimental de células a combustível PEM para conversão à energia elétrica;
 - Energia e tipos de acionamento.
- 2) Aplicações para uso local para aquecimento em sistemas de aquecimento e fornecimento de energia elétrica através de sistemas de acoplamento (3 TU)
 - Recuperação experimental de calor de pequenos sistemas de aquecimento para produção de água quente;
 - Célula a combustível para fornecer energia elétrica a pequenas redes (lâmpadas fotográficas ou desenvolvedores etc.);
 - Excursão Prefeitura Sonneberg / HySON-Labs etc.
- 3) Utilização do oxigênio subproduto, incluindo os benefícios associados; e potenciais de perigo (1 TU)
 - Excursão para Estação de tratamento de água de Sonneberg.

Além disso, e seguindo o exemplo dado de Sonneberg (não realizado ali), outros perfis profissionais são estabelecidos, tais como instalador de gás e água, mecânico de plantas, instalador de tubulações, construtor de redes de tubulações ou instalador de redes de gás e calor devem ser complementados com qualificações distintas de H2 dentro da estrutura dos regulamentos de treinamento existentes, a fim de contar com mão-de-obra qualificada para a implantação futura de aplicações de hidrogênio. Um modelo para perfis profissionais distintos pode ser derivado das energias renováveis, onde cursos de treinamento inicial e adicional na Alemanha levaram a perfis como assistente técnico de tecnologia de energia renovável/gerenciamento de energia, técnico de serviço de tecnologia de turbinas eólicas, gerente de energia solar ou técnico de tecnologia de energia eólica.

4.4 Conhecimento de orientação para empresas

É importante que, paralelamente aos ambientes de inovação regional e de criação de valor H2, sejam criados ambientes de educação para a criação de redes de diferentes atores em contextos educativos locais (por exemplo, entre escolas técnicas, empresas e fornecedores de educação não formal) e uma orientação correspondente do local de aprendizagem e cooperação entre escolas técnicas e empresas (*Singer-Brodowski und Grapentin-Rimek* 2018, p. 5). As câmaras locais/

regionais de indústria e comércio e as câmaras de profissionais (conselhos) também desempenharão um papel importante nesta questão (certificação), como mostra o exemplo de Sonneberg (ver capítulo 5.3).

A fim de fornecer uma visão geral qualificada sobre desenvolvimentos recentes e futuros no H2, é necessário estabelecer uma gama suficientemente ampla e flexível de medidas para identificar futuras oportunidades de negócios, pré-requisitos técnicos e aptidões e competências derivadas, como está sendo realizado, por exemplo, no Campus de Hidrogênio de Salzgitter (Alemanha). Juntamente com a Academia Fraunhofer, está sendo criada uma oferta educacional em rede para a região. Os módulos utilizam uma plataforma digital de aprendizagem e a combinam com elementos orientados e práticos, a fim de desenvolver as habilidades e habilidades manuais correspondentes. O objetivo de aprendizagem do módulo “Conhecimento básico” é resumido como segue: “Ao final do treinamento você será capaz de compreender e analisar as interações sistêmicas na economia do hidrogênio e avaliar aplicações potenciais para seu negócio”. (Academia Fraunhofer 2022a). Outros módulos tratam de tecnologias ao longo da cadeia de valor, questões sociais, a estrutura legal, procedimentos de licenciamento e requisitos de segurança. (Academia Fraunhofer 2022b). Assim, esses cursos de aperfeiçoamento são principalmente para empresas que potencialmente aplicam tecnologias relacionadas ao H2 e também para administrações públicas, mas não para fornecedores de soluções de H2.

Como descrito no capítulo 4.5 os cursos de treinamento mais abrangentes são oferecidos como Estudos de Mestrado (18 a 24 meses extra ocupacionais) ou Certificados de Estudos Avançados (6 meses extra ocupacionais), com foco em empresas que estão planejando ou dando seus primeiros passos conceituais em direção ao hidrogênio verde. Isto inclui a identificação de oportunidades de mercado, uma visão geral sobre condições e regulamentação, pré-requisitos técnicos, a viabilidade dos projetos, a aquisição de fundos públicos e apoio etc. Além das empresas, empresas de consultoria e administrações públicas também fazem parte do grupo alvo destas ofertas.

Um forte foco em aspectos distintos do hidrogênio verde também é coberto por provedores de treinamento especializados. Com duração de 8 a 15 Unidades Didáticas (equivalente a 45 minutos cada), os cursos abordam questões como acoplamento setorial ou regulamentação e aprovação. O conhecimento transmitido permite que os participantes se orientem de forma independente em relação às regulamentações relevantes e fornece conhecimento detalhado das regulamentações específicas para o planejamento, construção e operação de plantas e sistemas de H2. O processo de aplicação e aprovação para uma estação de produção e envasamento de hidrogênio é apresentado como exemplo e os participantes são assim ensinados quais instrumentos legais podem ser usados para planejar, solicitar, aprovar, construir e operar plantas de H2. (*Efficientics* – consultoria de segurança de hidrogênio 2022).

4.5 Educação acadêmica

O hidrogênio tem uma longa tradição em P&D acadêmico, ensino e aplicação prática, e várias faculdades como as de máquinas/mecatrônica ou química colocam um foco especial neste gás. As áreas típicas de pesquisa são sistemas de células a combustível, catálise ou ciências dos materiais e resultam em especialistas altamente qualificados capazes de desenvolver as tecnologias necessárias para tornar realidade uma economia verde de hidrogênio. Devido ao forte impulso gerado especialmente nos últimos 5 a 10 anos, uma quantidade considerável de centros e institutos de pesquisa de hidrogênio foram fundados ou melhorados globalmente. Neste contexto, novos estudos (bacharéis e mestres) foram concebidos em complemento às carreiras científicas (técnicas e de engenharia) “hard core” já existentes. Além disso, novos modelos de cursos, como Certificados de Estudos Avançados e Nano Graus, complementam as carreiras acadêmicas existentes.

4.5.1 Estudos de mestrado

Um exemplo ilustrativo para um estudo mestre técnico/engenharia é o “*Master Hydrogen and Fuel Cell Technology*” oferecido pela *Hochschulförderung Südwest*. O escopo do Mestrado é definido pelo desenvolvimento da energia neutra em CO₂ e novos conceitos de propulsão que requerem um conhecimento tecnicamente profundo de todo o sistema de armazenamento e conversão de energia e suas interações. Os módulos cobrem todos os componentes importantes de um sistema de energia circular baseado no hidrogênio, desde a geração, passando pelo armazenamento e conversão até o trem de força em veículos. Após estudos bem-sucedidos (4 semestres incluindo a tese de mestrado), os graduados devem ser capazes de desenvolver e otimizar sistemas de energia sustentáveis (H2) sob consideração das condições ecológicas e econômicas. O conteúdo teórico é combinado com aulas práticas de laboratório e o uso de ferramentas de simulação etc. Uma visão detalhada é dada pela descrição dos módulos fornecidos pela referência bibliográfica”. *Hochschulförderung Südwest* 2021 “. O estudo é credenciado e equivalente a 90 ECTS (**European Credit Transfer System**).

Outros estudos cobrem uma gama mais ampla e combinam as áreas química, técnica, econômica, de segurança e regulatória e outras áreas do hidrogênio. O “Mestrado em tecnologia e economia do hidrogênio” oferecido pela Universidade Internacional de Dresden e dirigido pela Cátedra de Hidrogênio e Energia Nuclear, Instituto de Tecnologia Energética, TU

Dresden dá uma visão exemplar sobre os conhecimentos necessários para a economia do hidrogênio (Tabela 5: Módulos e conteúdo do «M.Sc. em tecnologia e economia de hidrogênio» (fonte: *Dresden International University* 2022)). O currículo é credenciado e representa o equivalente a 60 ECTS. uma visão mais detalhada é fornecida pela referência correspondente). Assim, ela é destinada a acadêmicos e profissionais da Alemanha e do exterior, bem como a estagiários com diploma de ingresso na universidade. (Universidade Internacional de Dresden 2022). A tese final de mestrado deve mostrar que os alunos são capazes de trabalhar independentemente de um problema de sua disciplina, utilizando métodos científicos. Ela é escrita no último semestre de estudo. No colóquio, os alunos explicam e defendem os resultados de suas teses de mestrado. Após a conclusão bem-sucedida de todos os exames, incluindo a defesa da tese de mestrado, os graduados recebem o grau acadêmico “*Master of Science*” (M.Sc.), equivalente a 60 ECTS.

Geralmente, a Cátedra de Tecnologia de Hidrogênio e Energia Nuclear da TU Dresden faz parte da faculdade de engenharia mecânica e oferece módulos sobre hidrogênio como transportador de energia. Os estudantes do programa de graduação em engenharia de energia podem aprofundar seus conhecimentos na produção (incluindo reatores de alta temperatura) e aplicação do hidrogênio, bem como em questões de segurança das tecnologias do hidrogênio. (TU Dresden sem ano).

Como parte do projeto HYPOS INES, a Cátedra de Tecnologia de Hidrogênio e Energia Nuclear da TU Dresden, juntamente com outros parceiros do projeto, realizou pesquisas sobre a segurança das aplicações de hidrogênio durante um período de três anos e meio. No final do projeto, em julho de 2021, foi publicado um guia de segurança de hidrogênio, que pretende servir de guia para futuros projetos de hidrogênio. O guia contém informações sobre segurança e organização que ajudarão a executar a operação segura da produção, transporte, armazenamento e utilização do hidrogênio.

1. Semestre	Módulo 1	Futuro Papel das Aplicações do Hidrogênio - Perspectivas e Potenciais dos Sistemas de Energia à base de Hidrogênio.	5 ECTS
	Módulo 2	Noções básicas de hidrogênio - Fundamentos do hidrogênio portador de energia secundária.	5 ECTS
	Módulo 3	Mercados de energia de hidrogênio.	5 ECTS
2. Semestre	Módulo 4	Sistemas de energia baseados em hidrogênio - Cadeia de valor do hidrogênio.	5 ECTS
	Módulo 5	Hidrogênio em Mobilidade - Aplicação de Hidrogênio em Mobilidade.	5 ECTS
	Módulo 6	Hidrogênio na indústria - Aplicação do hidrogênio na indústria.	5 ECTS
	Módulo 7	Hidrogênio em edifício inteligente - Aplicação do hidrogênio na tecnologia de construção.	5 ECTS
	Módulo 8	Segurança e aceitação pública - Aspectos de segurança, aceitação e desafios técnico-materiais do hidrogênio.	5 ECTS
3. Semestre	Módulo 9	Redes de Hidrogênio - Nacional e internacional.	5 ECTS
	Tese	Tese de mestrado e colóquio.	15 ECTS

Tabela 5: Módulos e conteúdo do “M.Sc. em tecnologia e economia de hidrogênio” (fonte: *Dresden International University* 2022). O currículo é credenciado e representa o equivalente a 60 ECTS.

4.5.2 Certificado de Estudos Avançados

As Universidades de Oldenburg e Hannover, em cooperação com a Fraunhofer IWES, estão oferecendo um curso de treinamento adicional “Hidrogênio para especialistas e gerentes” a partir de outubro de 2022, visando os funcionários de empresas e instituições públicas que decidem ou acompanham projetos de hidrogênio (ver também capítulo 5.4). O treinamento consiste em quatro módulos gerais e excursões:

- 1) Atores, estratégias e estrutura política
 - O hidrogênio como a chave para a desfossilização;
 - O hidrogênio na política energética e industrial;
 - Perspectivas de uso na indústria;
- 2) Tecnologia do hidrogênio

- Geração H2;
- Transporte incluindo todos os componentes e processos;
- Aplicações e exemplos dos setores;

3) Criação de valor, modelos de negócios e estrutura legal;

- Perspectiva do lado da demanda;
- Estrutura econômica e jurídica da energia;
- Avaliação dos conceitos de fornecimento;
- Conceitos e desenho rudimentar para cadeias de abastecimento;

4) Trabalho de projeto: da teoria à prática;

- Excursões e tese final.

Após a conclusão com sucesso (duração: 6 meses), os participantes recebem um Certificado de Estudos Avançados (CAS) correspondente a 15 créditos ECTS. O custo do curso é de 5.000 euros. (*Universität Oldenburg* 2022). Especialmente o CAS parece ser um conceito muito atraente e um compromisso entre um conhecimento profundo, uma visão geral ampla e multi-compatível e um investimento financeiro aceitável e de tempo. O projeto geral extra ocupacional dos estudos de mestrado e o CAS facilita uma rápida e contínua transferência de conhecimento para o contexto prático de trabalho de uma empresa ou de uma autoridade pública ("quick wins" - vitórias rápidas).

4.5.3 Nano Graus

Um modelo relativamente novo de certificados é representado pelos Nano Graus para a educação superior no nível acadêmico. O curso online de dois meses "*Hydrogen Technologies*" é equivalente a 6 ECTS e custa 1.080,- Euros. Os tópicos abordados são:

- Processos gerais para produção e armazenamento de hidrogênio, incluindo os fundamentos físicos;
- Armazenamento de hidrogênio para a Célula a combustível;
- Hidretos químicos para armazenagem de hidrogênio;
- O hidrogênio como armazenamento intermediário no conceito de fornecimento de energia por meio de energias renováveis;
- Conceitos geológicos de armazenamento de hidrogênio a longo prazo;
- Eficiência e equilíbrio da produção e armazenamento de hidrogênio - incluindo eficiência a longo prazo - em comparação com o armazenamento elétrico (acumuladores);
- Abordagens e conceitos para aumentar a eficiência das tecnologias baseadas no hidrogênio (Wilhelm Büchner Hochschule 2022).

O Nano Grau pode ser visto como o elo que falta entre estudos de mestrado/CAS (ver acima) e seminários de curto prazo, como exemplificativamente descrito no capítulo 4.5.4. No total, os principais tópicos abordados por todos os diferentes tipos de cursos são muito consistentes; as variações dependem do possível foco da indústria e da intensidade de cada oferta.

4.5.4 Seminários com insumo acadêmico

A VDI Wissensforum oferece um "*Crash Course Hydrogen*" (Curso intensivo de hidrogênio) muito pragmático e condensado, dirigido a empresas em potencial na cadeia de valor do hidrogênio. O seminário de 2 dias é ministrado por um professor da Universidade de Erlangen e foca empresas dos seguintes setores:

- Fornecedores (bombas, sensores, compressores, sistemas de exaustão, sistemas de refrigeração etc.);
- Fabricantes de máquinas e veículos;
- Fabricantes e fornecedores de plantas químicas e energéticas;
- Operadores de plantas químicas e de energia;
- Fabricantes e fornecedores de engenharia de aparelhos.

O custo para o seminário de 15 horas incluindo intervalos é de 1.390, - euros e, portanto, comparado com o CAS acima mencionado, relativamente caro. Por outro lado, tal programa feito sob medida permite uma visão geral expressa, mas completa sobre a área de hidrogênio verde levando em conta os interesses e as necessidades do grupo alvo:

Mercados e promoção

- Mercados de hidrogênio e estratégia do Governo Federal, da União Europeia e do mundo?
- O que está sendo promovido e como?
- Que desenvolvimentos podem ser esperados devido à mudança das condições estruturais, tais como o preço do CO₂?
- O que foi implementado e quais os próximos passos a serem seguidos?

O hidrogênio como uma forma adicional de energia futura

- Quais são os tipos de hidrogênio existentes e quais são suas vantagens e desvantagens?
- Hidrogênio em comparação com outros portadores de energia;
- Planos do governo alemão e da UE: Tratamento regulamentar preferencial do H2;
- Como funciona a nova indústria do hidrogênio?

Tecnologias e infraestrutura

- Tecnologia de eletrólise, construção de instalações e equipamentos;
- Acoplamento setorial e eletricidade necessária para a produção de hidrogênio;
- Transporte e infraestrutura;
- Armazenamento de hidrogênio;
- Subprodutos do hidrogênio: Power-to-x e e-fuels a partir do hidrogênio;
- Células a combustível e tecnologia;
- Potenciais de redução de custos;
- Produção em massa;
- Sistemas de células a combustível.

Aplicações e uso de hidrogênio

- Mercados para sistemas, máquinas e veículos que utilizam hidrogênio;
- O uso do hidrogênio na mobilidade;
- Uso do hidrogênio na indústria (energia e materiais);
- Uso de hidrogênio no fornecimento de energia para edifícios;
- Engenharia de máquinas e instalações;
- Exploração de sinergias no uso do hidrogênio.

Desafios e problemas técnicos

- Fragilização com hidrogênio em metal e plástico;
- Resistência à pressão dos componentes;

- Aperto dos componentes;
- Tecnologia de sensores;
- Combustão direta de hidrogênio em motores.

Perspectivas para futuros desenvolvimentos

- Produção em massa de plantas e componentes;
- Miniaturização;
- Desenvolvimento do mercado e do custo do hidrogênio e dos Eletrolisadores;
- O hidrogênio precisa de gás como tecnologia de transição (VDI Wissensforum 2022).

O escopo abrangente do programa e o foco no interesse do grupo alvo se aplicam tanto à indústria fornecedora quanto à indústria de aplicação; de uma perspectiva de política industrial, este modelo de curso parece ser altamente atraente para o contexto do H2Brasil.

4.6 Habilidades digitais para hidrogênio verde

É notável que o treinamento adicional sobre o tema do hidrogênio (verde) inclui explicitamente módulos sobre digitalização; esta constatação está de acordo com os requisitos básicos de integração do sistema em cenários potencialmente voláteis de produção e fornecimento, bem como com a germinação de transformação digital e descarbonização. Além disso, o projeto, fabricação, implementação e operação (incluindo manutenção e revisão) de tecnologias e sistemas (de energia) são geralmente auxiliados por ferramentas e técnicas digitais. Uma estrutura básica exemplar desenvolvida para as necessidades intersectoriais na cidade de Hamburgo (Heinze Akademie 2021, S. 3) é o seguinte:

Ciência dos Dados, Digitalização e Inovação (240 Unidades Didáticas¹⁰)

- Usando a ciência dos dados para o desenvolvimento e processos de trabalho;
- Criar e utilizar cenários de digitalização;
- Gerenciar inovações.

Uso, modelagem e simulação de sistemas de hidrogênio (240 Unidades Didáticas)

- Usando processos e procedimentos da tecnologia do hidrogênio;
- Projeto de recipientes e aparelhos para a tecnologia do hidrogênio;
- Usar hidrogênio;
- Modelagem e simulação de sistemas de hidrogênio.

Configuração, análise e otimização de plantas de hidrogênio (240 Unidades Didáticas)

- Configurar plantas de hidrogênio;
- Avaliar os sistemas de hidrogênio econômica e ecologicamente;
- Garantir a segurança jurídica e econômica das plantas de hidrogênio.

