

Segurança Operacional na Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono

Relatório



Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Grupo de Trabalho de Hidrogênio - Portaria nº 148/2022

Segurança Operacional na Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono

Relatório

v 1.0/maio2026





Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

Diretor-Geral

Artur Watt Neto

Diretores

Daniel Maia Vieira
Fernando Wandscheer de Moura Alves
Pietro Adamo Sampaio Mendes
Symone Christine de Santana Araujo

Coordenação do Grupo de Trabalho de Hidrogênio

Centro de Pesquisas e Análises Tecnológicas - CPT/SBQ

Grupo de Trabalho de Hidrogênio - Portaria nº 148/2022

Alex Rodrigues Brito de Medeiros (SBQ/CPT) (Coordenador), Cristiane Brito Costa (SBQ/CPT), Tiago Machado de Souza Jacques (DG), Adriana Nickel Lourenço (DG), Marina Abelha Ferreira (SPL) (Dir I), Renata Bona Mallemont Rebello (Assessoria) (Dir I), Raphael Neves Moura (STM) (Dir II) e Melissa Cristina Ponto Pires Mathias (Assessoria) (Dir II), Jackson da Silva Albuquerque (SBQ) (Dir III) e Bruna Rocha Rodrigues (Assessoria) (Dir III), Rosângela Moreira de Araújo (Assessoria) (Dir IV) e Heloíse Helena Lopes Maia da Costa (SEP) (Dir IV)

Subgrupo IV - Segurança Operacional na Produção de Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono

Daniela Goñi Coelho (Coordenadora), Alexandre Camacho, Carolina Rodrigues de Carvalho dos Santos, Erica Vanessa Albuquerque de Oliveira, Hugo Manoel Marcato Affonso, Johny Soares Correa, Juliana Ribeiro Vieira, Luiz Omena de Oliveira Filho, Márcio Mantoano de Souza, Michelle Maximiano Steenhagen, Moisés Vieira Pinto, Muriel Cortez Guerrero, Priscila Soares de Souza Domingues, Roberto Jones Saldys, Tiago Machado de Souza Jacques, Ubirajara Souza da Silva, Vinicius Tostes Tomé

Revisão Final

Daniela Goñi Coelho, Luiz Omena de Oliveira Filho, Moisés Vieira Pinto, Muriel Cortez Guerrero

Projeto gráfico

Superintendência de Comunicação e Relações Institucionais



Sumário

Sumário Executivo.....	7
1. Introdução.....	9
2. Objetivo.....	12
3. Aspectos de Segurança do Hidrogênio	15
3.1. Características e Riscos do Hidrogênio.....	15
3.1.1. Combustão.....	15
3.1.2. Pressão	17
3.1.3. Baixa temperatura	18
3.1.4. Fragilização por hidrogênio.....	18
3.1.5. Exposição.....	18
3.2. Gestão de Riscos.....	19
3.3. Incidentes	20
3.3.1. <i>Hydrogen Incident and Accident Database (HIAD)</i>	20
3.3.2. <i>H2Tools</i>	24
3.3.3. Incidentes reportados por agentes regulados pela Superintendência de Produção de Combustíveis (SPC).....	26
4. Experiência Internacional.....	29
4.1. Resumo e Comparações sobre a Experiência Internacional.....	29
4.2. Normativos de Segurança.....	33
5. O Contexto Nacional.....	35
5.1. Regulamentação de Segurança Operacional.....	35
6. Recomendações	42
6.1. Inclusão de ação regulatória na Agenda Regulatória da ANP	42
6.2. Adoção de regulação experimental no período transitório.....	42
6.3. Revisão do Regimento Interno da ANP	43
6.4. Revisão da resolução de comunicação de incidentes	43
6.5. Considerações finais sobre a estratégia regulatória	44
7. Conclusão	46
8. Referências.....	49