O programa de treinamento é dirigido a especialistas técnicos, em particular engenheiros, técnicos certificados e mestres artesãos que, com base em sua formação profissional e experiência profissional já adquirida, gostariam de adquirir conhecimentos especializados na área da tecnologia futura dos sistemas de hidrogênio.¹¹

¹⁰ 1 TU = 45 minutos

¹¹ O custo é de 10.003,20 Euros

Referindo-se às demandas existentes no mercado de trabalho, em linha com Grimm et al. 2021 e *France Hydrogène* 2021A descrição de funções de uma empresa de geração de energia e tecnologia de propulsão no sul da Alemanha a partir de 2021 consolida de forma exemplar o papel da tecnologia digital para sistemas de energia em geral e para a economia de hidrogênio em particular:

Desenvolvemos tecnologias livres de CO₂ - tecnologias livres de CO e soluções integradas e, portanto, fazemos uma contribuição significativa para a mudança climática e para assegurar um futuro sustentável. O **ecossistema de hidrogênio em desenvolvimento** com células a combustível, motores a hidrogênio, armazenamento de baterias e produção sintética de combustíveis com energia de fontes renováveis nos oferece oportunidades fantásticas para moldar ativamente o futuro: soluções de propulsão híbridas ou puramente elétricas para navios e grandes veículos terrestres, bem como sistemas de energia baseados em células a combustível livres de CO₂ ou micro redes que incluem painéis solares, turbinas eólicas, baterias e motores a gás. Para isso, também desenvolvemos o controle e a automação como funções-chave internamente.

Desenvolvedor de software para soluções sustentáveis de energia e propulsão

O que oferecemos:

- Oferecemos várias posições desafiadoras para um futuro comum: como parte de nossa equipe de desenvolvimento em Engenharia de Software, você fará um trabalho pioneiro conosco. Você trabalhará no grupo de tecnologia globalmente ativo em um ambiente dinâmico em equipes multifuncionais compostas por funcionários internos altamente motivados e parceiros de desenvolvimento externos.
- Você trabalhará conosco no desenvolvimento de funções, engenharia de software, arquitetura de software, bem como em algoritmos de aprendizagem e otimização de máquinas.
- Dependendo dos requisitos do trabalho e das especificações do cliente, você desenvolverá aplicações de software ou apoiará o desenvolvimento de novas e inovadoras funções e otimização de software.
- Você se encarrega da implementação do software e da verificação do cumprimento dos requisitos do projeto
- Você será responsável pela compatibilidade dentro de diferentes sistemas e por encontrar soluções no desenvolvimento de aplicativos e programas.

O que estamos procurando:

- Você tem um diploma concluído com sucesso em informática, mecatrônica, engenharia elétrica ou uma qualificação comparável.
- O ideal é que você tenha experiência profissional relevante no campo de desenvolvimento de software e/ou arquitetura de software.
- Você tem conhecimento dos princípios essenciais no projeto de arquiteturas de software, plataformas, bibliotecas nas unidades de controle e conhece as linguagens de programação C++, C#, Java, Python e Matlab / Simulink, melhor do que nós.
- Você se comunica facilmente em alemão e inglês, tanto em conversas pessoais quanto em correspondência escrita. Quanto mais pronunciadas forem suas habilidades em alemão e inglês, melhor.
- Você está entusiasmado com o desenvolvimento de tecnologias futuras sustentáveis no setor de propulsão e geração de energia e tem o impulso próprio para trazê-las ao mercado.

As futuras habilidades técnicas em tecnologia do hidrogênio, como fabricação de equipamentos, integração de sistemas e construção de plantas, bem como operações de plantas, estão intimamente ligadas às habilidades digitais para modelagem, construção, fabricação e monitoramento. Como a Figura 5 mostra a base técnica para uma economia verde de hidrogênio é - seguindo tendências gerais como a indústria 4.0 e sistemas inteligentes - caracterizada por uma convergência de ICT /habilidades digitais e perfis de trabalho por um lado e por “*Mechanical engineering plus x*” Por outro lado, habilidades específicas de H2 e perfis de trabalho. O perfil de conhecimento de um engenheiro de células combustíveis apresentado no capítulo 4.7.2 lista alguns dos programas e ferramentas de software específicos necessários para cumprir as tarefas exigidas.

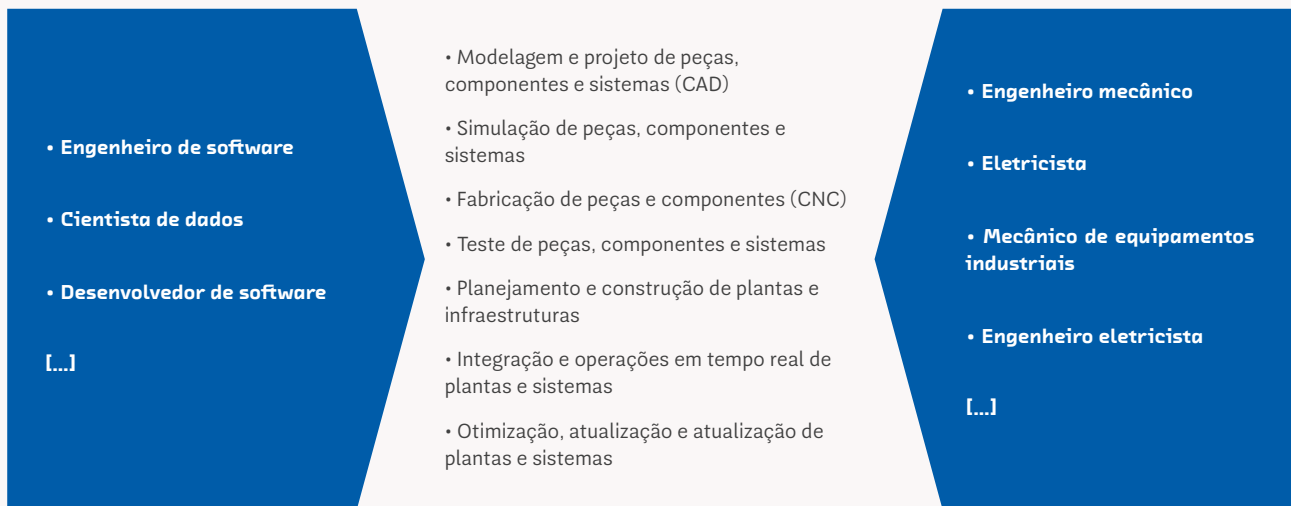


Figura 5: Uma implementação bem-sucedida e a ascensão de uma verdadeira economia de hidrogênio composta de fabricação de equipamentos, produção de H2, bem como transporte, armazenamento e aplicação de H2 em diferentes indústrias/setores requerem a geminação de habilidades digitais e habilidades técnicas, de engenharia, segurança e habilidades relacionadas ao H2 (fonte: iit 2022).

4.7 Perfis de qualificação selecionados para a cadeia de valor de hidrogênio

Uma primeira análise das funções, habilidades e qualificações exigidas pela indústria australiana revelou um punhado de perfis de qualificação cruciais para uma economia verde de hidrogênio bem-sucedida. (Energy Skills Queensland 2019). Os perfis dados representam em primeiro lugar “descrições de cargos” e não necessariamente perfis profissionais formalizados:

- Gerente de projetos;
- Engenheiro de processo/industrial;
- *Drafter* (desenhista);
- Fabricante de eletrolisadores;
- Engenheiros/técnicos de células a combustível;
- Construção de dutos de hidrogênio;
- Especialistas em saúde e segurança no trabalho (3.4)
- Especialistas financeiros;
- Treinadores e avaliadores especializados para um treinamento apropriado e de alta qualidade.

É perceptível que a maioria dos perfis cobre questões e necessidades tecnológicas. Como descrito no Capítulo 1.1 produção de hidrogênio, a produção de infraestrutura técnica e maquinário e as indústrias fornecedoras terão como resultado fortes efeitos no emprego de uma economia verde de hidrogênio. Dentro do segmento de máquinas, a fabricação de eletrolisadores e células combustíveis é supostamente responsável pelas maiores quotas de mercado. Por esta razão, e devido ao fato de que estas tecnologias poderiam ser a chave para a futura soberania tecnológica, a produção de componentes e sistemas de engenharia é uma prioridade máxima em muitas estratégias nacionais de hidrogênio em todo o mundo. Tendo estas implicações em mente, um primeiro foco de análise de habilidades específicas é estabelecido nas capacidades tecnológicas representadas pelos eletrolisadores e células a combustível.

4.7.1 Fabricante de eletrolisadores

Hoje, o foco em relação aos eletrolisadores está voltado para o projeto e industrialização de sistemas de grande escala (> 1MW), envolvendo várias habilidades e competências de eletricidade, química, eletroquímica, conversão de energia etc. Com base na análise da *France Hydrogène* (ver capítulo 5), 56 profissões foram identificadas relevantes para a fabricação (projeto e montagem), instalação e integração, operação e manutenção de eletrolisadores (*France Hydrogène* 2021, p. 29).

Existem três tipos diferentes de eletrolisadores. O eletrolisador alcalino é uma tecnologia robusta e ainda hoje a mais

instalada. Ele utiliza uma solução líquida como eletrólito normalmente o hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio, e água. O hidrogênio é produzido em uma “célula” que consiste em um ânodo, um cátodo e uma membrana. As células são normalmente montadas em série em uma “pilha de células” (*cell stack*) que produz mais hidrogênio e oxigênio à medida que a quantidade de célula aumenta. A “pilha de células” é o coração de um eletrolisador que adicionalmente requer um controle de potência para o fornecimento de corrente contínua às pilhas de células, sensores, válvulas e um sistema de automação para funcionar de forma otimizada e segura. As tubulações e vasos são principalmente de aço inoxidável, e uma unidade de tratamento de água (qualidade da água deve ser potável) e um sistema de resfriamento também são necessários. Os eletrodos são os elementos-chave da pilha de eletrólise. A escolha do material (na superfície) dos eletrodos está atualmente limitada aos metais preciosos do grupo da platina. Felizmente, quantidade de Platina (Pt) ou Chumbo (Pd) usada é pequena, graças às técnicas avançadas de revestimento (Cummins Inc. 2020).

Outra tecnologia é o “*Próton Exchange Membrane (PEM) Electrolyser*”, que utiliza como eletrólito membrana polimérica sólida. Quando a corrente é aplicada na pilha celular, a água se divide em hidrogênio e oxigênio e os prótons de hidrogênio passam através da membrana para formar gás H₂ no lado do cátodo. A terceira tecnologia é o “*Solid Oxide Electrolyser (SOEC)*”, que utiliza material sólido cerâmico como eletrólito. Os elétrons do circuito externo combinam-se com água no cátodo para formar o gás hidrogênio e carregar negativamente os íons. O oxigênio passa então pela membrana cerâmica eletrolítica e reage no ânodo para formar gás oxigênio e gerar elétrons para o circuito externo. Os SOECs operam a uma temperatura muito mais alta (acima de 500 °C) do que os eletrolisadores alcalinos e poliméricos PEM (até 80 °C) e devem se tornar mais eficientes do que o PEM e os eletrolisadores alcalinos. (Cummins Inc. 2020).

Os eletrolisadores são projetados de tal forma que requerem pouca parametrização durante operações altamente automatizadas; o manual exemplar de um (pequeno) eletrolisador comercial fornece uma visão geral sobre as habilidades de operação (Adaptador 2020). Embora os sistemas PEM em particular sejam caracterizados por um comportamento operacional dinâmico (mudança de carga mínima para carga nominal - correspondente à produção de H₂ de 20 ou 100% - dentro de 30 segundos ou menos), o objetivo é manter a carga tão constante quanto possível no nível da produção nominal máxima (normalmente com eficiências de cerca de 75%) durante a operação normal. As flutuações na disponibilidade de eletricidade gerada de forma renovável são preferencialmente compensadas pelo armazenamento da bateria ou similar. Assim, não há atualmente um perfil de trabalho previsível para um “operador de eletrolisador”.

Para a **fabricação de eletrolisadores**, Habilidades Energéticas Queensland 2019 identificou as seguintes competências essenciais, incluindo habilidades interpessoais e digitais (ver capítulo 4.6.6)

- Interpretar o desenho técnico;
- Empreender o manuseio manual;
- Realizar medições de engenharia;
- Realizar cálculos;
- Trabalhar de forma segura e eficaz na fabricação e engenharia;
- Planejar as atividades de trabalho;
- Organizar e comunicar informações;
- Interagir com a tecnologia informática;
- Auxiliar no fornecimento de treinamento no trabalho;
- Usar ferramentas manuais;
- Usar ferramentas elétricas/operações de mão;
- Participar em práticas de trabalho ambientalmente sustentáveis.

As competências centrais são complementadas seletivamente por competências na construção de tecnologia de plantas de processo como uma ponte para a integração e operação de sistemas:

- Executar solda por arco metálico de rotina,
- Preparar o desenho básico de engenharia,
- Licença para operar uma caldeira avançada,

- Realizar tarefas de apoio à produção,
- Otimizar de processo/área da fábrica,
- Operar equipamentos de moagem a úmido,
- Operar e monitorar sistemas de válvulas,
- Monitorar, operar e manter estações de dutos e equipamentos,
- Operar e monitorar a planta de produção de gás

Todas essas competências representam a aplicação de tarefas e habilidades típicas da mecatrônica, mecânica, engenharia elétrica etc. no campo da produção de eletrolisador. Um campo adicional será o manuseio de diferentes materiais novos (como uma Membrana de Troca de Prótons) e, no futuro, o manuseio de dispositivos de alta temperatura, conforme necessário para o *Solid Oxide Electrolyser* (SOEC). A evolução da tecnologia do eletrolisador sublinha a necessidade de uma atualização permanente de habilidades integrando o progresso tecnológico. As habilidades adequadas para a fabricação de eletrolisadores também são necessárias para a manutenção, revisão e substituição dos sistemas.

4.7.2 Engenheiros/técnicos de células a combustível

Todos os componentes de uma célula a combustível (conversor de energia, sistema de recirculação de hidrogênio, umidificador) exigem que a engenharia elétrica e a mecânica de fluidos sejam projetadas separadamente e montados no sistema completo. Com base na análise da *France Hydrogène* (ver capítulo 5), 58 profissões foram identificadas relevantes para a fabricação (projeto e montagem), instalação e integração, operação e manutenção de Eletrolisadores. Para integração de células a combustível em aplicações móveis e estacionárias, 55 profissões envolvidas foram identificadas (*France Hydrogène* 2021, S. 29).

Os engenheiros de células a combustível (FCEs) projetam, desenvolvem, constroem, modificam e testam células a combustível ou outros sistemas eletroquímicos que convertem combustível em eletricidade. Os FCEs trabalham com fornecedores, clientes, pessoal de apoio e outros engenheiros no planejamento e implementação de projetos para reduzir o custo de células a combustível ou outras melhorias de produtos. Eles projetam e conduzem experimentos para validar novos materiais, analisar a compatibilidade de impurezas, otimizar protocolos de inicialização e reduzir o tempo de processamento. Ao fazer isso, eles usam software de simulação para simular ou modelar informações de sistemas, motores ou células a combustível. Além disso, criam e executam programas de teste e desenvolvimento de células a combustível e montam bancos de ensaio, sistemas de aquisição de dados e outros instrumentos necessários para testes específicos de componentes ou sistemas de células a combustível. Os testes de combustível são realizados utilizando equipamentos de teste de Célula a combustível, instrumentação eletroquímica e instrumentação analítica. Os FCEs também calculam o desempenho assim como a eficiência geral de um sistema ou processo de Célula a combustível. Eles também projetam protótipos de componentes de células a combustível, conjuntos, sistemas e pilhas de combustível e podem ser encarregados de monitorar esses protótipos. Eles verificam e validam o projeto de peças de células a combustível a fim de identificar potenciais problemas e desafios no projeto de sistemas de células a combustível e recomendam mudanças apropriadas. Isto inclui a aprovação de novos componentes ou subsistemas de células a combustível para a produção. Finalmente, os FCEs analisam o custo, desempenho e impacto ambiental de novos sistemas de células a combustível e escrevem relatórios técnicos e novos conceitos relacionados a projetos de engenharia. (*Society for Human Resource Management* (SHRM) 2021).

Educação e habilidades

As posições de nível básico para engenheiros de células combustíveis exigem um diploma de bacharelado. Alguns empregadores ou funções específicas podem exigir um mestrado ou mesmo um doutorado em engenharia ou áreas relacionadas. Uma base comum é a engenharia mecânica, incluindo cursos relacionados ao projeto de células a combustível. As seguintes habilidades são vistas como essenciais para os engenheiros de células a combustível:

- Compreensão abrangente de física, química, matemática, computadores e design relacionados ao desenvolvimento de células combustíveis;
- Compreensão abrangente da aplicação prática da ciência e tecnologia de engenharia;
- Extremamente proficiente em uma variedade de softwares de computador relacionados, inclusive:
 - Projeto auxiliado por computador (CAD);
 - Software analítico e científico como o FactSage, GateCycle e Minitab;

- Software de controle industrial como o SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)
- Software de desenvolvimento orientado a componentes;
- Suíte Microsoft Office.
- Excelentes habilidades de comunicação verbal e escrita;
- Grande capacidade de resolução de problemas e de diagnosticar problemas;
- Orientação para o detalhe e boa capacidade analítica;
- Compreensão abrangente do método científico e das regras;
- Compreensão abrangente dos processos e indicadores de avaliação (*Society for Human Resource Management (SHRM) 2021*).

Uma visão mais detalhada, mas muito semelhante é dada pela descrição na O-NET,¹² o equivalente americano da BERUFENET na Alemanha, estabelecendo uma descrição muito consistente de um perfil de trabalho da FCE. A área de trabalho de um engenheiro de células a combustível cobre um amplo espectro de tarefas que requerem uma variedade de conhecimentos específicos de engenharia mecânica e elétrica, ciência dos materiais, design/construção, física etc.:

- **Engenharia e Tecnologia:** Conhecimento da aplicação prática da ciência e tecnologia da engenharia. Isto inclui a aplicação de princípios, técnicas, procedimentos e equipamentos ao projeto e produção de vários bens e serviços.
- **Física:** Conhecimento e predição de princípios físicos, leis, suas inter-relações e aplicações para a compreensão de fluidos, materiais e dinâmica atmosférica, e estruturas e processos mecânicos, elétricos, atômicos e subatômicos.
- **Matemática:** Conhecimentos de aritmética, álgebra, geometria, cálculo, estatística, e suas aplicações.
- **Química:** Conhecimento da composição química, estrutura e propriedades das substâncias e dos processos químicos e transformações a que elas são submetidas. Isto inclui usos de produtos químicos e suas interações, sinais de perigo, técnicas de produção e métodos de eliminação; este conhecimento mostra uma forte sobreposição com as questões de segurança universal relacionadas ao H2 (ver capítulo 0).
- **Projeto:** Conhecimento de técnicas de projeto, ferramentas de software (por exemplo, AutoCAD) e princípios envolvidos na produção de planos técnicos de precisão, plantas, desenhos e modelos.
- **Software:** Conhecimento da aplicação de software padrão assim como programas e ferramentas específicas como Ansoft Simplorer, Ansys Fluent, ASPEN PLUS, Autodesk AutoCAD, FactSage, Failure mode and effects analysis FMEA software, Gaussian GaussView, Gaussian software, GE Energy GateCycle, Maplesoft Maple, MathWorks Simulink, Minitab, National Instruments LabVIEW, SCADA software, software estatístico, Wind River Systems C/C++ Compiler Suite, Wolfram Research Mathematica (Departamento do Trabalho dos Estados Unidos 2022) ver também capítulo 4.6.6.

O trabalho de um engenheiro de células a combustível está intimamente relacionado à IDT, testes, avaliação, especificação e processos de pré-produção (planejamento, otimização). Ele/ela estabelece sistemas de células a combustível prontos para a fabricação, enquanto o processo de fabricação como tal é conduzido por técnicos especializados cobrindo partes do know-how de um FCE:

- Definir especificações para materiais de células a combustíveis.
- Planejar ou conduzir experimentos para validar novos materiais, otimizar protocolos de inicialização, reduzir o tempo de condicionamento ou examinar a tolerância a contaminantes.
- Calcular a eficiência ou saída de energia de um sistema ou processo de célula combustível.
- Conduzir análises pós-serviço ou de falhas, utilizando princípios ou procedimentos de diagnóstico eletromecânico.
- Ler literatura atual, participar de reuniões ou conferências, ou conversar com colegas para ficar a par de novas tecnologias ou produtos competitivos.

¹² Veja o site www.onetonline.org

- Preparar estações de teste, instrumentação ou sistemas de aquisição de dados para uso em testes específicos de componentes ou sistemas de células a combustível.
- Desenvolver materiais de Célula a combustível ou equipamento de teste de Célula a combustível.
- Simular ou modelar a Célula a combustível, motor ou outras informações do sistema, utilizando programas de software de simulação.
- Caracterizar o desempenho de componentes ou células combustíveis através da geração de mapas operacionais, definição de condições operacionais, identificação de refinamentos de projeto ou execução de avaliações de durabilidade.
- Fabricar protótipos de componentes, montagens, pilhas ou sistemas de células a combustível.
- Analisar os dados da Célula a combustível ou dados de teste relacionados, usando um software estatístico.
- Projetar sistemas de células a combustível, subsistemas, pilhas, conjuntos ou componentes, tais como motores de tração elétrica ou eletrônica de potência.
- Recomendar ou implementar mudanças nos projetos de sistemas de células a combustível.
- Fornecer consulta técnica ou direção relacionada ao desenvolvimento ou produção de sistemas de células a combustível.
- Desenvolver ou avaliar sistemas ou métodos de armazenamento de hidrogênio para aplicações em células a combustível.
- Avaliar a saída de energia, o custo do sistema ou o impacto ambiental de novos projetos de sistemas de células a combustível de hidrogênio ou não-hidrogênio.
- Autorizar a liberação de peças, componentes ou subsistemas de células a combustível para produção.
- Coordenar a engenharia de células a combustível ou cronogramas de testes com departamentos externos à engenharia, como a fabricação.
- **Identificar ou definir os desafios de integração de veículos e sistemas para veículos a Célula a combustível.**
- **Gerenciar a arquitetura do sistema híbrido célula combustível/bateria, incluindo o dimensionamento de componentes, tais como células combustíveis, unidades de armazenamento de energia, ou acionamentos elétricos.**
- **Integrar subsistemas de acionamento elétrico com outros sistemas do veículo para otimizar o desempenho ou mitigar falhas** (Departamento do Trabalho dos Estados Unidos 2022).

As três tarefas destacadas em negrito marcam um caminho de transição para técnicos que trabalham em oficinas de automóveis (veículos rodoviários) voltadas para novos sistemas de propulsão. O know-how de projeto e construção da FCE tem que ser tomado em marcha atrás por técnicos de mecânica de veículos motorizados qualificados adicionalmente, como é mostrado na Tabela 2 e mais elaborado no capítulo 4.3.

4.8 Habilidades de aplicação em diferentes indústrias

Ao contrário de outras indústrias, as indústrias de hidrogênio e de células a combustíveis oferecem uma indústria realista para a criação de empregos na maioria dos países. Espera-se que o crescimento da indústria de hidrogênio e de células a combustível leve a novas oportunidades significativas de emprego globalmente, à medida que as empresas se expandem para atender a novas demandas e mandatos de energia limpa e sustentável. Assim, a demanda do mercado por tecnologias de células a combustível e hidrogênio aumentará em todos os setores da economia, particularmente nos setores siderúrgico, químico, automotivo e energético. (Ludwig et al. 2021). Consequentemente, a necessidade de pessoal treinado e experiente e serviços de acompanhamento, tais como técnicos especializados em manutenção, instaladores, especialistas em fabricação, treinadores, seguradoras e educadores também aumentará.

As exigências específicas de treinamento devem, portanto, ser identificadas para que este setor da economia e do mercado de trabalho potencial em rápido crescimento tenha um pool adequado de níveis de treinamento e de habilidades e responsabilidades. Muitos desses empregos não existem atualmente e não têm títulos de emprego tradicionais. Além disso, muitos desses novos empregos exigem diferentes conjuntos de habilidades. (Wang et al. 2021)

4.8.1 Aço

Atualmente, cerca de 95% do metal quente (uma liga de Fe, C e outros materiais precursores do aço) do mundo - a matéria-prima do aço - é produzida em altos-fornos. Como resultado, a indústria siderúrgica é responsável por 10 % das emissões globais de CO₂. Nos processos de alto-forno, o coque serve como agente redutor. Durante o processo de redução, o oxigênio contido no minério de ferro é ligado ao carbono contido no coque. Os produtos de reação são o metal quente e o CO₂. Uma alternativa ao alto-forno é o processo de redução direta, que já está disponível em escala industrial. O produto é o ferro reduzido direto (DRI), cuja qualidade é caracterizada pelo teor de carbono ajustado e um teor residual de óxido de ferro. Na maioria das usinas de redução direta comercial existentes, o gás natural é utilizado como agente redutor. A perspectiva futura para a produção de metal quente e aço neutro para o clima é a substituição do gás natural por hidrogênio verde. (Müller et al. 2019, p. 48). O ferro reduzido diretamente com o H₂ é fundido utilizando sistemas como fornos elétricos a arco.

Seguindo a descrição fornecida pelo *Bundesagentur für Arbeit* (BA) 2022bO perfil de trabalho existente **Técnico de processo (m/f) para a indústria metalúrgica - especializado em metalurgia do ferro e do aço** - é caracterizado pelas seguintes tarefas e habilidades para executar, controlar e monitorar os fluxos do processo na produção convencional de ferro-gusa e aço:

- Preparar e montar materiais de entrada (minérios, coque, sucata, aditivos) para a produção de metal quente de acordo com o uso pretendido, calcular quantidades,
- Controlar os sistemas de transporte e equipamentos de elevação, alimentar os materiais para os altos-fornos,
- Instalar, ajustar e operar altos-fornos ou fornos de fundição,
- Controle do fornecimento de energia, quantidade de ar, temperatura do ar pré-aquecido, fornecimento de ar de sopro, sistemas de resfriamento,
- Retirar amostras e testar a fluidez, cor e superfície de fratura do metal quente, encaminhar a amostra para o departamento de testes de materiais,
- Preparar o batimento (a rosca), preparar a usina de fundição contínua ou outros equipamentos e recipientes para receber o metal fundido quente, realizar o batimento (a rosca),
- Escória de torneira, descarga de gases,
- Operar, ajustar e monitorar o equipamento para o transporte do metal fundido quente,
- Montar metais de liga, aditivos, combustíveis e agentes redutores para a produção de aço e adicioná-los ao metal quente fundido,
- Controlar e monitorar as sequências de processo a partir da sala de controle,
- Avaliar o metal fundido e o aço fundido em formas comercializáveis, por exemplo, lingotamento contínuo ou lingotamento em lingotes,
- Monitorar o resfriamento e solidificação do aço, regular se necessário,
- Monitorar e controlar plantas de produção mecanizadas e automatizadas, reconhecer e analisar avarias, manter plantas, realizar pequenos reparos.

Quando se trata da aplicação (em larga escala) da produção de aço de redução direta utilizando hidrogênio (verde) e gás natural, os tecnólogos de processo e profissões relacionadas precisam de competências adicionais:

- Conhecimento adequado de gás e especialmente de hidrogênio para operações seguras e sem acidentes (ver também capítulo 1.1.2),
- Conhecimento químico e capacidades para operações de processo específicas seguindo as características/qualidade desejadas do metal/aço quente,
- Competências ampliadas em controle e monitoramento de máquinas e sistemas e a utilização de ferramentas e tecnologias digitais avançadas como a Realidade Virtual para simulação e testes.¹³

¹³ A digitalização também se aplica em plantas já existentes, independentes do H₂ verde.

Especialmente o know-how do processo químico (tecnologia) vai aumentar devido aos diferentes processos de produção. Uma produção de DRI se parece mais com uma planta química do que com um alto-forno e requer habilidades correspondentes. Exemplos disso são a lavagem de aminas¹⁴ e a instalação do fornecimento de H₂. Estas habilidades têm que ser vistas como uma extensão das habilidades “tradicionais” de produção de metal quente que não perdem importância. Assim, a DRI não resulta em uma mudança de qualificação, mas em uma expansão. A ThyssenKrupp em Duisburg está instalando uma fábrica da DRI que iniciará a produção em 2026. Em 2023, a primeira coorte de treinamento vocacional (3 anos) de técnico de processo para a indústria metalúrgica receberá o treinamento “tradicional” mais habilidades específicas para processos DRI. O conteúdo destas habilidades especiais será desenvolvido em um processo conjunto com empresas químicas que fornecem o know-how de processos químicos; perfis de trabalho correspondentes como Técnico Químico (Bundesagentur für Arbeit (BA) 2022a) já inclui o manuseio do H₂. Em paralelo, são desenvolvidos módulos de educação contínua para a força de trabalho existente. Em cooperação com a Câmara Regional de Indústria e Comércio (IHK), um módulo «hidrogênio» está sendo desenvolvido e estará disponível em maio de 2022 (comunicação pessoal). Em geral, ainda há pouco conhecimento prático sobre DRI usando H₂. A diferença para DRI usando gás natural é uma temperatura de processo mais alta e a formação de água como produto de oxidação do H₂. O vapor possivelmente afeta a qualidade do metal quente devido a reações indesejadas na superfície do metal resultando em micro explosões com uma pressão de 3.000 bar. Toda esta experiência adquirida gradualmente em plantas-piloto tem que ser sistematizada e integrada nos próximos currículos profissionais.

Informações complementares podem ser esperadas de um estudo atualmente (primavera de 2022) realizado pelo sindicato dos metalúrgicos alemães (IG Metall). O objetivo deste estudo é obter um número gerenciável de cenários baseados em fatores-chave significativos (alta influência, alta incerteza) para os anos 2030 e 2045 para a transformação baseada no hidrogênio (técnica e econômica), utilizando o exemplo da indústria siderúrgica e da construção de usinas de energia. Os cenários serão usados para derivar os efeitos associados ao emprego e às exigências de qualificação dos funcionários. A análise de cenários é baseada nos resultados de entrevistas/inquéritos de especialistas. O estudo inclui diferentes áreas (construção de usinas de hidrogênio, aço e energia), cuja interação deve ser analisada (comunicação pessoal).

Uma analogia de processo: Oxyfuel na indústria do cimento

Um procedimento semelhante à implementação de técnicas e processos de redução direta na indústria siderúrgica pode ser observado para a implementação de processos de oxidação na indústria cimenteira. Oxyfuel substitui o ar por oxigênio puro no processo de queima da cal para que o CO₂ possa ser mais bem capturado.

A subsidiária alemã de uma empresa cimenteira internacional desenvolve a implementação e o uso do processo de oxidação por especialistas apropriados sendo diretamente contratados ou contratados para o projeto de prestadores de serviços (de engenharia). Além disso, as novas tecnologias são desenvolvidas com parceiros fortes que contribuem com sua sólida experiência. Um programa apropriado de educação e treinamento é organizado para os funcionários durante a construção e comissionamento das novas plantas, a fim de qualificá-los para a operação das novas plantas (coevolução da tecnologia e habilidades). Geralmente, as pessoas envolvidas no projeto (internas e externas) devem ter se formado em engenharia e adquirido pelo menos a experiência inicial na indústria. O conhecimento especial em tecnologias de descarbonização é aprofundado ou adquirido durante o trabalho de desenvolvimento do projeto. São necessários motivação e habilidades sociais como criatividade, comunicação, trabalho estruturado, trabalho em equipe, determinação e assertividade (comunicação pessoal).

4.8.2 Indústria química

Na indústria química, o hidrogênio (cinza) é um recurso comumente utilizado há mais de 100 anos. A integração de processos de hidrogênio verde não mostra diferença nos esquemas de aplicação e utilização existentes do ponto de vista da segurança e do processo. No entanto, novos aspectos resultarão de “caminhos químicos” alternativos para o hidrogênio, resumidos como “power-to-x”. A partir do hidrogênio verde, isto inclui produtos derivados e derivados de H₂ como metano, metanol e outros hidrocarbonetos a serem utilizados como combustíveis sintéticos. Além disso, o hidrogênio verde pode ser usado como matéria-prima para a produção de amoníaco e outros produtos.

Para identificar e estimar as necessidades de habilidades para processos power-to-x, uma análise qualitativa das vagas de emprego fornece uma orientação consistente; dois exemplos da Raffinerie Heide GmbH¹⁵ complementam as habilidades gerais de engenharia de processos com know-how específico para power-to-x com base na formação acadêmica:

¹⁴ Um processo para eliminar os resíduos indisponíveis do gás.

¹⁵ A refinaria em Heide, Alemanha, é um exemplo avançado para a transição de recursos fósseis para recursos renováveis. Mais informações podem ser encontradas em <https://www.future-heiderefinery.com/en/>

Engenheiro / técnico de processo**Gerente de projeto para projetos power-to-x**

Tarefas e responsabilidades

- Desenvolvimento e manutenção de modelos de processo para a otimização da ferramenta de planejamento e para o ajuste otimizado das plantas de processo
- Identificação de gargalos de plantas e desenvolvimento de soluções
- Organização e avaliação de testes
- Realizar o monitoramento de alto nível da planta
- Apoio na avaliação da segurança das plantas
- Assistência técnica com modificações complexas de instalações
- Apoio à produção durante as paralisações

- Participação no desenvolvimento e implementação dos projetos de tecnologia verde da conversão energética, por exemplo, implementação de uma usina de eletrólise de 30 MW com armazenamento subterrâneo de H2
- Gerenciamento de projetos interdisciplinares de refinaria (sub) nas fases de planejamento, engenharia, compras, instalação até o comissionamento
- Gestão de equipes de projetos entre empresas e estreita cooperação com departamentos técnicos, bem como com empresas parceiras externas
- Consulta de trabalhos de planejamento e instalação, bem como preparação de documentos para a licitação de equipamentos e materiais
- Programação contínua e controle de custos, assim como documentação
- Desenvolvimento de conceitos, estratégias e padrões da empresa

Educação profissional / Experiência de trabalho

- Estudos concluídos em engenharia de processos, a experiência prática relevante seria uma vantagem
- Bons conhecimentos de engenharia de processos, idealmente em processos de refinaria
- Conhecimento ideal profundo dos programas de simulação de processos de engenharia
- Sólidos conhecimentos sobre óleos brutos e produtos petrolíferos desejáveis
- Experiência sólida em monitoramento de plantas e avaliação de dados
- Muito bom conhecimento analítico e capacidade de resolução de problemas
- Habilidades do MS Office
- Boa habilidade de comunicação em inglês
- Capacidade de comunicação e trabalho em equipe (Raffinerie Heide GmbH 2022a)

- Estudos concluídos em engenharia mecânica, engenharia de processos, engenharia civil ou uma disciplina de engenharia comparável
- Vários anos de experiência profissional relevante no campo das refinarias, petroquímicas ou construção de plantas
- Conhecimento profundo no manuseio de projetos / gerenciamento de projetos de inspeção, básico, detalhado, engenharia de autoridade, assim como construção e comissionamento
- Experiência em cooperação interdisciplinar e compreensão básica de outras disciplinas
- Experiência em aspectos relacionados com a segurança (por exemplo, HAZOP - *Hazard and operability study* - ou avaliações de risco)
- Abordagem orientada a resultados, disposição para assumir responsabilidades, habilidades de comunicação, espírito de equipe e capacidade de trabalhar sob pressão
- Manejo confiante do MS Office e do MS Project
- Boa capacidade de comunicação em alemão e inglês (Raffinerie Heide GmbH 2022b)

Mais uma vez, destaca-se que as habilidades digitais são fundamentais tanto para as vertentes de engenharia quanto para as operações no contexto de *power-to-x* (ver capítulo 4.6.6).

4.8.3 Hidrogênio para mobilidade

O hidrogênio está emergindo cada vez mais como uma fonte alternativa de energia e ganha importância também para a mobilidade através do uso da tecnologia de células a combustível. Apesar de sua menor eficiência em relação aos veículos elétricos a bateria, o hidrogênio permite uma maior autonomia devido a sua maior densidade de armazenamento. O acoplamento do setor também torna o hidrogênio adequado para outras aplicações nos setores da construção civil, eletricidade e aquecimento. O hidrogênio pode ser transportado/armazenado em forma liquefeita, comprimida ou convertida (amônia). Na Célula a combustível, a reação química do hidrogênio e oxigênio gera eletricidade que é utilizada para acionar o motor elétrico. Devido a seu baixo volume e longo alcance, a tecnologia do hidrogênio ou da célula a combustível é utilizada nos modos de transporte de carros, caminhões, trens, navios e aviões, sem fumaça e ruído de exaustão. Apesar das maiores perdas de conversão, a célula a combustível oferece algumas vantagens no equilíbrio sistêmico geral das emissões de CO₂, alcance e tempo de carga. (VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. 2021)

Transição de habilidades

Engenheiros, gerentes técnicos, desenhistas técnicos e técnicos são uma parte importante do processo de fabricação automotiva. Engenheiros e gerentes de engenharia constituem a maioria deste grupo e possuem formação de nível universitário. Os redatores e técnicos recebem treinamento principalmente de escolas profissionalizantes e técnicas.

Smith et al. 2017 identificou que as atuais capacidades de engenharia utilizadas para veículos com motor de combustão interna convencional provavelmente mudarão significativamente. As capacidades de engenharia mecânica se concentram menos em funções puramente mecânicas e mais no desenvolvimento de sistemas eletromecânicos, embora sistemas não relacionados ao acionamento, tais como sistemas de aquecimento e resfriamento, provavelmente exigirão as mesmas capacidades mecânicas utilizadas atualmente. Além disso, um número significativo de engenheiros já tem treinamento ou experiência prática nos aspectos relevantes dos sistemas. Novos elementos necessários em um sistema de veículo com célula a combustível incluem a estas e alguns sistemas associados de sensoriamento e controle. Na manutenção e reparo de veículos, as mudanças mais significativas serão nas habilidades necessárias para solucionar problemas, reparar e manter os sistemas do trem de força. Entretanto, a modularização de componentes-chave como baterias, pilhas de célula a combustível e conversores de energia pode reduzir a quantidade de retreinamento necessário. Semelhante à fabricação, a manutenção de veículos híbridos proporcionará oportunidades para desenvolver novas habilidades de reparo e manutenção. Entretanto, o treinamento de segurança será necessário devido ao uso de hidrogênio e sistemas elétricos de alta tensão. (Smith et al. 2017).

Os trabalhadores de fabricação, construção, serviços automotivos e reparos, técnicos, atendentes de abastecimento de combustível e fornecedores de combustível hidrogênio serão educados em escolas profissionalizantes e técnicas. De acordo com (Smith et al. 2017) os empregos serão significativamente afetados na transição para veículos movidos a células a combustível com hidrogênio. As habilidades de informática, o conhecimento dos sistemas elétricos e a capacidade de usar equipamento de diagnóstico computadorizado serão particularmente importantes para as habilidades da linha de montagem no futuro. Outros componentes necessários para completar o sistema de Célula a combustível exigem habilidades similares às necessárias para um motor a gasolina tradicional. O desenvolvimento de veículos híbridos criou um ambiente para o desenvolvimento de novas habilidades de fabricação. Por exemplo, linhas de produção dedicadas para sistemas de veículos híbridos exigem um amplo conhecimento de procedimentos, taxas de defeitos, pontos de desligamento e coordenação de linha.