Anexo I: Relatórios e análises de incidentes.....	53
Relatório <i>Review of Hydrogen Accidents and Incidents in NASA Operations</i>	53
Relatórios de incidentes investigados pelo CSB.....	55
<i>Hydrogen Component Reliability Database (HyCReD)</i>	58
<i>Lessons Learned Bulletin No. 1 – Accidents Involving Hydrogen</i>	58
Anexo II: Normativos de Segurança	61
1. Códigos Nacionais dos Estados Unidos.....	61
2. Chile.....	62
3. Austrália	65
Anexo III: Experiência Internacional.....	67
1. ÁFRICA	67
2. EUROPA	67
2.1. Alemanha	69
2.2. França.....	70
2.3. Itália.....	72
2.4. Noruega.....	73
2.5. Reino Unido.....	74
2.6. Holanda.....	76
2.7. Dinamarca.....	77
3. AMÉRICA.....	78
3.1. Estados Unidos.....	78
3.2. Canadá.....	80
3.3. Chile.....	82
3.4. Colômbia	85
4. ÁSIA E OCEANIA.....	88
4.1. Japão	88
4.2. Coreia do Sul.....	89
4.3. China	90



1.

INTRODUÇÃO



Sumário Executivo

A promulgação da Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, instituiu a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e atribuiu à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) competências regulatórias abrangentes sobre a cadeia do hidrogênio no Brasil, incluindo a produção de hidrogênio sintético e a exploração do hidrogênio natural. Nesse contexto, a segurança operacional das instalações de produção assume papel central para assegurar a proteção da vida humana, do meio ambiente e do patrimônio, bem como para conferir previsibilidade e segurança jurídica ao desenvolvimento desse novo mercado, conferindo às futuras atividades a licença social para operar.

O Subgrupo IV – Segurança Operacional em Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono – foi instituído no âmbito do Grupo de Trabalho do Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) com o objetivo de analisar e aprofundar o debate técnico-regulatório sobre a gestão de riscos e a segurança operacional das atividades de produção de hidrogênio, subsidiando a futura atuação regulatória da ANP. O presente relatório constitui o principal produto desses trabalhos e foi concebido para apoiar, em especial, uma futura Análise de Impacto Regulatório (AIR) voltada à elaboração de um instrumento regulatório específico para o setor.

No desenvolvimento de suas atividades, o subgrupo realizou levantamento e análise de experiências internacionais, mapeou normativos técnicos relevantes, examinou o histórico de incidentes nacionais e internacionais envolvendo hidrogênio e avaliou o arcabouço regulatório brasileiro atualmente aplicável às atividades da cadeia do óleo e gás, como exploração e produção, refino, movimentação e transporte de petróleo, gás e derivados. Essas ações permitiram identificar boas práticas, lacunas regulatórias e alternativas de desenho institucional compatíveis com o estágio de maturidade do setor no Brasil.

Os trabalhos do subgrupo foram fortemente apoiados pelo projeto *"Capacity Building on Green Energy Risk Management in Brazil"*, conduzido em parceria entre a ANP e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Essa iniciativa, em execução no período de 2024 a 2026, tem como foco o fortalecimento das capacidades institucionais para avaliação e gestão de riscos associados às tecnologias de energia limpa, com ênfase no hidrogênio. Os resultados parciais do projeto, notadamente os webdiálogos temáticos com países que possuem experiência consolidada na regulação da segurança do hidrogênio, contribuíram de forma relevante para o alinhamento das análises do subgrupo às boas práticas internacionais e às recomendações da OCDE em matéria de regulação baseada em risco.

A análise da experiência internacional revela um cenário regulatório heterogêneo, no qual coexistem abordagens prescritivas, baseadas em desempenho e modelos híbridos. Destacam-se, no contexto europeu, os regimes estruturados a partir da Diretiva Seveso, que estabelece requisitos proporcionais à quantidade de hidrogênio armazenado, incluindo políticas de prevenção de acidentes graves, sistemas de gestão da segurança, relatórios de segurança e planos de emergência. Em outros países, como Estados Unidos, Canadá, Chile, Japão e Coreia do Sul, observa-se forte papel de normas técnicas específicas, como o NFPA 2 e códigos nacionais de segurança, além de exigências crescentes de análises de risco, sistemas de gestão e comunicação



obrigatória de incidentes. De forma geral, há convergência internacional quanto à necessidade de abordagens proporcionais ao risco, com especial atenção aos fatores de projeto, gestão e operação ao longo de todo o ciclo de vida das instalações. Nesse sentido, a principal conclusão do grupo foi de que, de forma geral, o modelo regulatório aplicado às instalações de produção de óleo e gás foi estendido às instalações de hidrogênio.