A transição das necessidades de habilidades tanto para engenheiros quanto para não engenheiros dependerá da dinâmica dos novos desenvolvimentos tecnológicos no curso da conversão do hidrogênio. Cursos de educação continuada, oficinas e treinamento no trabalho são meios apropriados para reaprendizagem e aperfeiçoamento dos funcionários. (Smith et al. 2017).

Um exemplo de educação superior em tecnologias do hidrogênio em mobilidade é o treinamento **“Hidrogênio para a Mobilidade”** na Escola do FIP (*École Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs*) na França. O treinamento on-line é adequado para estudantes de mestrado, profissionais de transporte etc. O treinamento está disponível em inglês e **legendado em francês e consiste em três sequências principais (Escola IFP 2022):**

- **Métodos de produção de hidrogênio:** A primeira parte é sobre os métodos de produção de hidrogênio no contexto da transição ecológica. O foco está nos desafios e oportunidades potenciais para o uso do hidrogênio no setor de propulsão.
- **Motores de combustão a hidrogênio:** A segunda parte trata dos motores de combustão a hidrogênio e se concentra nas propriedades químicas do hidrogênio e sua influência na mistura, ignição e combustão, assim como os efeitos dessas propriedades no desempenho do motor. O funcionamento do motor e os desenvolvimentos tecnológicos necessários para a combustão do hidrogênio também são considerados.

- **Veículos a célula a combustível:** A terceira sequência diz respeito aos veículos a Célula a combustível (ver também capítulo 5.7.2). São descritas as diversas arquiteturas de veículos a Célula a combustível, assim como as de um veículo elétrico até as baterias. O funcionamento de uma célula a combustível e os diferentes tipos de células a combustível são introduzidos. Também são discutidos os cálculos para trabalhos elétricos baseados em energia química, tensão máxima, rendimento e perdas térmicas.

Para motoristas de caminhão e postos de abastecimento pessoais, o H2 requer algum conhecimento extra, mesmo que os princípios gerais do uso do GNL sejam muito semelhantes. As questões extras incluem o fato de que os sistemas de reabastecimento podem passar por um processo de congelamento relacionado à alta umidade do ar e à baixa temperatura resultante do H2 líquido. Além disso, o processo de reabastecimento pode causar ruídos desconhecidos e ameaçadores, de modo que o motorista do caminhão não fugirá esperando mal funcionamento e perigo explosivo. Em geral, os fornecedores a caminhões a Célula a combustível como a *FAUN Umwelttechnik* alemã oferecem treinamentos especiais para os usuários de seus veículos a fim de garantir uma operação segura e eficiente do sistema. Os cursos típicos de 1 dia incluem conhecimentos básicos de hidrogênio e segurança e questões específicas do veículo; o curso básico fornecido pela FAUN é chamado “O que as garagens e serviços de resgate devem saber e prestar atenção!” (*FAUN Umwelttechnik GmbH & Co KG* 2022).

5. ESTUDO FEITO PARA H2 PTX NO BRASIL

5.1 Metodologia

Com objetivo identificar demandas para a formação de profissionais para atuarem ao longo da cadeia de valor de atividades relacionadas ao hidrogênio verde e suas tecnologias no Brasil, foram realizadas entrevistas para identificar as percepções de profissionais familiarizados com o tema do hidrogênio em diferentes funções, campos de trabalho e instituições públicas e privadas. A estratégia metodológica adotada foi a de métodos mistos, utilizando uma abordagem quantitativa e qualitativa. As principais fontes de evidências primárias foram um questionário (quantitativo) e entrevistas semiestruturadas (qualitativas) realizadas com participantes que responderam ao questionário.

5.1.1 Situando o estudo

A cadeia de valor do hidrogênio considerada inclui matérias-primas, processos e tecnologias relacionadas à produção, distribuição, armazenamento e uso do hidrogênio em setores energéticos, industriais e de transporte, conforme apresentado na Figura 6

Insumos	Processos de produção	Armazenamento	Distribuição	Transporte	Uso
---------	-----------------------	---------------	--------------	------------	-----

Figura 6: Cadeia de valor do hidrogênio

O estudo apresentou uma abordagem inclusiva em termos de tipos de insumo, rotas de produção, possibilidades de armazenamento, distribuição, transporte e usos para o hidrogênio, não excluindo a *priori* nenhuma tecnologia relacionada aos diferentes processos de produção relacionados ao hidrogênio.

5.1.2 Seleção de amostra e procedimentos de coleta de dados

O público-alvo é de profissionais inseridos no desenvolvimento de campo do hidrogênio em três atuações distintas, a saber:

- Instituições de ensino e pesquisa:**

Grupo composto por professores, pesquisadores e gestores que atuam em universidades, SENAIS, Institutos Federais (IFs), centros de pesquisa, institutos tecnológicos e outras instituições de ensino.

- Empresas, Indústrias e Associações diretamente ou indiretamente relacionadas ao hidrogênio:**

Grupo composto por gestores, analistas e diretores que atuam em empresas ou indústrias públicas, privadas ou de capital misto; associações ou organizações sem fins lucrativos.

- Agências de governo e financiamento:**

Grupo composto por funcionários públicos com atuação em esferas municipal, estadual ou federal de governos, membros permanentes de agências de governo e gestores, diretores ou analistas de agências de financiamento público e privado.

Os potenciais participantes para comporem a amostra desta pesquisa foram prospectados a partir de contatos estabelecidos pela equipe executora do projeto, também foram prospectados participantes em empresas que atuam ou que possuem histórico em palestras e eventos no campo do hidrogênio ou áreas correlatas. Criou-se uma lista de potenciais participantes que foram contatados para responderem ao questionário, estabelecidos por meio de visitas presenciais, telefonemas, e-mails e mensagens via LinkedIn e WhatsApp.

Os participantes prospectados foram convidados a preencher um questionário denominado “Capacitação para Economia do Hidrogênio”. Sendo que, dentre os 403 respondentes, 165 informaram que não eram familiarizados com a temática do hidrogênio, ou não responderam a todas as perguntas, ou não se enquadravam no público-alvo, por isso, foram excluídos da presente pesquisa. Ao todo foram contabilizadas 74 participantes, os que informaram e-mail e que responderam ao questionário, que foram convidados a participar das entrevistas. Destes, 30 respondentes foram selecionados para a entrevista por terem atuação em indústrias afins ao tema, por ocuparem cargos de maior responsabilidade ou terem uma longa trajetória na área do hidrogênio no Brasil. A Figura 7 elucida a amostra selecionada para o questionário e entrevista da pesquisa.

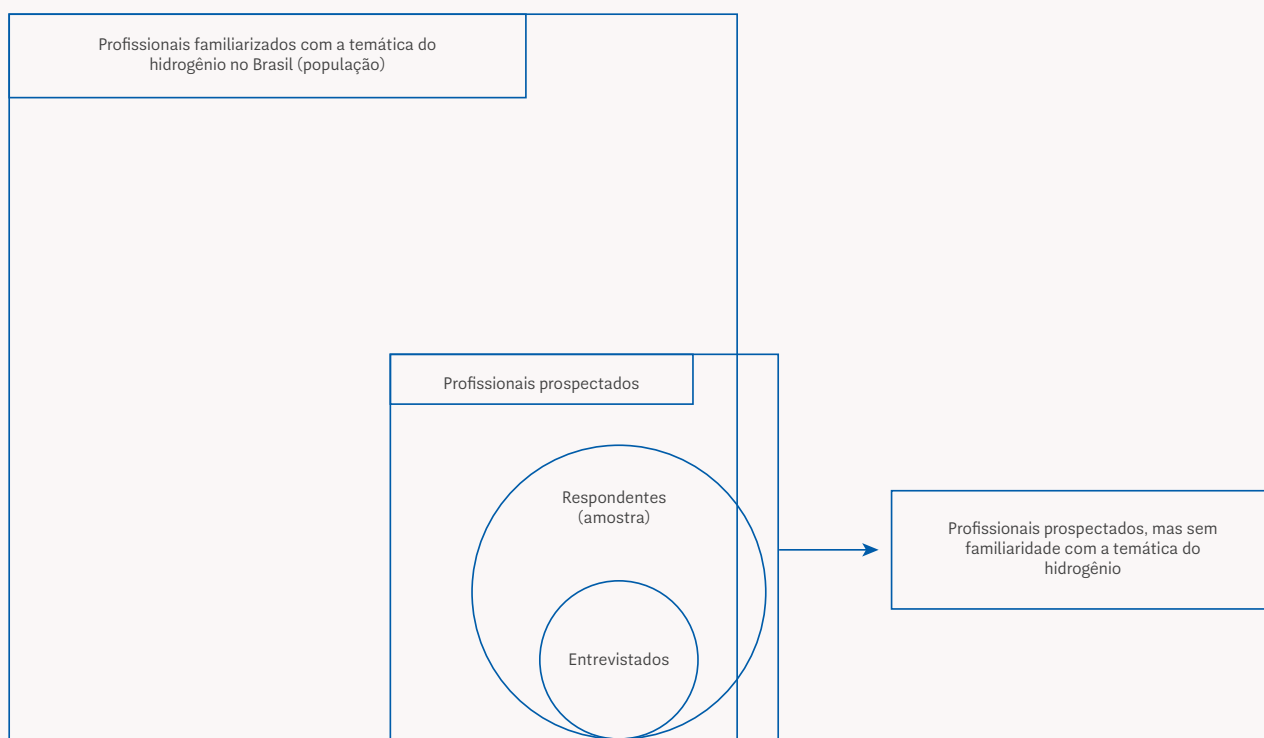


Figura 7: Relação entre população e amostra da pesquisa

5.1.3 Instrumentos de coleta de dados

A pesquisa contou com dois principais instrumentos de coleta de dados primário, um questionário e um roteiro de entrevistas semiestruturadas, conforme descritos a seguir.

5.1.3.1 O questionário

O questionário elaborado é constituído por 30 perguntas, que podem ser classificadas em três grupos. O primeiro grupo de perguntas tinha como objetivo identificar o participante (ex. nome, estado, formação). Ao fim da seção do primeiro grupo, os participantes eram filtrados dependendo da sua familiaridade com a temática do hidrogênio – participantes não familiarizados não prosseguiram com o restante das perguntas.

O segundo grupo de perguntas foi apresentado a todos os participantes familiarizados com o tema do hidrogênio. As perguntas eram relacionadas à opinião do participante em relação ao nível educacional, duração e temas de curso para qualificação de profissionais na área do hidrogênio. Ao fim dessa seção, os participantes eram filtrados de acordo com o seu grupo alvo.

O terceiro grupo de perguntas era específico para cada grupo alvo – instituições de ensino e pesquisa, empresas, indústrias ou associações, ou agências de governo ou de financiamento. A estrutura do questionário pode ser observada na Figura 8

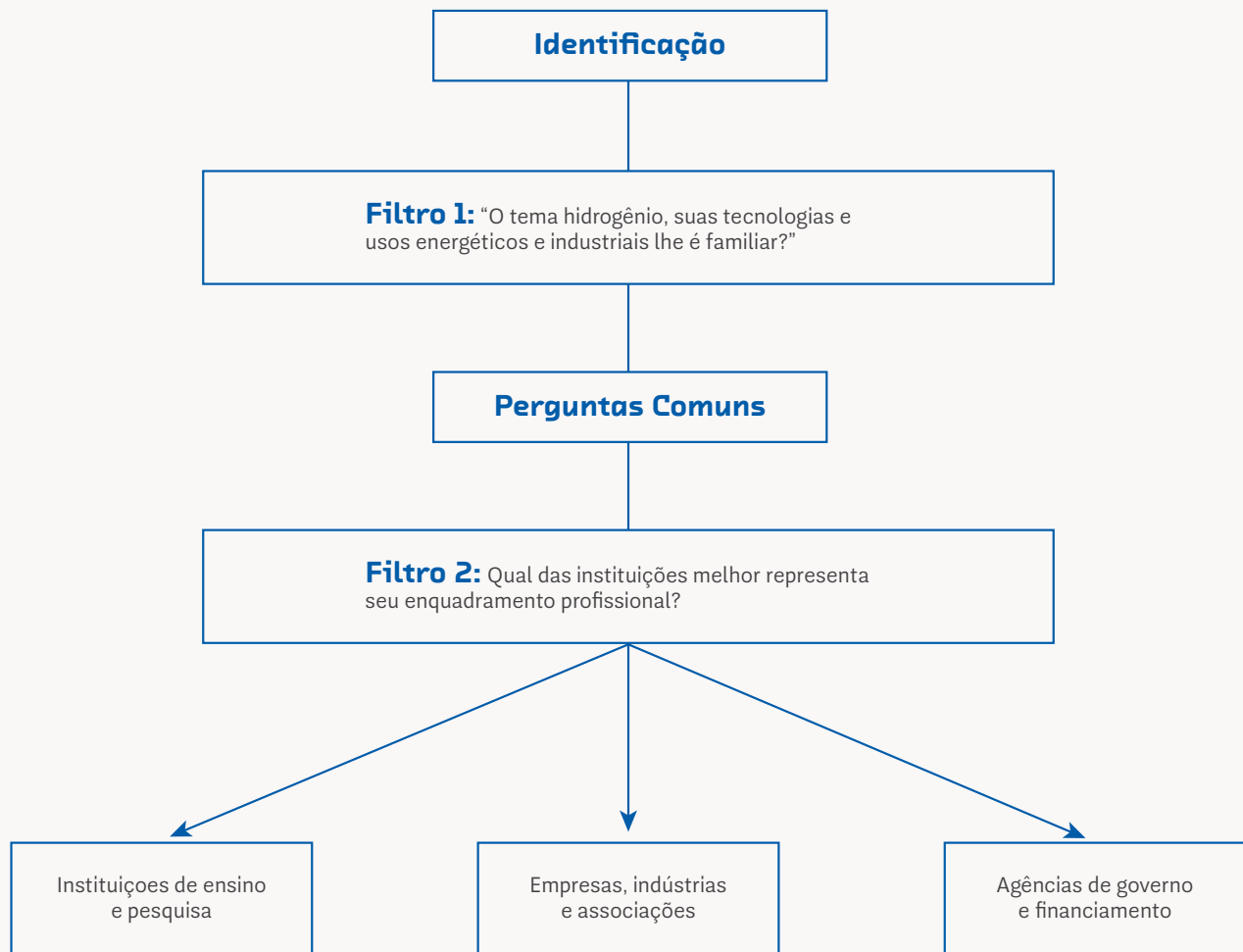


Figura 8: Estrutura Questionário

O questionário foi disponibilizado (Figura 9) em formulário do Google form.

The screenshot shows the Google Form titled "PT-x H2-Brasil estudo de capacidades". The form is in Portuguese and includes a description of the project, which is a cooperation between the German Federal Government and the Brazilian government. It aims to assess the capacity of different sectors to develop hydrogen technology. The form is divided into sections: "5.2 Resultados" (Results), "5.2.1 Questionário" (Questionnaire), and "5.2.1.1 Dados Gerais" (General Data). The "5.2.1.1 Dados Gerais" section includes a bar chart showing the distribution of participants by institution type: "Instituições de ensino e pesquisa" (146 participants), "Empresas, indústrias e associações" (77 participants), and "Agências de governo e financiamento" (15 participants).

Figura 9: Tela de abertura do questionário. O formulário completo consta no anexo 01.

5.1.3.2 As entrevistas

Os 238 respondentes do questionário correspondem a amostra da pesquisa. Dentre esses participantes, 30 foram selecionados para uma entrevista, que teve como principal objetivo aprofundar o grau de entendimento sobre os perfis profissionais esperados para atuar em diferentes atividades relacionadas à economia do hidrogênio e os tipos de cursos que deveriam ser ofertados para a qualificação desses profissionais. Priorizou-se para a entrevista, participantes com cargos de maior responsabilidade e/ou que tivessem uma longa trajetória na área no campo do hidrogênio no Brasil.

Durante as entrevistas, o entrevistado foi informado sobre a existência e conteúdo do projeto e, em seguida, lhe foram feitas as duas perguntas:

- Na sua opinião, quais os profissionais serão demandados para a economia do hidrogênio no Brasil;
- Quais cursos você acha que deveriam ser criados/fomentados para a formação desses profissionais.

Ao fim das entrevistas os entrevistados eram convidados a fazerem outros comentários sobre o futuro do hidrogênio no Brasil. As entrevistas tiveram duração média de 7 minutos e foram realizadas através de chamadas telefônicas ou pela plataforma virtual Google Meet.

5.1.4 Tratamento dos dados

Os dados foram tratados objetivando uma análise descritiva e comparativa entre os três grupos alvos da pesquisa. Buscou-se participantes ao longo das 5 macrorregiões do Brasil ou empresas e agências de governo e financiamento com atuações em diversos estados e localidades do país.

As entrevistas foram transcritas e os documentos analisados utilizando o método de análise de conteúdo. O código linguístico da presente pesquisa foi majoritariamente oral, advindo das falas dos participantes entrevistados, inteiramente transcritos. Documentações disponibilizadas pelos participantes e outras fontes complementaram as falas. O tipo de análise de conteúdo escolhido para a presente pesquisa foi a análise temática indutiva e as categorias foram estabelecidas com base nas mensagens codificadas. As categorias emergentes das falas dos entrevistados foram as seguintes:

Cadeia de valor do hidrogênio	Armazenamento Segurança
	Cadeia do Hidrogênio
	Infraestrutura
	Integração
	Segurança
	Setores diversos
	Sistemas de Energia
Fontes / processos produtivos	Biomassa
	Eletrólise
Mercado	Divulgação
	Exportação
	Indústria
	Mercado
	Normatização
	Regulação
	Viabilidade Econômica

Profissionais	Economistas
	Engenharia
	Engenharia, química
	Engenheiros
	Multidisciplinar
	Pesquisa
	Profissionais Existentes
	Profissionais Técnicos
	Profissionais Variados
Tecnologia	Domínio Tecnologia
	Escalonamento
	Fabricação Equipamentos
	Instalar Equipamentos
	Manutenção
	Pilha a Combustível
Transição Energética	Carbono
	Combustível
	Meio-ambiente
Usos não energéticos	Amônia
	Transporte

5.2 Resultados

5.2.1 Questionário

Em razão da lei de proteção de dados e da não autorização dos entrevistados disponibilizamos apenas os resultados a partir dos dados computados.

5.2.1.1 Dados Gerais

Os participantes da pesquisa foram divididos em três categorias: instituições de ensino e pesquisa (146 participantes); empresas, indústrias e associações (77 participantes); agências de governo e financiamento (15 participantes). A Figura 10 apresenta a categorização dos participantes.

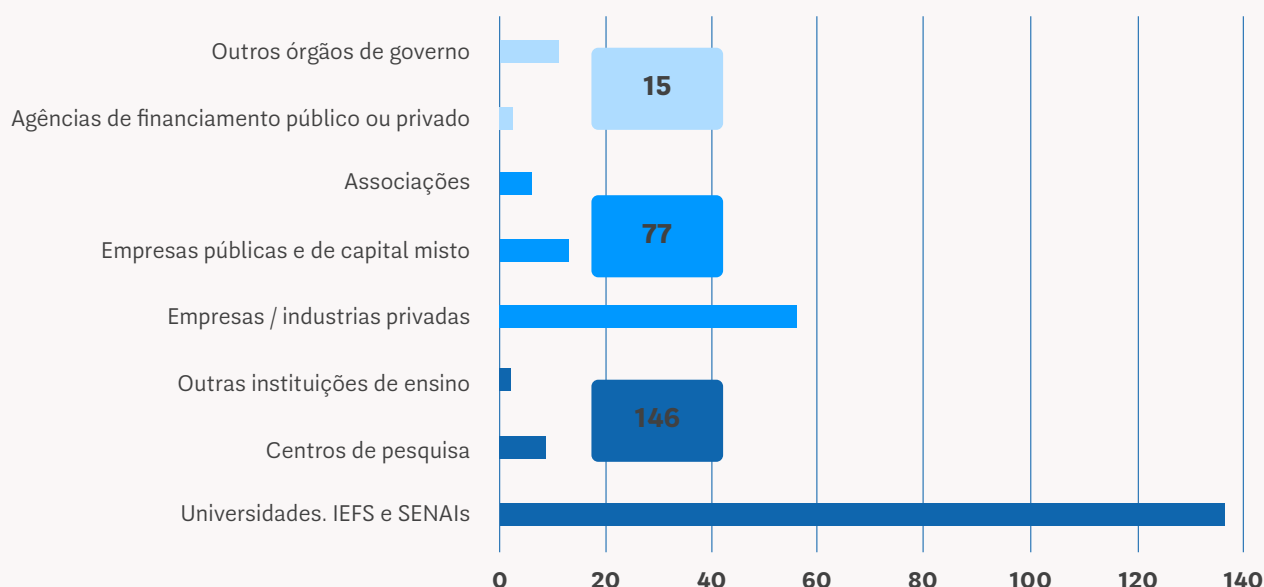


Figura 10: Caracterização da amostra por categorias de análise

A categoria instituições de ensino e pesquisa é a categoria com maior número de respondentes, sendo representada por diversas Universidades Federais, Institutos Federais de ensino, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAIs), Centros Federais de Educação Tecnológica e Centros e Institutos de Tecnologia.

Algumas empresas, associações, e agências de governo e financiamento participantes estão listadas abaixo.

ABEEólica	ABH2	ABIMAQ
ABiogás	ABSOLAR AES Sudamerica	
Agência Nacional do Petróleo,	Gás Natural e Biocombustíveis	Air Liquide
Air Products	Cemig	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
Centro de Tecnologia em Dutos - CTDUT	CIBiogás	Cevtec
Chesf	Cimento Apodi	CIPP
Companhia Siderúrgica do Pecém	Complexo Industrial Portuário de SUAPE	Cti Araucária
DSM TORTUGA	Edp	Eletronorte
Embrapa	Enel	FAMETRO
Parque Tecnológico ITAIPU	INPI	
Instituto de Pesquisas Tecnológicas de SP	Instituto Nacional de Tecnologia	IVECO Latin America
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento	Ministério da Ciência e Tecnologia	Ministério da Educação
Ministério de Minas e Energia	Ministério do Trabalho e Previdência	Neoenergia
Neuman & Esser Engenharia	Odebrecht	ONS
Petrobras	Proventos Engenharia Eólica	QAIR BRASIL
Raizen	Siemens Energy	SPIC Brasil
Superintendência Estadual de Meio Ambiente	thyssenkrupp	USINAZUL
Vale	Volkswagen	Yara

Foi desejada uma ampla diversidade de setores das empresas e diferentes esferas de governo e agências de fomento na pesquisa, uma vez que se buscou uma prospecção de demanda abrangente sobre capacitações de diversas áreas da cadeia do hidrogênio.

Grande parte da amostra possui entre 0 e 4 anos de envolvimento em atividades relacionadas ao hidrogênio. Essa composição variou pouco quando separada por classe, conforme a Figura 11.

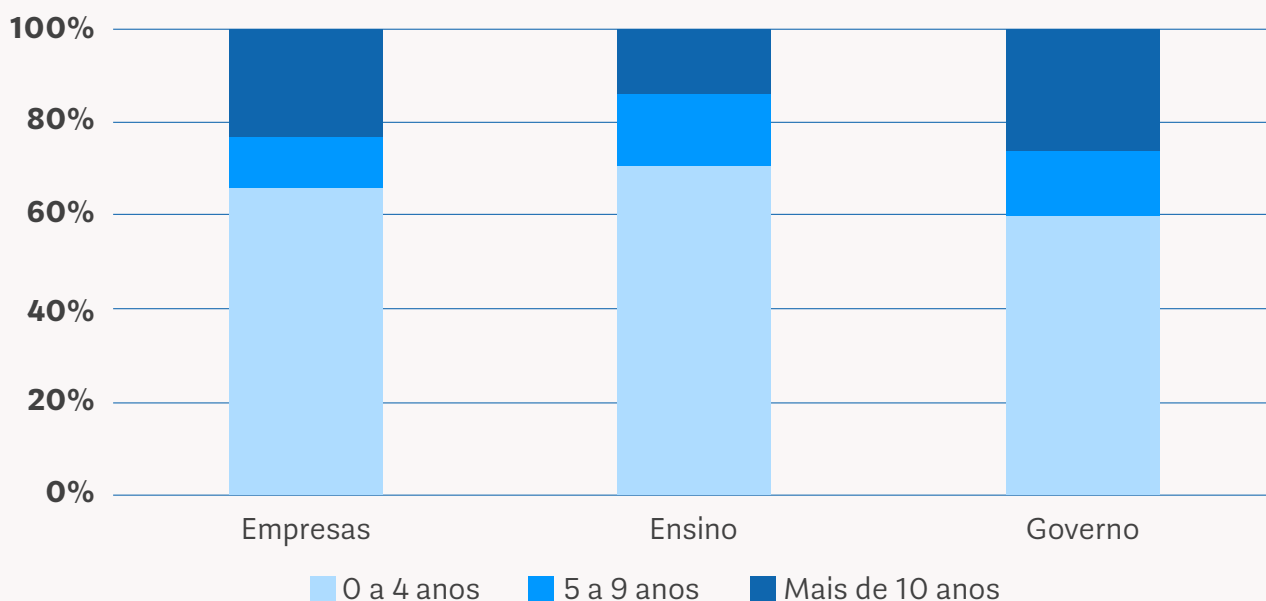


Figura 11: Tempo de envolvimento no campo do hidrogênio por categoria

É possível perceber que as categorias empresas e governo são as que apresentam uma maior porcentagem de participantes com mais de 10 anos de envolvimento no campo. Já as instituições de ensino e pesquisa são as com maior porcentagem de pessoas com 4 a 9 anos de envolvimento em hidrogênio. A predominância de poucos anos de envolvimento no campo também demonstra o crescimento do interesse pelo hidrogênio o Brasil nos últimos anos, evidenciando a necessidade da formação de recursos humanos qualificados para o setor.

Os participantes foram perguntados a respeito de suas preferências em relação ao nível dos cursos de capacitação na área do hidrogênio – nível técnico, graduação ou pós-graduação. Instituições de ensino e agências de governo e financiamento apresentaram uma preferência por nível técnico, enquanto empresas preferiram cursos de pós-graduação. O lado esquerdo da Figura 12 mostra as diferenças nas preferências de acordo com as categorias.

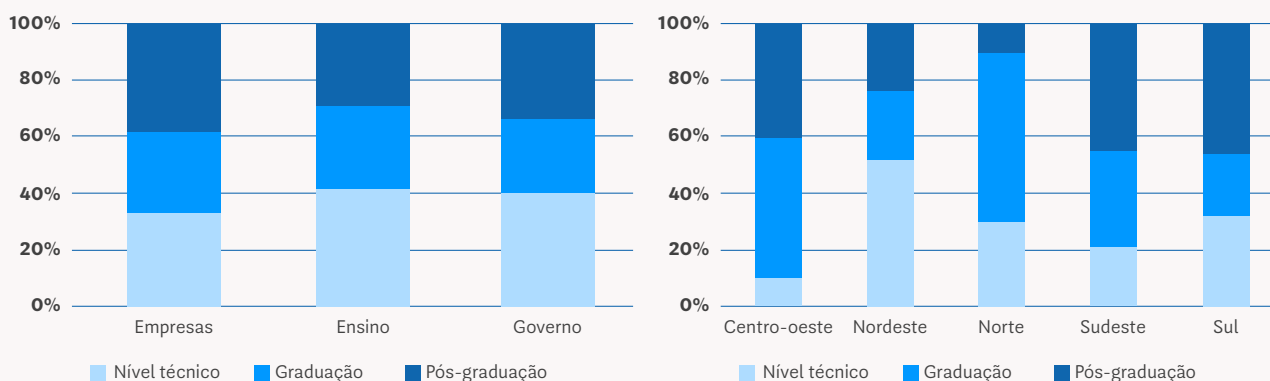


Figura 12: Preferências por nível do ensino por categorias e regiões

Quando comparados por regiões, pode-se perceber que os participantes das regiões sudeste e sul preferem cursos a nível de pós-graduação, enquanto a região nordeste, possui demandas por cursos técnicos conforme ilustrado ao lado direito da Figura 12. Pondera-se que as amostras por região apresentam divergências em suas composições. A região nordeste apresenta uma proporção maior de profissionais do grupo de ensino e pesquisa comparado às regiões sudeste e sul. Dentre esses profissionais do ensino e pesquisa, a amostra do nordeste apresenta uma proporção maior de profissionais de SENAIS, enquanto no sul e sudeste os profissionais correspondem a principalmente universidades federais. Essa diferença

na amostra das duas regiões influenciou as preferências diferentes em termos de regiões. Quando comparados por tipo de categoria, as preferências foram mais homogêneas.

Em relação a duração dos cursos, empresas, instituições de ensino e agências de governo e financiamento apresentam uma preferência predominante por cursos de curta ou média duração, conforme ilustrado ao lado esquerdo da Figura 13.

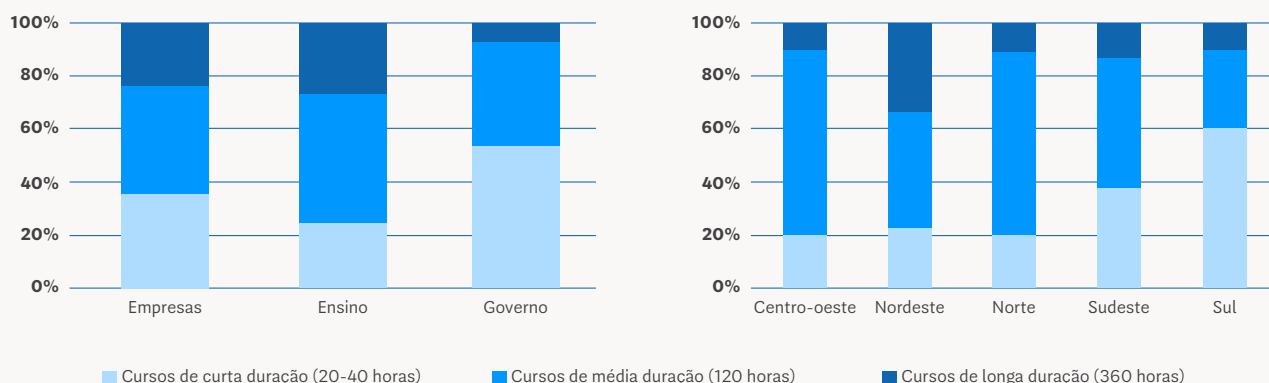


Figura 13: Preferência por duração dos cursos por categorias e regiões

A região sul apresenta uma maior preferência por cursos de curta duração e a demais regiões por cursos de média duração. É importante notar que na região nordeste cursos de longa duração também apresentam uma preferência importante. Isto corrobora com os tipos de cursos oferecidos pelos SENAI locais que são cursos de nível técnico de longa duração. Outra observação é que a duração em horas dos cursos pode estar concentrada em cursos intensivos ou espalhada em disciplinas acadêmicas.

Os participantes foram questionados quais seriam empecilhos para suas participações em cursos de capacitação na área do hidrogênio. A Figura 14 apresenta as respostas dos participantes.

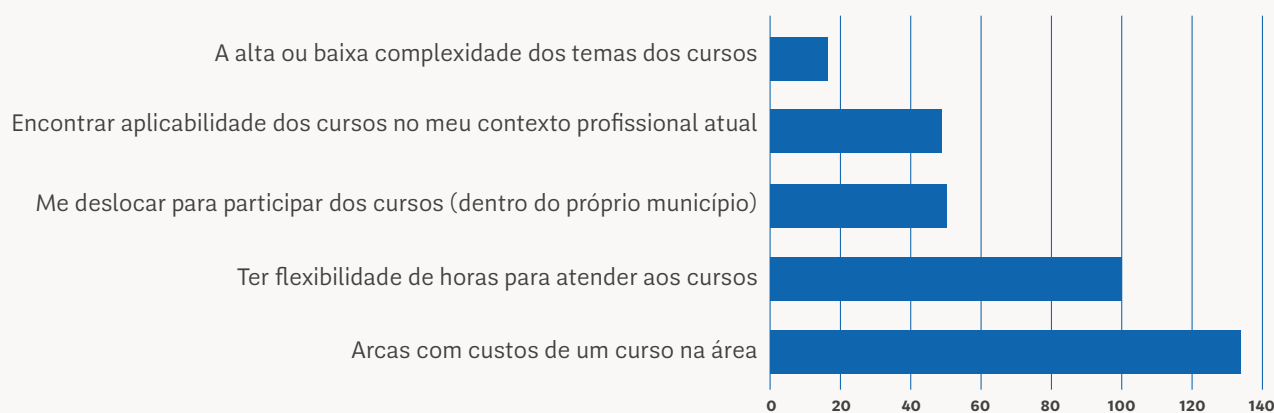


Figura 14: Empecilhos para realizar cursos na área de capacitação em hidrogênio

É possível perceber que o principal empecilho é arcar com os custos de um curso nesta área. O segundo principal empecilho é ter flexibilidade para atender aos cursos. Essa questão foi especialmente comentada por professores que afirmaram não ter disponibilidade para tal tipo de atividade. A alta ou baixa complexidade dos temas abordados pelos cursos não se mostrou um empecilho importante, recebendo apenas 18 respostas.

Os participantes foram perguntados sobre suas preferências sobre os temas dos cursos. A principal temática demandada foi de cursos sobre integração do hidrogênio em sistemas de energia ou outras aplicações industriais. A segunda principal demanda foi por cursos de viabilidade técnica e financeira de plantas de produção e/ou aplicações do hidrogênio. A Figura 15 apresenta os resultados das preferências sobre os temas de cursos por categoria.

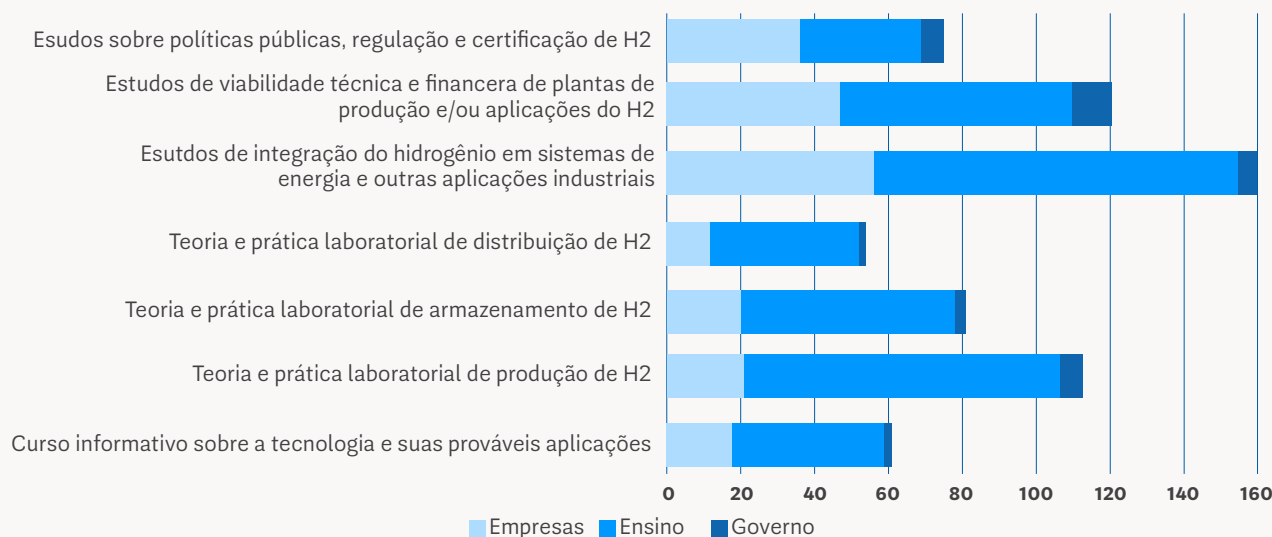


Figura 15: Preferências sobre temas de cursos por categoria

Pela Figura 15 é possível perceber que para instituições de ensino e pesquisa, a segunda principal demanda de curso é por teoria e prática laboratorial para produção de hidrogênio. Para empresas, há também uma preferência clara por cursos em políticas públicas, regulação e certificação do hidrogênio. Cursos relacionados a produção, armazenamento, distribuição de hidrogênio apresentam uma importância menor para esta categoria, possivelmente indicando uma baixa apropriação tecnológica.

5.2.1.2 Dados por Grupos

Conforme explicado na metodologia, o questionário também apresentou perguntas específicas para cada uma das categorias. Essas questões serão apresentadas a seguir.

Instituições de Ensino

Os participantes das instituições de ensino e pesquisa foram questionados se eles conhecem alguma iniciativa de cursos e capacitação na área do hidrogênio em suas instituições. A Figura 16 apresenta os resultados encontrados separados pelas macrorregiões brasileiras.