No âmbito nacional, o relatório evidencia que o arcabouço regulatório da ANP para segurança operacional, particularmente aquele estruturado em torno de regulamentos técnicos e do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), já incorpora instrumentos compatíveis com as exigências introduzidas pela Lei nº 14.948/2024, tais como análise de riscos, planos de gerenciamento e planos de ação de emergência. A experiência acumulada pela Agência na regulação de atividades de alto risco constitui, portanto, um ativo relevante que pode ser adaptado ao contexto das instalações de produção de hidrogênio, especialmente no período transitório anterior à edição de uma norma específica.

A análise dos bancos de dados internacionais de incidentes e dos registros nacionais demonstra que acidentes envolvendo hidrogênio estão frequentemente associados a falhas de projeto, seleção inadequada de materiais, deficiências nos sistemas de gestão, procedimentos operacionais e manutenção, reforçando a importância de uma abordagem regulatória baseada em sistemas de gestão da segurança e em requisitos de desempenho. No Brasil, apesar da presença histórica do hidrogênio em refinarias, os incidentes registrados no período analisado não resultaram em acidentes graves, o que indica a relevância dos instrumentos atualmente adotados, sem prejuízo da necessidade de seu aperfeiçoamento frente à expansão do uso do hidrogênio.

Diante desse conjunto de análises, o subgrupo conclui que a construção de um arcabouço regulatório específico para a segurança operacional da produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono é necessária e deve ser orientada por uma estratégia escalonada e baseada em risco. Recomenda-se, nesse sentido, a inclusão de ação regulatória específica na Agenda Regulatória da ANP, a adoção de mecanismos de regulação experimental no período transitório – com referência aos princípios do SGSO –, a revisão do Regimento Interno da Agência para explicitar as atribuições relacionadas ao tema e a atualização da norma de comunicação de incidentes, de forma a incluir explicitamente os agentes do setor de hidrogênio.

O relatório conclui que a adoção dessas recomendações permitirá à ANP exercer de forma eficaz suas novas competências legais, promovendo um ambiente regulatório seguro, previsível e alinhado às boas práticas internacionais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e seguro da indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil.



1. Introdução

A Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024 [1], institui a Política Nacional do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono e estabelece o Marco Legal do Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono. Nos artigos 11 a 14, a lei atribui à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a competência para regulamentar, autorizar e fiscalizar a cadeia de hidrogênio no Brasil — desde a exploração e produção, até o transporte, armazenamento, comercialização e importação/exportação. Além disso, prevê instrumentos regulatórios flexíveis, como “*sandbox* regulatório” e projetos piloto, até que normas específicas sejam estabelecidas, e confere à ANP prioridade nas autorizações para agentes que já produzem o hidrogênio.

Nesse contexto, a ANP passa a exercer papel estratégico na regulação e fiscalização das atividades relacionadas ao hidrogênio de baixa emissão de carbono, assegurando a observância de padrões técnicos, de segurança operacional e de proteção ambiental.

Insta destacar que a implementação do novo marco legal demanda a avaliação dos impactos sobre as atribuições institucionais da Agência, bem como sobre o arcabouço regulatório vigente, especialmente no que se refere às normas de segurança operacional aplicáveis às novas cadeias produtivas do hidrogênio.

Dessa forma, faz-se necessário que a ANP realize uma revisão técnica e normativa abrangente, com o objetivo de adequar seus instrumentos regulatórios às especificidades tecnológicas e de segurança operacional do setor, promovendo coerência regulatória, segurança jurídica e eficiência na transição energética nacional.

Em 19/10/2022, foi determinado por meio da Portaria ANP nº 148/2022 [2], em seu art. 3º, o estabelecimento de subgrupos para estudo, análise ou acompanhamento de matérias específicas relacionadas ao escopo do Programa Nacional do Hidrogênio - PNH2; e neste contexto, em 04 de novembro de 2024, por intermédio do Despacho CPT-ANP nº 1.255 [3], foi criado o Subgrupo IV – Segurança Operacional em hidrogênio de baixa emissão de carbono – que tem por objetivo debater e discutir os processos a serem implementados e adquirir ou ampliar os conhecimentos necessários para a execução das atividades regulatórias relativos à gestão de riscos e segurança operacional da produção de hidrogênio sintético e natural.