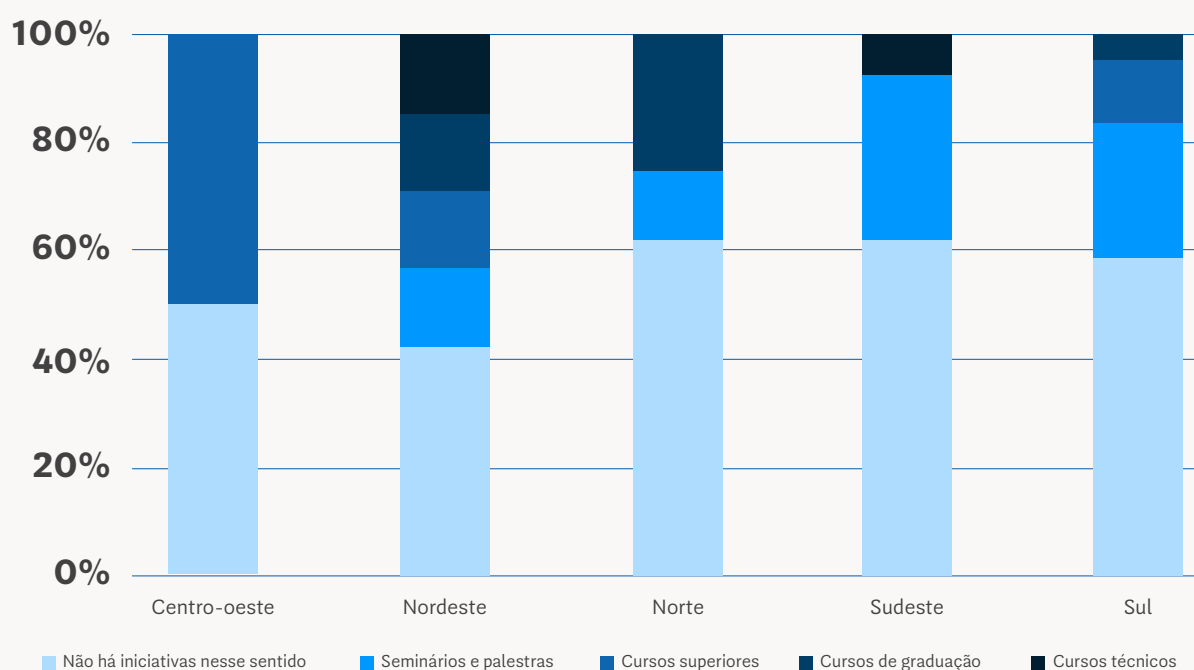


Figura 16: Conhecimento sobre iniciativas de cursos e capacitação na área do hidrogênio por região

Conforme pode ser observado na Figura 16 a região nordeste é a que mais apresenta iniciativas nesse sentido. Essas iniciativas são diversas, tais como seminários e palestras, cursos superiores, cursos de graduação e técnicos. Mais de 40% das instituições da região Sul, seguido da região Sudeste, também relataram ter iniciativas, principalmente seminários.

Aos participantes de instituições de ensino e pesquisa que afirmaram conhecer iniciativas de cursos e outras atividades de capacitação na área do hidrogênio, foi perguntado se empresas interagiram ou interagem com essas atividades. A Figura 17 demonstra que quase 40% dessas iniciativas não contam com a interação com empresas. A principal forma de contribuição é através da criação de cursos, seminário e eventos, seguidos de outras formas diversas de interação.

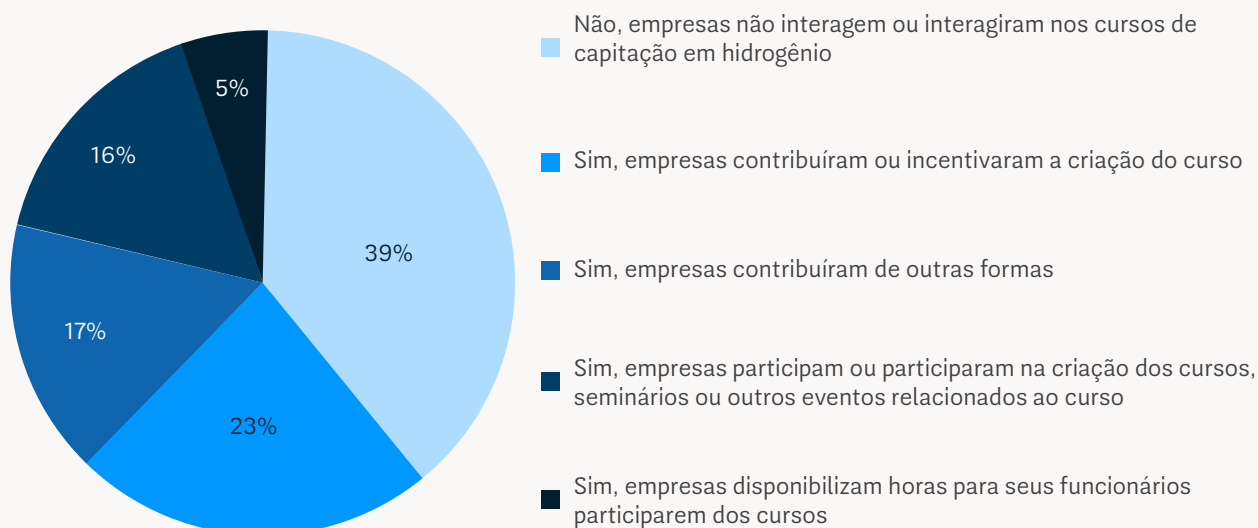


Figura 17: Participação de empresas em atividades de capacitação em instituições de ensino e pesquisa

Empresas

O perfil das empresas participantes da pesquisa pode ser observado na Figura 18.

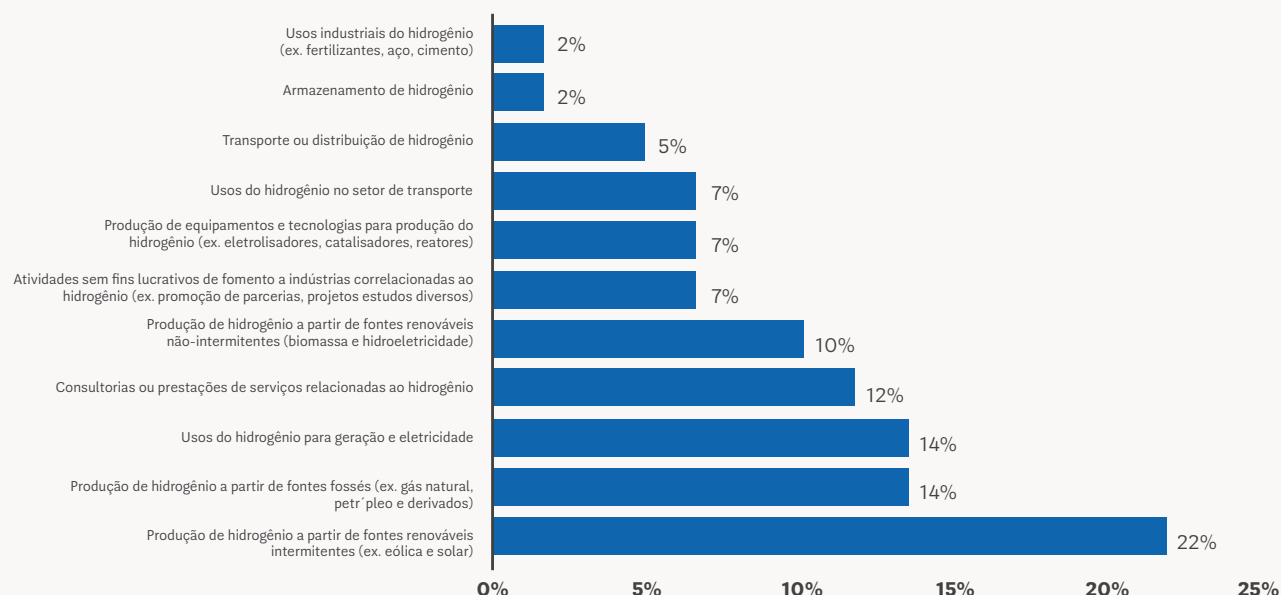


Figura 18: Perfil das empresas participantes da pesquisa

Empresas com atividades relacionadas à produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis intermitentes representam 22% da amostra, seguidas de empresas com atividades de produção de hidrogênio a partir de fontes fósseis e hidrogênio para geração de eletricidade. Empresas com atividades de consultoria e produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis não-intermitentes também representam partes significativas da amostra, 12% e 10% respectivamente.

Os participantes de empresas e associações foram perguntados sobre quais cursos seriam os mais relevantes para o desenvolvimento do hidrogênio em suas instituições. A Figura 19 apresenta as preferências dos participantes.

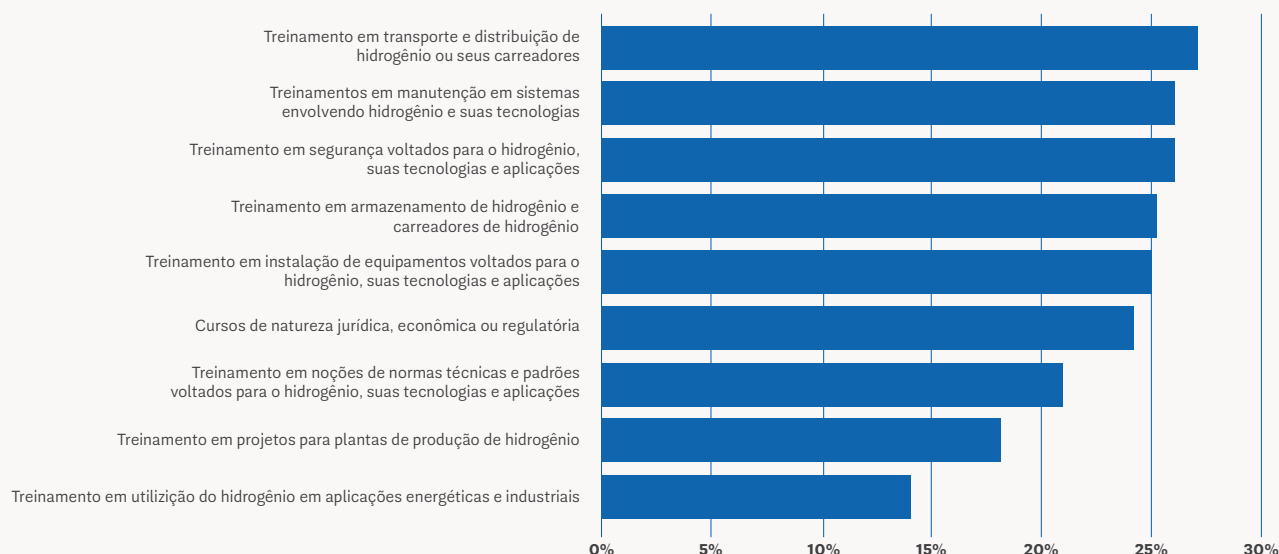


Figura 19: Cursos ou treinamentos para melhoria na produção ou serviços oferecidos pela sua empresa na área de hidrogênio

É possível perceber que as preferências estão bem distribuídas. Os treinamentos em utilização do hidrogênio em aplicações energéticas e industriais e treinamentos em projetos para plantas de produção de hidrogênio são os cursos menos preferíveis, indicando um possível conhecimento prévio das empresas nessas áreas. Por outro lado, cursos em transporte e distribuição de hidrogênio, manutenção e segurança apresentaram um relativo destaque.

Agências de governo e financeiras

Os participantes de agências de governo e financiamento foram perguntados sobre possíveis formas de atuação para promover a capacitação de profissionais na área do hidrogênio. A Figura 20 apresenta as principais atuações colocadas pelos participantes.

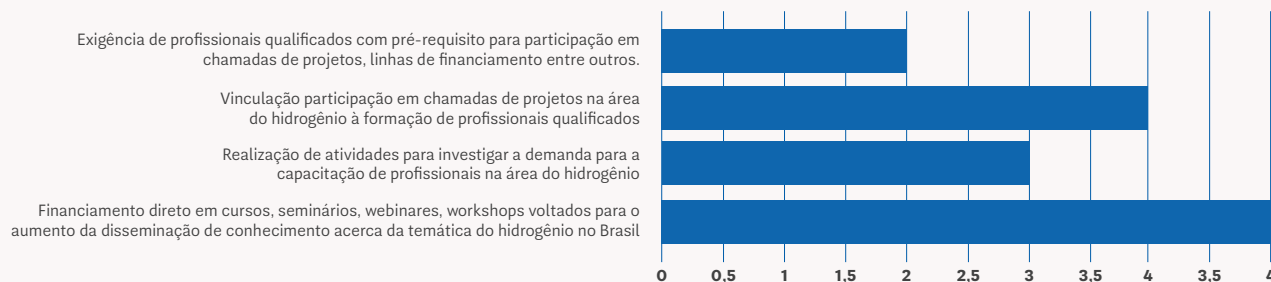


Figura 20: Formas de atuação para promover a capacitação de profissionais na área do hidrogênio

A principal forma para promoção de profissionais na área do hidrogênio é através de financiamento direto em cursos, seminários e outros eventos para promover a disseminação acerca da temática do hidrogênio no Brasil. A segunda principal forma é a vinculação da formação de profissionais qualificados às chamadas de projetos na área do hidrogênio.

Os participantes de agências de governo e financiamento foram questionados sobre suas opiniões sobre algumas afirmações apresentadas a seguir na Figura 21.

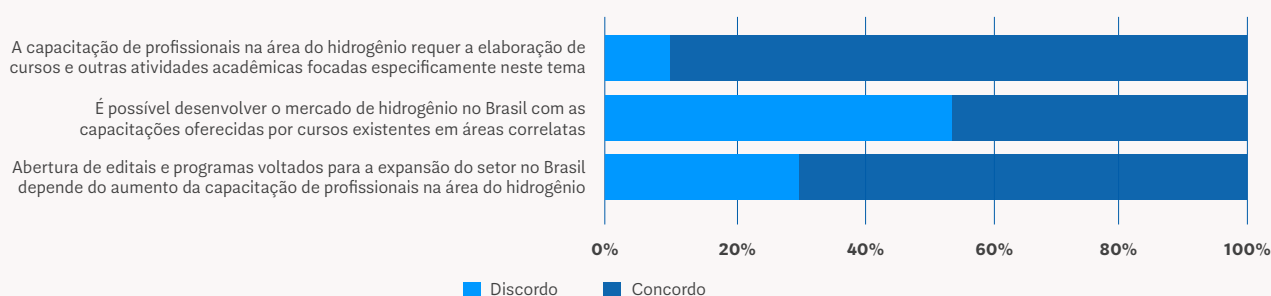


Figura 21: Opinião em temáticas específicas

É possível perceber que a maior parte dos participantes concordam que é necessário a elaboração de cursos que abordem a temática do hidrogênio e que a abertura de editais e programas para a expansão do setor também depende do aumento do número de profissionais qualificados na área. As respostas dos participantes não apresentaram um direcionamento claro em relação ao desenvolvimento desse setor através de cursos já fornecidos em áreas correlatas, indicando que as capacitações existentes podem ser um importante ferramental para a formação de recursos humanos na área do hidrogênio.

5.2.2 Entrevistas

As entrevistas foram outro instrumento de coleta de dados primários utilizados na presente pesquisa. Ao todo foram 30 entrevistados, com um foco em profissionais da categoria empresas e associações. A Tabela 1 discrimina a composição da amostra segundo as categorias entrevistadas.

Empresas e Associações	15
Instituições de ensino e pesquisa	11
Agências de governo e financiamento	4
Total	30

Tabela 6: Composição da amostra dos entrevistados

Os entrevistados foram questionados a respeito do perfil dos profissionais para trabalharem ao longo da cadeia do hidrogênio. Os entrevistados informaram que é necessário que os profissionais do campo tenham um amplo domínio das diversas tecnologias do setor para que o país possa se inserir na fabricação dos equipamentos para operarem em diversos campos. Foi também um amplo consenso que engenheiros serão necessários para o desenvolvimento do campo, mas que também profissionais capacitados para fazer análises econômicas, de viabilidade financeira e regulatórias são fundamentais para o crescimento do setor.

Outros tópicos também trazidos pelos entrevistados foi a importância de se aproveitar os rejeitos de biomassas para a produção de hidrogênio com emissões negativas a partir da captura de carbono. Nesse sentido, a rota tecnológica apresenta para o país um contexto extremamente favorável. Foi também ressaltada a importância de se qualificar profissionais capazes de integrar o hidrogênio na matriz energética brasileira de acordo com suas especificidades locais e profissionais para atuarem em políticas públicas para prover incentivos regulatórios e econômicos necessários para o uso energético do hidrogênio e outras aplicações industriais, como transporte e produção de amônia.



Figura 22: Mapa de palavras derivado das entrevistas

A Figura 22: Mapa de palavras derivado das entrevistas apresenta o mapa das palavras e expressões mais utilizadas pelos entrevistados. A frequência do uso das palavras é proporcional ao tamanho delas.

5.3 Da demanda por capacitações

À medida que o uso do hidrogênio como combustível ganha impulso e se torna um componente de muitas economias da nação, há uma necessidade crescente de identificação das habilidades e conhecimentos exigidos pelos trabalhadores que realizam atividades relacionadas ao hidrogênio.

Este documento, após a análise e levantamento das informações de diferentes países, considera as atividades no setor e qualifica algumas das competências essenciais necessárias para a força de trabalho emergente.

As competências são consideradas especificamente a partir da perspectiva de trabalho com hidrogênio em vez de outros gases, que na maioria dos casos têm padrões de competência bem desenvolvidos, muitos dos quais podem ser aplicados ao hidrogênio na indústria.

O documento se concentra na capacitação desde o nível superior, técnico, operador e transporte, tomando como base o nível do setor de educação e treinamento profissional existente, tais como engenheiros, técnicos, trabalhadores do comércio e trabalhadores de transporte. Por muitas décadas, o hidrogênio tem sido usado extensivamente nas indústrias de processo (por exemplo, refinarias e síntese de amônia) e a experiência mostrou que pode ser manuseado com segurança em aplicações industriais, desde que normas, regulamentos e melhores práticas apropriadas sejam seguidas.

O treinamento é relevante e contribuirá para o manuseio e uso seguro do hidrogênio em suas novas aplicações. Uma série de padrões de competência geral para o trabalho são apresentadas. Na Tabela 7 são apresentadas as atividades relacionadas ao hidrogênio e estas podem ser utilizadas para serem integradas nas estruturas de educação e treinamento vocacional existentes.

	Temas contemplados em formação existentes ou necessita de formação específica	
	Formação existentes	Formação específica
Unidade 1 – Requisitos para trabalhar na indústria do hidrogênio		
Unidades do Sistema Internacional (SI) para utilização de gás	Engenharia (graduação)	x
Fontes de energia e transferência de calor	Engenharia (graduação)	x
Leis combinadas de gás (Lei de Charles e Boyle)	Engenharia (graduação)	x
Inter-relação entre pressão, volume e temperatura	Engenharia (graduação)	x
Reguladores de pressão de operação	Formação em empresas	Segurança
Procedimentos/protocolos para lidar com eventos não planejados	Formação em empresas	Segurança
Requisitos relevantes de licenciamento/ regulamentação da indústria de hidrogênio		Direito; Economia (pós-graduação)
Processos relevantes de mitigação de riscos da indústria, incluindo controle de riscos e métodos de trabalho seguros	Engenharia	Curso técnico Segurança
Normas, diretrizes, códigos de prática e regulamentos relevantes do setor	Engenharia produção	Metrologia
Documentação relevante do local de trabalho	Curso técnico	Inglês
Políticas, procedimentos e instruções relevantes do local de trabalho	Curso técnico	Segurança
Requisitos para entrar na área de trabalho	Curso técnico	Segurança
Autoridades estatutárias e órgãos reguladores que operam na indústria de hidrogênio	Multidisciplinar	Direito; Economia (pós-graduação)
Princípios e práticas de energia sustentável	Engenharia (graduação)	
Unidade 2 – Realização de atividades básicas de trabalho na indústria de hidrogênio		
Seleção correta, operação segura, limpeza e armazenamento de materiais, equipamentos, ferramentas e dispositivos de medição relevantes da indústria de hidrogênio	Técnico mecânica, mecatrônica, química	Engenharia (disciplina graduação /pós-graduação)
Princípios e práticas energéticas ambientais e sustentáveis, incluindo técnicas para minimizar o desperdício	Engenharias ambiental, produção	
Perigos no local de trabalho	Curso técnico	

	Temas contemplados em formação existentes ou necessita de formação específica	
	Formação existentes	Formação específica
Substâncias perigosas (tóxico, prejudicial, corrosivo, irritante, oxidante, extremamente inflamável)	Química, Engenharia química	
Técnicas de produção de hidrogênio		Engenharias, Química (disciplina graduação /pós-graduação)
Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis – biomassas, eletrólise, fotólise		Engenharias, Química (disciplina graduação /pós-graduação)
Perigos ao trabalhar em espaços confinados	Curso técnico	Segurança
Especificações de trabalho e requisitos de trabalho	Curso técnico	Segurança
Verificações de qualidade e segurança	Curso técnico	segurança
Materiais relevantes da indústria de hidrogênio, planos, diagramas, desenhos e recursos, incluindo gráficos e tabelas		Química, Engenharias Química e de Materiais (disciplina graduação /pós-graduação)
Técnicas de armazenamento de hidrogênio		Engenharias, Curso técnico
Regulamentos, códigos e legislação relevantes da indústria de hidrogênio		Direito, Economia (pós-graduação)
Máquinas relevantes/planta/equipamento		Curso Técnico
Instruções relevantes do fabricante		Curso Técnico
Pessoa relevante/s para consultar para coordenar e finalizar o trabalho	Curso técnico	
Políticas e procedimentos relevantes do local de trabalho	Curso técnico	
Processos relevantes de mitigação de riscos, incluindo EPI relevantes, planos de segurança e cronogramas de trabalho	Curso técnico	
Unidade 3 – Políticas e procedimentos ambientais		
Causas de danos ambientais incluindo produtos químicos, óleo, contaminação da água, agentes cancerígenos, gases, poeiras, contaminação de resíduos e ruídos	Engenharias química, ambiental, produção, químicos	Segurança
Conformidade ambiental em um ambiente de trabalho da indústria de utilidades	Engenharias química, ambiental, produção	Segurança
Métodos de transporte como gás comprimido, como líquido ou via amônia ou naftésia	Engenharias Mecânica, Química	Segurança
Transporte de hidrogênio por gasoduto		Engenharias Mecânica, Metalúrgica, Química, Geologia

	Temas contemplados em formação existentes ou necessita de formação específica	
	Formação existentes	Formação específica
Equipamentos e materiais ambientalmente benéficos	Engenharias química, ambiental, produção	
Descarte de resíduos ambientalmente seguro	Engenharias química, ambiental	
Legislação ambiental relevante, regulamentos, normas, atos e códigos de prática	Direito, Economia	
Especificações relevantes do fabricante	Curso técnico	
Procedimentos relevantes para controlar e minimizar o impacto de um incidente ambiental	Curso técnico	
Documentação relevante do local de trabalho inclui registros e relatórios de incidentes	Curso técnico	
Políticas e procedimentos relevantes no local de trabalho, incluindo procedimentos de proteção ambiental no local de trabalho	Curso técnico	
Resposta a incidentes ambientais no local de trabalho	Curso técnico	
Papel dos órgãos reguladores no monitoramento de atividades ambientais, riscos e conformidade com incidentes	Curso técnico	
Unidade 4 – Aplicação de normas, códigos e práticas de saúde e segurança		
Extintor de incêndio apropriado para um determinado tipo de fogo e seu uso	Curso técnico	
Sinais de segurança de trabalho comumente usados	Curso técnico	
Hierarquia de medidas de controle de riscos	Curso técnico	
Perigos associados a ambientes de trabalho de fornecimento de hidrogênio		Curso técnico
Procedimentos usados para controlar riscos	Curso técnico	
Princípios de avaliação de risco	Curso técnico	
Princípios de manuseio manual seguro	Curso técnico	
Emergências no local de trabalho que representam uma ameaça à saúde e segurança e procedimentos adequados para uma evacuação de emergência	Curso técnico	

	Temas contemplados em formação existentes ou necessita de formação específica	
	Formação existentes	Formação específica
Produtos químicos no local de trabalho, incluindo: substâncias perigosas e bens perigosos, procedimentos de armazenamento seguro e finalidade e interpretação da folha de dados de segurança	Curso técnico	
Requisitos para trabalhar com gases, proteção contra incêndio e controle/extinção	Engenharia (graduação), Curso técnico	
Reatividade de hidrogênio com metais	Engenharia (graduação), Curso técnico	
Requisitos para trabalhar em uma área de risco designada	Engenharia (graduação), Curso técnico	
Normas relevantes do setor, legislação, diretrizes, códigos de prática e regulamentos		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Especificações relevantes do fabricante	Curso técnico	
Declarações relevantes do método de trabalho seguro /avaliações de segurança do trabalho ou processos de mitigação de riscos		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Requisitos legislativos relevantes		Direito (pós-graduação)
Acesso relevante à área de trabalho, autorizações e permissões/permits de isolamento	Curso técnico	
Documentação relevante do local de trabalho	Curso técnico	
Políticas e procedimentos relevantes do local de trabalho	Curso técnico	
Técnicas para verificar ferramentas e equipamentos para segurança e funcionalidade correta		Engenharia (graduação), Curso técnico
Técnicas para monitorar medidas de controle implementadas		Engenharia (graduação), Curso técnico
Trabalhando com segurança com eletricidade		Engenharia (graduação), Curso técnico
Trabalhando com segurança com gases		Engenharia (graduação), Curso técnico
Unidade 5 – Transporte e carregamento de hidrogênio		
Armazenamento de hidrogênio comprimido a bordo em tanques baseados na tecnologia cilindros de carbono		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Processos para transporte de hidrogênio gasoso por reboques de tubos		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)

	Temas contemplados em formação existentes ou necessita de formação específica	
	Formação existentes	Formação específica
Processo para transporte de petroleiros de hidrogênio líquido		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Pressões de armazenamento de hidrogênio		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Uso de condições criogênicas em tanques isolados		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Potencial de fervura durante o transporte		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Fragilização causada pela interação dos átomos de hidrogênio com as treliças cristalinas dentro do aço		Engenharias, Química (disciplina graduação / pós-graduação)
Fatores causadores de acidentes e incidentes de reboque/caminhão-tanque		Engenharias, Química (disciplina graduação / pós-graduação)
Efeitos da distribuição de peso no comportamento da carga e estabilidade do veículo		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Técnicas eficientes de condução e considerações para direção ecológica		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Fatores envolvidos na preparação da viagem		Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)
Fatores que podem causar atrasos e desvios de tráfego, e ações relacionadas que podem ser tomadas	Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)	
Estratégias de gestão da fadiga	Engenharias (disciplina graduação / pós-graduação)	
Como selecionar e usar equipamentos de proteção individual necessários, conforme as normas de saúde e segurança do trabalho	Curso técnico	
Procedimentos a serem seguidos em uma emergência e resposta a uma emergência usando um plano de resposta de emergência de transporte da empresa	Curso técnico	
Propriedades do hidrogênio		Engenharias, Química (disciplina graduação / pós-graduação)
Informações relevantes sobre bens perigosos para o uso de reboque/petroleiros de tubos	Engenharias, Química (disciplina graduação / pós-graduação)	

	Temas contemplados em formação existentes ou necessita de formação específica	
	Formação existentes	Formação específica
Legislação relevante e procedimentos de local de trabalho da indústria para o transporte de hidrogênio		Direito
Requisitos organizacionais relevantes, incluindo políticas e procedimentos	Curso técnico	
Estradas estaduais/territoriais relevantes e regras de estradas de autoridade de trânsito, regulamentos, requisitos de licença e licença		Direito
Procedimentos e regulamentos e procedimentos e regulamentos relevantes de saúde e segurança e meio ambiente relativos às operações de petroleiros		Engenharias ambiental, química e de produção
Técnicas e procedimentos para carregar e descarregar um reboque/petroleiro com segurança	Curso técnico	
Técnicas para entrega segura de hidrogênio em um site do cliente	Curso técnico	
Técnicas para identificar e mitigar continuamente riscos ambientais	Curso técnico	
Documentação do local de trabalho	Curso técnico	
Instruções operacionais e de condução no local de trabalho	Curso técnico	
Trabalhando em procedimentos de altura para motoristas de reboque/caminhão-tanque	Curso técnico	

Tabela 7: Tabela de descrição de capacitações. Elaboração própria tendo como referência "Competency Standards for Emerging Hydrogen Related Activities Richard Skiba"

6. CONCLUSÕES

O ambiente do hidrogênio verde

- O desenvolvimento dinâmico das economias de hidrogênio verde em todo o mundo oferece oportunidades promissoras de mercado e de emprego. Para se beneficiar ao máximo desse desenvolvimento, grandes partes da cadeia de valor do hidrogênio verde devem ser cobertas, incluindo a parte que representa a indústria de equipamentos (engenharia mecânica etc.).
- Devido à “gênese” característica da economia verde do hidrogênio de hoje, dificilmente existem aplicações comerciais escaláveis e de pleno direito. Portanto, a implementação da economia verde do hidrogênio não é uma mercadoria, mas requer estruturas e conhecimentos básicos.
- Como o hidrogênio tem uma longa história de aplicação e uso industrial, a parte inovadora é a geração de hidrogênio verde usando eletricidade a partir de Eletrolisadores alimentados por energias renováveis. Além disso, a integração do sistema (incluindo transporte e armazenamento, mesmo que haja vários dutos de hidrogênio existentes) e a ampliação, bem como novas aplicações/casos de negócios relacionados à descarbonização são campos inovadores para a economia do hidrogênio verde.
- A economia verde do hidrogênio não só necessita de estruturas industriais (infra) nas áreas mencionadas, mas também de habilidades complementares, qualificações e conhecimento.

O enquadramento geral

- Mesmo que o desenvolvimento das economias de hidrogênio verde esteja se acelerando, ainda não existe um mercado de trabalho correspondente que justifique carreiras profissionais específicas como “Técnico de hidrogênio”. O conhecimento necessário para instalar processos industriais tem que ser desenvolvido em coevolução com o progresso tecnológico, ampliando as carreiras existentes através de habilidades distintas de H2. A qualificação da mão-de-obra existente (“treinamentos de transição”) e a integração do conteúdo de H2 nos treinamentos de graduação existentes como “Técnico de Mecatrônica” é fundamental para um desenvolvimento adequado da mão-de-obra, atendendo às necessidades das economias de hidrogênio verde em estágio inicial.
- As medidas de Treinamento e Educação Vocacional têm que ser adaptadas ou desenvolvidas em um processo de cocriação com a indústria e suas exigências. Em uma primeira fase, módulos de treinamento de cerca de 20 a 40 horas de aprendizagem orientada (combinação de elementos teóricos e práticos de treinamento) parecem ser os mais adequados, permitindo que as empresas deem os primeiros passos rumo ao hidrogênio verde. Aspira-se a uma certificação reconhecida dos cursos/módulos.
- Como os módulos de treinamento adicionais requerem a entrada de várias disciplinas (química, direito, mecânica, eletricidade etc.), uma rede regional de H2 (treinamento) integrando uma variedade de indústrias/empresas deve ser criada. Tal rede não apenas fornece o conteúdo necessário e o interesse comum no desenvolvimento de habilidades da força de trabalho, mas é uma base valiosa para construir um ecossistema de H2 verde local/regional, incluindo institutos de IDT, escolas profissionalizantes (SENAs), provedores de serviços de mobilidade, fornecedores de energia etc. Estes atores são ambos: contribuintes e beneficiários da rede (de treinamento). Um bom exemplo para tal abordagem regional é dado pela escola vocacional em Sonneberg; um modelo interprofissional é delineado para a indústria siderúrgica e a implementação do DRI (integração do conhecimento fornecido pela indústria química).
- As redes regionais de treinamento resultantes - provavelmente específicas/focadas - podem ser usadas como centros de multiplicação de conhecimento, a fim de treinar treinadores vocacionais (abordagem de cluster).
- Importante observar que tanto o estudo internacional como o Nacional, feitos a partir de pesquisas e entrevistas apontam para uma necessidade global de capacitações para o mercado de H2 e PtX.

Cadeia de valor do hidrogênio

- É altamente recomendável do ponto de vista da política industrial cobrir o maior número possível de partes da cadeia de valor do hidrogênio. Isto inclui a gama completa de máquinas, equipamentos e sistemas que podem produzir eletrólise, sistemas de armazenamento e transporte etc., em nível nacional. Como o mercado global de

hidrogênio deverá crescer fortemente nas próximas décadas, uma grande fatia do mercado será realizada pelos equipamentos necessários para a produção. A fabricação nacional da tecnologia-chave do hidrogênio não é apenas uma questão de oportunidades econômicas, mas também de soberania tecnológica.

- A base de conhecimento para tal (grande) etapa tem que ser gerada pelas universidades com base nas carreiras existentes em química, ciência dos materiais, engenharia etc. As visões gerais apresentadas no capítulo 4.7 para fabricantes de eletrólise e engenheiros de células a combustível, redigem as habilidades e capacidades necessárias. O desenvolvimento de estudos específicos “tecnologias de produção de hidrogênio” (programas de mestrado) pode ser derivado de carreiras existentes e enriquecidas, por exemplo, em máquinas ou sistemas de energia. Para maiores informações, recomenda-se a cooperação internacional em pesquisa com universidades e institutos de IDT.
- A fim de impulsionar a criação de um núcleo industrial, devem ser apoiadas as iniciativas de arranque com foco em tecnologias de produção de hidrogênio e joint ventures com fornecedores de tecnologia existentes (internacionais).

Apoio à empresa

- Devem ser estabelecidos cursos gerais de 1 a 2 dias de duração a fim de dar aos representantes da empresa (nível gerencial) uma oportunidade de descobrir o potencial do hidrogênio verde e de abordar aspectos como as perspectivas de mercado. Há vários modelos e exemplos para seminários setoriais e seminários abrangentes para “conhecimento básico de hidrogênio” que se aplicam também para estudantes e “iniciantes absolutos”. Dependendo do setor, cursos de curta duração (20 a 40 horas de ensino orientado mais autoaprendizagem opcional) também podem cobrir a necessidade de treinamento de transição profissional (*up-skilling* - veja acima).
- A fim de apoiar as empresas de forma mais específica e prática, devem ser construídas capacidades de consultoria para estudos de viabilidade. Aqui, o Certificado de Estudos Avançados (CAS, ver capítulo 4.5.2) parece ser um modelo atraente para o desenvolvimento das habilidades necessárias. Este modelo não se limita a consultorias, mas se dirige também a empresas interessadas em criar internamente as capacidades necessárias.
- Se um CAS for muito exigente para a maioria das empresas e autoridades públicas, um conjunto de Nano graus (1 a 2 meses de duração) oferece um compromisso bem equilibrado entre as opções.

Um currículo de segurança consistente

- Uma parte muito significativa da cadeia de valor do hidrogênio verde requer conhecimento e qualificação de segurança específica para hidrogênio; um currículo de segurança consistente e modular é indispensável. Isto inclui, por exemplo, um módulo fundamental de aprendizagem orientada de 1 a 2 dias cobrindo as bases físicas e químicas do hidrogênio e uma visão geral dos aspectos gerais de produção, transporte, armazenamento e uso.
- Dependendo do caso específico do setor/uso, o módulo fundamental tem que ser complementado por conhecimentos e habilidades específicas do setor, seguindo as diretrizes existentes (Dahoe und Molkov 2006; Skiba 2020; *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.* (DGUV) 2021). É importante incluir treinamento prático, como sugerido, por exemplo, pelo Grupo de Competências de Energia e Utilidades 2021.
- Devido à importância universal das habilidades de segurança, uma abordagem internacional - possivelmente liderada pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) - deve ser adotada para desenvolver um currículo padrão global.

A produção de hidrogênio verde

- A produção de hidrogênio verde por plantas de hidrogênio baseadas em eletrólise é um processo altamente automatizado que requer pouca mão-de-obra, mas altamente qualificada; uma grande parte das habilidades está relacionada a habilidades digitais no controle e monitoramento do processo de produção.
- Para manutenção, revisão etc., os técnicos de manutenção da mecatrônica, mecânica e eletricidade devem ser treinados para realizar tarefas de rotina e resolução de problemas para manter as plantas em funcionamento. Na maioria dos casos, este será um treinamento no trabalho, combinando alguns módulos básicos de H2 (como segurança) e conhecimentos específicos da planta fornecidos pelo fabricante.
- Uma parte importante das habilidades e conhecimentos necessários será a integração da produção de hidrogênio verde nas estruturas existentes, levando em conta a volatilidade da energia regenerativa (eletricidade). Tal integração e estabilização dinâmica requerem habilidades digitais avançadas para medição, controle e direção dos sistemas.

7. REFERÊNCIAS

Auto Gewerbe Verband Schweiz (2022): Noções básicas de hidrogênio. Disponível online em <https://www.agvs-zs.ch/de/node/32203>, última verificação em 28.03.2022.

BA Regionaldirektion Niedersachsen-Bremen (ed.) (2021): Orientierungshilfe Bildungszielplanung zur Unterstützung bei der Erstellung der regionale, rechtskreisübergreifende Bildungszielplanung. Hanôver.

Bezdek, Roger H. (2019): A economia do hidrogênio e os empregos do futuro. In: *Renove. Energia Environ. Sustentar.* 4 (1), S. 1-6. DOI: 10.1051/rees/2018005.

Bovenschulte, Marc (2021): Hidrogênio como profissão. In: *Frankfurter Rundschau (FR)* 77, 09.08.2021 (183), p. 10. Disponível online em <https://www.fr.de/meinung/gastbeitraege/wasserstoff-als-beruf-90910674.html>, última verificação em 12.12.2021.

Agência Federal de Emprego (BA) (2022a): Químico. Conteúdo de atividades. Nuremberg (perfil BERUFENET). Disponível online em <https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index?path=null/kurzbeschreibung/taetigkeitsinhalte&dkz=1143>, última verificação em 22.04.2022.

Agência Federal de Emprego (BA) (2022b): Processo Technolog(s) Metal - Metal de Ferro/Aço. Conteúdo de atividades. Nuremberg (perfil BERUFENET). Disponível online em https://berufenet.arbeitsagentur.de/berufenet/faces/index;BERUFENETJSESSIONID=s1PagYKHvjV_F1XONUVPO1eR2BsdMVwUHNQ1IOPO-1rtuumjku-B!-974625820?path=null/suchergebnisse/kurzbeschreibung/taetigkeitsinhalte&dkz=130918&such=Stahl.

Cohen, Wesley M.; Levinthal, Daniel A. (1990): Capacidade Absortiva: Uma Nova Perspectiva de Aprendizagem e Inovação. Edição Especial: Tecnologia, Organizações e Inovação. In: *Ciência Administrativa Trimestral* 35 (1), S. 128-152.

Cummins Inc. (2020): Eletrólitos 101: O que são, como funcionam e onde se encaixam em uma economia verde. Em Colombo (EUA). Disponível unter <https://www.cummins.com/news/2020/11/16/electrolyzers-101-what-they-are-how-they-work-and-where-they-fit-green-economy>, zuletzt geprüft am 29.03.2022.

Dahoe, Arief E.; Molkov, Vladimir V. (2006): Sobre o desenvolvimento de um Currículo Internacional sobre Engenharia de Segurança de Hidrogênio e sua Implementação em Programas Educacionais. 16ª Conferência Mundial de Energia de Hidrogênio: WHEC 2006. Lyon (França), 13.06.2006. Verfügbar unter <https://www.cder.dz/A2H2/Medias/Download/Proc%20PDF/PARALLEL%20SESSIONS/%5BSO1%5D%20Safety/14-06-06/342.pdf>, zuletzt geprüft am 26.03.2022.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2021): Segurança do hidrogênio em oficinas. Berlim (Informações DGUV, 209-072). Disponível online em <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/265>, última verificação em 31.03.2022.