Conforme o Despacho nº 17/2025/SBQ-CPT/SBQ/ANP-DF [4], documento mais recente sobre o Subgrupo de Trabalho IV - Grupo de Trabalho (PNH2), as unidades organizacionais da ANP que compõem o grupo são as seguintes:

- Superintendência de Produção de Combustíveis (SPC),
- Superintendência de Segurança Operacional (SSO),
- Superintendência de Infraestrutura e Movimentação (SIM),
- Superintendência de Promoção de Licitações (SPL),
- Superintendência de Distribuição e Logística (SDL),
- Superintendência de Desenvolvimento da Produção (SDP),



- Superintendência de Fiscalização do Abastecimento (SFI) e
- Superintendência de Exploração (SEP).

De modo a cumprir o proposto, o subgrupo decidiu pela construção deste relatório que visa subsidiar uma futura Análise de Impacto Regulatório relativa à elaboração de um marco regulatório para as instalações de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono, a partir de diferentes rotas tecnológicas, e da exploração de hidrogênio natural no Brasil, considerando principalmente a segurança operacional destas atividades.

Em dezembro de 2024, deu-se início ao projeto *Capacity Building on Green Energy Risk Management in Brazil*, iniciativa entre a ANP e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) voltada ao fortalecimento das capacidades institucionais e técnicas para a avaliação e a gestão de riscos associados às tecnologias de energia limpa no contexto da transição energética. O projeto tem como escopo central ampliar o entendimento, entre autoridades reguladoras e demais partes interessadas, dos riscos inerentes às tecnologias emergentes de energia verde, com especial ênfase no hidrogênio. Busca-se, ainda, fomentar a construção de abordagens estruturadas de avaliação e gestão de riscos adaptadas à realidade brasileira, bem como promover a cooperação internacional e a troca de experiências com países membros e parceiros da OCDE, contribuindo para a convergência de boas práticas regulatórias e de segurança.

O cronograma do projeto previa sua execução entre 2024 e 2026, combinando ações virtuais e presenciais. Entre as principais atividades planejadas figuram a realização de webdiálogos temáticos, um seminário presencial no Brasil e uma missão técnica internacional, esta última prevista para junho de 2026. À época da elaboração do presente relatório, o projeto ainda não se encontrava concluído, não tendo sido realizados, até então, o seminário presencial no Brasil nem a missão internacional prevista.

Apesar disso, os resultados parciais já obtidos mostraram-se relevantes e foram incorporados aos trabalhos do Subgrupo IV. Em especial, os aprendizados decorrentes dos três webdiálogos realizados no âmbito do projeto contribuíram significativamente para o aprofundamento das discussões sobre riscos associados ao hidrogênio, boas práticas de segurança operacional e modelos de *frameworks* regulatórios. Esses webdiálogos contaram com apresentações e contribuições de diferentes países com experiência consolidada no tema, com destaque para França, Itália, Alemanha, Holanda e Austrália, cujas abordagens regulatórias e institucionais ofereceram referências importantes para a reflexão sobre o desenvolvimento de um arcabouço regulatório adequado ao contexto brasileiro.

Assim, ainda que incompleto no momento deste relatório, o projeto já se configura como um vetor relevante de aprendizado e alinhamento internacional, cujos desdobramentos deverão continuar a contribuir para a evolução das discussões sobre segurança operacional e gestão de riscos no setor de hidrogênio no Brasil.

Almeja-se que o presente documento possa ser usado como vetor orientativo para a implementação por parte da ANP de instrumentos regulatórios que apoiem o desenvolvimento célere e sustentável de uma indústria de hidrogênio de baixa emissão de carbono segura, para contribuir para a descarbonização do setor regulado e para o atingimento das metas de redução de emissões compromissadas pelo Brasil.



2.

OBJETIVO



2. Objetivo

As mudanças climáticas têm se intensificado nas últimas décadas como resultado do aumento das emissões de gases de efeito estufa associadas às atividades humanas, em especial à queima de combustíveis fósseis para geração de energia, transporte e processos industriais. Esse cenário tem impulsionado governos, instituições científicas e setores produtivos a adotarem estratégias de mitigação e alternativas para substituir o carbono fóssil como fonte primária de energia por vetores energéticos de baixa emissão, dentre os quais se destaca o hidrogênio de baixa emissão de carbono.

O hidrogênio se tornou prioridade na estratégia de energia e climática de diversos países, sobretudo, por prover uma alternativa para setores de difícil abatimento de emissões de carbono (*hard-to-abate*) e por se constituir também em um vetor de energia, possibilitando o armazenamento de energia e favorecendo o acoplamento do setor de energia aos setores de indústria e transporte. Mesmo nos transportes leves, o hidrogênio pode ter papel importante, trazendo mais uma alternativa tecnológica para o processo de eletrificação de veículos, diretamente, por meio de células a combustível ou, indiretamente, por meio de combustíveis sintéticos – *e-fuels* [5].

Atualmente, o hidrogênio já possui expressiva utilização industrial em escala global, sendo predominantemente produzido a partir de metano de origem fóssil. A adoção progressiva de alternativas de baixo carbono para substituir esse hidrogênio com alta pegada ambiental constitui um passo estratégico para a abertura e consolidação de novas tecnologias e mercados [6].

A produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono pode ser realizada por diferentes rotas tecnológicas e insumos [7], incluindo:

- Eletrólise da água alimentada por eletricidade de fontes renováveis;
- Uso de matérias-primas, como biocombustíveis, resíduos orgânicos ou industriais;
- Emprego de combustíveis fósseis acoplados a tecnologias de captura, utilização e armazenamento de carbono (CCUS);
- Aproveitamento de hidrogênio natural (geológico) extraído diretamente do subsolo.

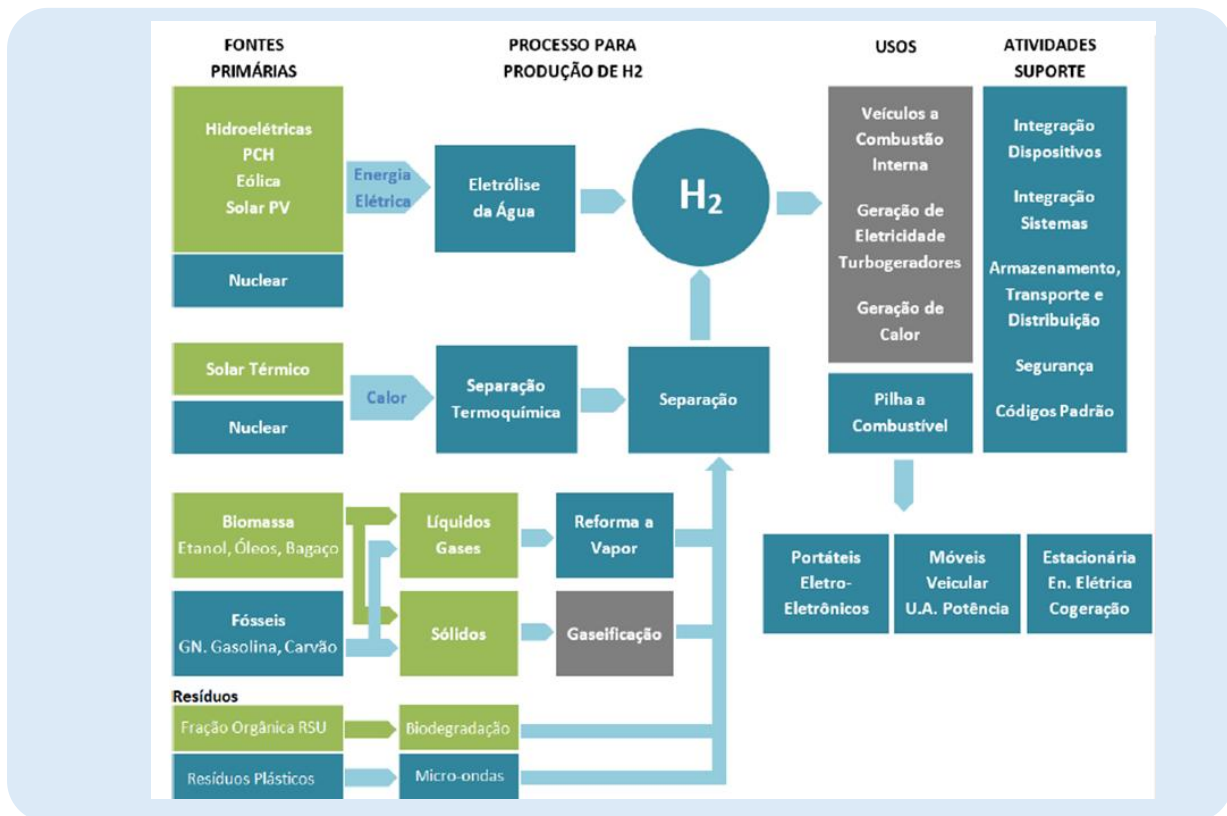
Essas rotas representam alternativas essenciais para reduzir emissões e diversificar a matriz energética associada à produção de hidrogênio. A figura 1 apresenta uma representação esquemática de rotas tecnológicas possíveis para obtenção de hidrogênio.

A Lei nº 14.948/2024 alterou dispositivos da Lei nº 9.478/1997 e incumbiu à ANP a competência regulatória em temas relativos ao hidrogênio, incluindo a de regular, autorizar e fiscalizar as atividades relacionadas à produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono, bem como à exploração e produção de hidrogênio natural no território nacional.

A Lei ainda definiu como “hidrogênio de baixa emissão de carbono” aquele cuja emissão de gases de efeito estufa (GEE), na análise do ciclo de vida, seja menor ou igual a 7 kgCO₂ equivalente/KgH₂.



Figura 1 – Esquemático das rotas tecnológicas de produção de hidrogênio (Programa Nacional do Hidrogênio – PNH2, MME, 2021)



Assim, este relatório objetiva, dentro do escopo das rotas tecnológicas aplicáveis para produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono (<7 kgCO₂ eq./KgH₂), trazer um panorama regulatório internacional da segurança nas atividades de produção, a fim de nortear futuras propostas de regulamentação a serem editadas pela ANP.

Nos capítulos deste relatório serão abordadas experiências internacionais em países da América, Europa, Ásia, África e Oceania para identificar as melhores práticas regulatórias na produção e no gerenciamento da segurança da indústria.

Serão descritas as principais características e riscos relacionados à produção e armazenamento do hidrogênio, suportado pelo histórico de incidentes advindos de bancos de dados nacionais e internacionais, para o caso do hidrogênio sintético.

O arcabouço regulatório nacional para autorização de instalações do setor regulado pela ANP também é apresentado.

São levantados ainda os principais normativos de segurança existentes que podem compor uma base de normas e boas práticas relativas à segurança de instalações de hidrogênio.

Por fim, este estudo apresentará recomendações para a futura regulamentação e considerações finais.



3.

**3. ASPECTOS DE
SEGURANÇA DO
HIDROGÉNIO**



3. Aspectos de Segurança do Hidrogênio

Nesta seção, serão abordados os principais aspectos relacionados à segurança operacional das instalações onde ocorre o manuseio de hidrogênio, os quais subsidiarão as análises apresentadas neste relatório.

3.1. Características e Riscos do Hidrogênio

O hidrogênio possui diversas propriedades que trazem riscos às instalações e à vida humana nas quais o gás é produzido ou armazenado. O Relatório Técnico ABNT ISO/TR 15916:2010 - Considerações básicas para a segurança dos sistemas de hidrogênio - categoriza e prioriza os principais riscos associados a sistemas de hidrogênio a seguir:

- a) combustão;
- b) pressão;
- c) baixa temperatura;
- d) fragilização por hidrogênio; e
- e) exposição.

3.1.1. Combustão

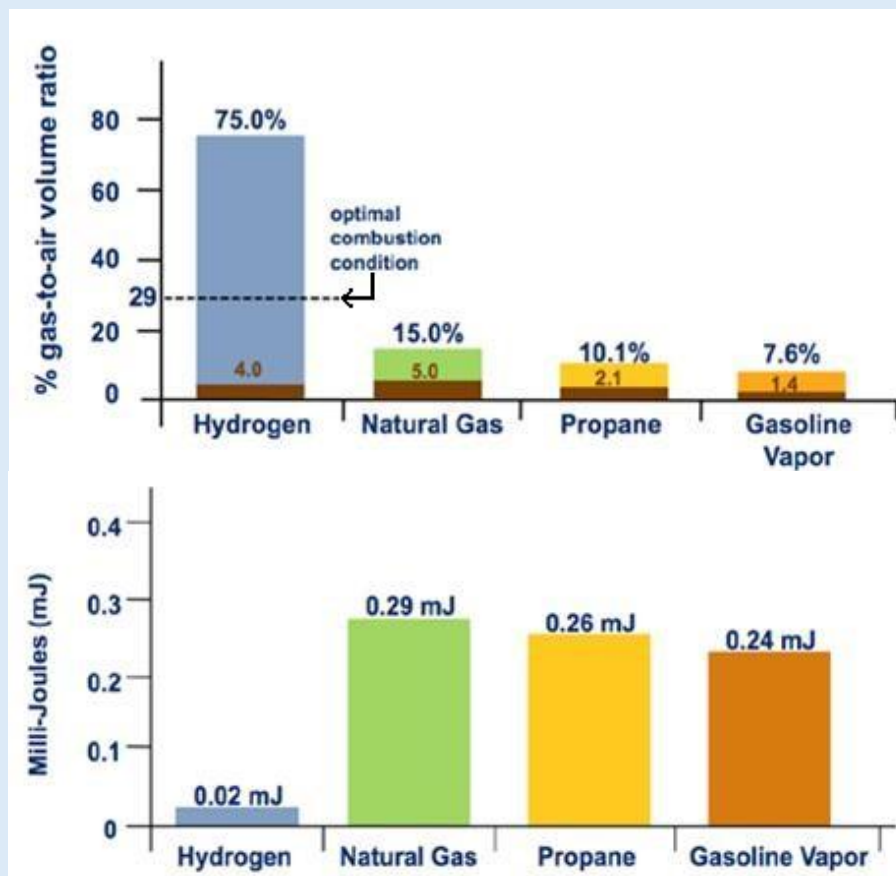
O hidrogênio é um gás inflamável, que possui uma faixa de inflamabilidade (4% a 75% em volume) muito ampla em comparação com outros combustíveis. A concentração de hidrogênio pode facilmente atingir o limite inferior de inflamabilidade (4%) se houver um vazamento em um espaço confinado sem ventilação.

A energia de ignição do hidrogênio, por sua vez, é inferior quando comparada a outros combustíveis. Em condições ótimas de combustão (mistura de 29% de hidrogênio no ar), a energia de ignição é de 0,02 mJ, o que significa que basta uma pequena faísca para ignitar a mistura.

O gráfico abaixo compara a faixa de inflamabilidade e a energia de ignição do hidrogênio às do gás natural, propano e vapor de gasolina:



Figura 2 – Comparação da faixa de inflamabilidade e a energia de ignição do hidrogênio às do gás natural, propano e vapor de gasolina. Fonte: *Hydrogen Compared To Other Fuels | H2tools | Hydrogen Tools*



A baixa viscosidade do hidrogênio, aliada ao tamanho reduzido da molécula, constitui-se um fator de risco que aumenta a probabilidade de vazamentos por conexões ou furos.

Devido à baixa energia de ignição do hidrogênio e às muitas possíveis fontes de ignição numa instalação industrial, é comum esperar que qualquer vazamento de hidrogênio seja inflamado. Misturas próximas às condições ótimas de combustão devem ser consideradas propensas a ignição espontânea. Uma grande liberação de hidrogênio em alta pressão também pode se autoignitar devido à formação de ondas de choque.

O potencial de explosão do hidrogênio é muito maior em comparação ao metano, pois em concentrações no ar superiores a 20%, a velocidade da chama do hidrogênio é muito maior em comparação à daquele gás. Além disso, misturas de hidrogênio e ar podem ocasionar detonação, o que não ocorreria com o metano (DNV, 2022).

Por outro lado, por causa da sua alta difusibilidade, quando liberado, o hidrogênio se dispersa rapidamente (10 vezes mais rápido que o gás natural), reduzindo bastante o risco de ignição a nível do solo. Sua propriedade de maior fluabilidade, em local aberto, demonstra que em



qualquer situação de vazamento, ele se difunde rapidamente, reduzindo assim os riscos de ignição.