Universidade Internacional de Dresden (ed.) (2022): Studieninformation M.Sc.-Studiengang Wasserstofftechnologie und -wirtschaft. De medio expediente. Início: Abril de 2022. Dresden.

Efficientics – consultoria de segurança de hidrogênio (ed.) (2022): Treinamento de hidrogênio. Disponível online em <https://www.wasserstofftraining.de/>, última verificação em 03.05.2022.

Enapter (ed.) (2020): Gerador manual de hidrogênio do proprietário (35 bar) EL 2.1. Crespina (Itália). Disponível online em https://handbook.enapter.com/electrolyser/el21/downloads/ELE21-MAN-00001_REV05.pdf, última verificação em 28.03.2022.

Grupo de Habilidades energéticas e de utilidades (2021): Estrutura de Competência da Hy4Heat. Especificação de treinamento de transição de hidrogênio. Shirley (Reino Unido).

Energy Skills Queensland (Hg.) (2019): Indústria de Hidrogênio: Funções de Trabalho, Habilidades, Qualificações e Experiência. Relatório de Pesquisa Provisória. Toowong Queensland (Austrália).

FAUN Umwelttechnik GmbH & Co KG (ed.) (2022): PHEV - BEV - FCEV - Veículos: Quais oficinas e trabalhadores de resgate devem saber e prestar atenção! Osterhold Scharmbeck. Disponível online em https://faun.trainingsfinder.de/tm6/ldmdb/ttv2in/9e708341c4895eeee6786a9a9aef417f/erpttv2veranstaltung/5277/5277731/ttv2in_ttv2in_vthemenblatt_r6xXVq.

pdf, última verificação em 03.05.2022.

France Hydrogen (Hg.) (2021): Skills-trades do setor de hidrogênio. Antecipe-se para implantar com sucesso uma indústria estratégica. White Paper. Paris (França). Disponível unter https://s3.production.france-hydrogene.org/uploads/sites/4/2021/11/France_20Hydrog_C3_A8ne_Livre_20blanc_20Comp_C3_A9tences-m_C3_A9tiers_Final.pdf, zuletzt geprüft am 01.04.2022.

Academia Fraunhofer (ed.) (2022a): Energiewende praktisch – Basiswissen für Ihre Umstellung auf Wasserstoff. FRAunhofer IST. Disponível online em <https://www.academy.fraunhofer.de/de/weiterbildung/energie-nachhaltigkeit/Wasserstoff/basiswissen-wasserstoff.html>, última verificação em 11.04.2022.

Academia Fraunhofer (2022b): Torne-se pioneira do hidrogênio! Cursos de treinamento fraunhofer sobre tecnologias de hidrogênio. Munique. Disponível online em <https://www.academy.fraunhofer.de/de/weiterbildung/energie-nachhaltigkeit/Wasserstoff.html>, última verificação em 04.11.2022.

Fraunhofer IST (ed.) (2022): Nachhaltige Fabriksysteme. Disponível online em <https://www.ist.fraunhofer.de/de/kompetenzen/verfahrens-und-fertigungstechnik-fuer-nachhaltige-energiespeicher/nachhaltige-fabriksysteme.html>, última verificação em 03.04.2022.

Grimm, Veronika; Janser, Markus; Stops, Michael (2021): Nova análise de anúncios de emprego online: Competências para a tecnologia de hidrogênio já estão em demanda. Instituto de Pesquisa do Emprego (IAB). Nuremberg (IAB -KURZBERICHT, 11/2021). Disponível online em <https://doku.iab.de/kurzber/2021/kb2021-11.pdf>, última verificação em 12.12.2021.

Heinze Akademie (ed.) (2021): Expert*innen Qualifizierung Wasserstoffsysteme. Folheto de informações. Hamburgo. Disponível online em https://heinze-akademie.de/app/uploads/2022/03/Infolyer_Wasserstoffqualifizierung.pdf, última verificação em 31.12.2021.

Hochschulföderation Südwest (ed.) (2021): Master Hydrogen and Fuel Cell Technology (part-time), M. Eng. Manual do Módulo. Regulamentos de exame externo da Universidade de Ciências Aplicadas de Esslingen. Universidade Esslingen de Ciências Aplicadas. Disponível online em <https://cms.hfsw.de/assets/51d334b5-4337-4067-9512-89a167ec3ee2>, última verificação em 31.03.2022.

IFP School (ed.) (2022): Hidrogênio para Mobilidade 2022. Disponível online em <https://mooc.innovation.ifp-school.com/Minisite/home/227190#programme>, última verificação em 04.08.2022.

Agência Internacional de Energia (AIE) (Hg.) (2021): Net Zero até 2050 Um Roteiro para o Setor Global de Energia. Paris (Reportagem especial). Disponível unter https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf, zuletzt geprüft am 24.03.2022.

Escritório Distrital Sonneberg; Staatliche Berufsbildende Schule Sonneberg (ed.) (2019): Módulos de treinamento e educação superior em tecnologia de hidrogênio. Descrição do subprojeto do projeto conjunto H2-Well PEM4Heat financiado pela BMBF. Disponível online em https://sbbs-son.de/wp-content/uploads/2021/05/Teilvorhabenbeschreibung_PEM4Heat_SBBS_aktuell_3007_FINAL.pdf, última verificação em 01.02.2022.

Ludwig, Max; Lüers, Martin; Esben Hegnsholt, Markus Lorenz; Minjee, Kim; Pieper, Cornelius; Meidert, Katharina (2021): A Oportunidade Tecnológica Verde em Hidrogênio. Boston Consulting Group (BCG). Disponível online em <https://mkt-bcg-com-public-pdfs.s3.amazonaws.com/prod/capturing-value-in-the-low-carbon-hydrogen-market.pdf>, última verificação em 26.03.2022.

Merten, Frank; Scholz, Alexander; Krüger, Christine; Sim, Simone; Girad, Yann; Mecke, Marc; Goerge, Marius (2020): Avaliação das vantagens e desvantagens das importações de hidrogênio em relação à produção nacional. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH; DIW Econ GmbH. Wuppertal/Berlin. Disponível online em <https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/LEE-H2-Studie.pdf>, última verificação em 14.12.2021.

Müller, Nils; Coração, Gregor; Reichelt, Erik; Jahn, Matthias, Walther, Aniko (2019): produção de aço reduzida de CO2 através de redução direta baseada em eletrólise. In: Fraunhofer IKTS (Ed.): Jahresbericht 2018/2019. Dresden, pp. 48-49 https://www.ikts.fraunhofer.de/content/dam/ikts/downloads/jahresberichte/jb2018/32_CO2-reduzierte_Stahlproduktion_durch_elektrolysegest%C3%BCtzt_Direktreduktion.pdf.

Nationale Organization Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW GmbH) (ed.) (2021): Catálogo atual de medidas. Programa Nacional de Inovação Tecnologia de Células de Hidrogênio e Combustível (NIP). Berlin. Disponível online

em <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/12/Massnahmenkatalog-NOW-Beirat-Fortsetzung-NIP.pdf>, última verificação em 04.08.2022.

Escritório de Publicações da União Europeia (Hg.) (2019): Hidromassista Roadmap Europa. Um caminho sustentável para a transição energética europeia. Células a combustível e Empreendimento Conjunto de Hidrogênio 2. Bruxelas. Disponível online unter https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf, zuletzt geprüft am 25.03.2022.

PwC (ed.) (2022): National Hydrogen Skills and Training Analysis. Disponível online em <https://www.skillsforaustralia.com/hydrogen-2/>, última verificação em 01.04.2022.

Raffinerie Heide GmbH (ed.) (2022a): Engenheiro (m/f/d) de engenharia de processos como engenheiro de processos / tecnólogo (m/f/d). Oferta de emprego da Raffenerie Heide. Disponível online em <https://www.heiderefinery.com/karriere/stellenboerse?jh=bs7nhjmihm9pii8j4Od8x4ubcjn8z>, última verificação em 04.04.2022.

Raffinerie Heide GmbH (ed.) (2022b): Gerente de projetos (m/f/d) para projetos Power to X. Oferta de emprego da Raffenerie Heide. Disponível online em <https://www.heiderefinery.com/karriere/stellenboerse?jh=g9ueautpw8a5w34yy2irtoseit45hlh>, última verificação em 04.04.2022.

Singer-Brodowski, Mandy; Grapentin-Rimek, Theresa (2018): Resumo Executivo: Avançando na Transformação da Educação Profissional e na Formação para o Desenvolvimento Sustentável. Assessoria científica Programa de ação mundial ESD. Freie Universität Berlin. Berlin.

Skiba, Richard (2020): Padrões de Competência para Atividades Emergentes Relacionadas ao Hidrogênio. In: *Open Journal of Safety Science and Technology* (10), S. 42-52. DOI: 10.4236/ojsst.2020.102004.

Smith, Martin J.; Alabi, Oluwafisayo; Hughes, Nick; Dodds, Paul; Turner, Karen; Irvine, John T.S. (2017): O Impacto Econômico das Células de Hidrogênio e Combustível no Reino Unido. Uma Avaliação Preliminar baseada na Análise da substituição de Combustíveis e Veículos de Transporte Refinado. Hg. v. H2FC SUPERGEN. Universidade de Strathclyde, Universidade de St Andrews, University College London. Londres. Disponível unter http://www.h2fcsupergen.com/wp-content/uploads/2015/08/J5214_H2FC_Supergen_Economic_Impact_report_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 04.04.2022.

Sociedade para Gestão de Recursos Humanos (SHRM) (ed.) (2021): Descrição do trabalho: Engenheiro de Células a combustível. Disponível online em <https://www.shrm.org/resourcesandtools/tools-and-samples/job-descriptions/pages/fuel-cell-engineer.aspx>, última verificação em 04.04.2022.

TU Dresden (ed.) (ohne Jahr): Auf dem Weg zur Hochtemperatur-Energietechnik. Presidente da Tecnologia de Hidrogênio e Energia Nuclear. Disponível online em <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/wket/die-professur>, última verificação em 03.04.2022.

Departamento do Trabalho dos EUA (Hg.) (2022): Engenheiros de Células a combustível - 17-2141.01. O*NET OnLine / Centro Nacional de Desenvolvimento O*NET. Disponível unter <https://www.onetonline.org/link/summary/17-2141.01>, zuletzt geprüft am 03.05.2022.

Universidade de Oldenburg (ed.) (2022): Hidrogênio para especialistas e executivos. Disponível online em <https://uol.de/weiterbildung-wasserstoff>, última verificação em 22.04.2022.

VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (ed.) (2021): VDE Fact Check - Hidrogênio em Mobilidade. Disponível online em <https://www.vde.com/resource/blob/2078736/67b2718cb943d6b303ab226fdc97c9b4/vde-fact-check-hydrogen-in-mobility-data.pdf>, última verificação em 04.07.2022.

VDI Wissensforum (ed.) (2022): Crash Course Hydrogen: Produção, Uso, Aplicação, Tecnologias e Mercados. Düsseldorf. Disponível online em https://www.vdi-wissensforum.de/fileadmin/VDI_Wissensforum/Programme/FTP/O2SE512005_www.pdf, última verificação em 05.01.2022.

Wang, Anthony; Jens, Jaro; Mavins, David; Moulak, Marissa; Schimmel, Matthias; van der Leun, Kees et al. (2021): Analisando a demanda futura, a oferta e o transporte de hidrogênio. Hg. v. Espinha dorsal de hidrogênio europeu. Utrecht (Holanda). Disponível unter https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021_v3.pdf, zuletzt geprüft am 01.04.2022.

Wilhelm Büchner Hochschule (ed.) (2022): Weiterbildung em Wasserstofftechnologie im Fernstudium. Disponível online

em <https://www.wb-fernstudium.de/kursseite/wasserstofftechnologien.html>, última verificação em 01.05.2022.

Wurster, Reinhold; Schmidtchen, Ulrich (2011): DWV Wasserstoff-Sicherheits-Kompendium. Ed. por Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband. Berlim. Disponível online em https://www.dwv-info.de/wp-content/uploads/2015/06/Wasserstoff_kompendium.pdf, última verificação em 26.04.2022.

Report on the development of selected training initiatives in the field of Hydrogen and Fuel Cells. 29 December 2012.

The hydrogen economy and jobs of the future, Renew. Energy Environ. Sustain. 4, 1 (2019).

INTERNATIONAL HYDROGEN STRATEGIES, A study commissioned by and in World Energy Council Germany September 2020.

Hydrogen and Fuel Cells Career Map _ Department of Energy (DOE) <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-and-fuel-cell-technologies-office>, último acesso 10.03.2022.

MME/GIZ, Profissões do Futuro na Área de Energia e Implicações para a Formação Profissional, fevereiro 2021.

MME/EPE, Bases para a consolidação da estratégia Brasileira do Hidrogênio, Nota Técnica EPE-DEA-NT-003/2021, fevereiro 2021.

8. ANEXOS

8.1 Anexo 01 - Questionário

-----FIRST PAGE-----

Introduction:

Questões Gerais:

Nome:

Afiliação:

Estado:

Área de formação:

Filtro 1:

O tema hidrogênio, suas tecnologias e usos energéticos e industriais lhe é familiar?

- Sim
- Não (Fora do público-alvo)

Você tem experiência profissional nesta área ou em áreas correlatas?

- Sim
- Não

SECOND PAGE

Perspectiva sobre capacitação em H2

- 1)** Por quanto tempo você está envolvido (a) no campo do hidrogênio ou setores correlatos?
 - 0 - 4 anos
 - 5 - 9 anos
 - 10 anos ou mais
- 2)** Na sua opinião, qual o principal nível educacional que deverá ser fomentado para o desenvolvimento tecnológico e absorção de tecnologias do hidrogênio no Brasil?
 - Nível técnico
 - Graduação
 - Pós-graduação
- 3)** Na sua opinião, qual das seguintes áreas é a de maior relevância para capacitação?
 - Engenharias
 - Ciências exatas (ex. química, física, computação)
 - Ciências humanas e sociais aplicadas (ex. Economia, direito, administração)
- 4)** Na sua opinião, quais seriam as principais demandas para cursos de capacitação?
 - Curso informativo sobre a tecnologia e suas prováveis aplicações
 - Teoria e prática laboratorial de produção de H2
 - Teoria e prática laboratorial de armazenamento de H2
 - Teoria e prática laboratorial de distribuição de H2
 - Estudos de viabilidade técnica e financeira de plantas de produção/e/ ou aplicações do H2
 - Estudos sobre políticas públicas, regulação e certificação de H2
 - Outras capacitações, sugerir _____
- 5)** Na sua opinião, quais seriam empecilhos para a participação em cursos em capacitação na área do hidrogênio:
 - Aplicabilidade do curso
 - Custo dos cursos
 - Qualidade do curso
 - Carga horária
 - Flexibilidade de horas para profissionais empregados na indústria
- 6)** Você ou sua organização já realizou ou tem conhecimento da realização de capacitações na área de hidrogênio?
 - Sim
 - Não

6.1 Qual? _____

 - Não obrigatória
- 7)** Você ou seus colegas de instituição teriam interesse em realizar um curso de capacitação na área de hidrogênio?
 - Sim
 - Não

7.1 Qual o melhor formato deste curso?

 - Cursos de curta duração (20-40 horas)
 - Cursos de média duração (120 horas)
 - Cursos de longa duração (360 horas)

FILTRO 2

1) Qual das instituições melhor representa seu enquadramento profissional?

- Universidades
- Centros de pesquisa
- Outras instituições de ensino
- Agências de financiamento público ou privado (ex. BNDES, Fundações de Amparo à Pesquisa, Bancos privados)
- Outros órgãos de governo (ex. MME, EPE, ANP, MCTI)
- Empresas / indústrias privadas
- Empresas públicas e de capital misto (ex. Petrobrás, CEMIG)

-----THIRD PAGE-----

Universidades Ensino e Pesquisa

8) Qual iniciativa de qualificação de pessoal na área do hidrogênio existe na sua Instituição:

- Cursos técnicos
- Cursos de graduação
- Cursos superiores
- Seminários e palestras
- Não há iniciativas nesse sentido

8.1 Se sim, qual a área?

- -----

8.2 Há interações com empresas nos cursos de qualificação de pessoal na área do hidrogênio?

- Sim, empresas contribuíram ou incentivaram a criação do curso
- Sim, empresas disponibilizam horas para seus funcionários participarem dos cursos
- Sim, empresas participam ou participaram na criação dos cursos, seminários ou outros eventos relacionados ao curso
- Não, empresas não interagem ou interagiram nos cursos de capacitação em hidrogênio

-----FORTH PAGE-----

EMPRESAS

1) Quais as atividades relacionadas ao hidrogênio, suas tecnologias e uso que mais dizem respeito a sua organização:

- Produção de equipamentos e tecnologias para produção do hidrogênio (ex. eletrolisadores, catalisadores, reatores)
- Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis intermitentes (ex. eólica e solar)
- Produção de hidrogênio a partir de fontes renováveis não-intermitentes (biomassa e hidroeletricidade)
- Produção de hidrogênio a partir de fontes fósseis (ex. gás natural, petróleo e derivados)
- Armazenamento de hidrogênio
- Transporte ou distribuição de hidrogênio
- Usos do hidrogênio no setor de transporte
- Usos químicos do hidrogênio
- Usos do hidrogênio para geração e eletricidade
- Usos industriais do hidrogênio (ex. fertilizantes, aço, cimento)

2) Sua empresa comercializa hidrogênio ou suas tecnologias?

- Sim
- Não

2.1 Na sua opinião, quais cursos ou treinamentos poderiam refletir em uma melhora na produção ou dos produtos, serviços ofertados pela sua empresa na área de hidrogênio?

- Treinamento em segurança
- Treinamento em manutenção
- Treinamento em instalação
- Treinamento em armazenamento
- Treinamento em utilização
- Treinamento em transporte

2.1 Qual o grau de conhecimento dos seus clientes em relação às atividades abaixo: (pouco-muito)

- Produção do hidrogênio
- Estocagem e armazenamento
- Modernização da tecnologia
- Distribuição do produto até local de uso
- Normas técnicas e padrões (ISO, ABNT)
- Regulações do setor

3) Classifique os conhecimentos de acordo com sua dificuldade (1 mais difícil 3 menos difícil)

- Noções de procedimentos, normas e padrões
- Aplicações de procedimentos normas e padrões
- Emergências em caso de vazamento ou até sinistro

FIFTH PAGE

Instituições de Governo, Financiamento e Investimento

- 1) Qual a importância de assuntos relacionados ao hidrogênio, suas tecnologias e usos na sua instituição?
 - Alta
 - Média
 - Baixa
- 2) “Abertura de editais e programas voltados para a expansão do setor no Brasil depende do aumento da capacitação de profissionais na área do hidrogênio”
- 3) “É possível desenvolver o mercado de hidrogênio no Brasil com as capacitações oferecidas por cursos existentes em áreas correlatas”
- 4) “A capacitação de profissionais na área do hidrogênio requer a elaboração de cursos e outras atividades acadêmicas focadas especificamente neste tema”



Por meio da:

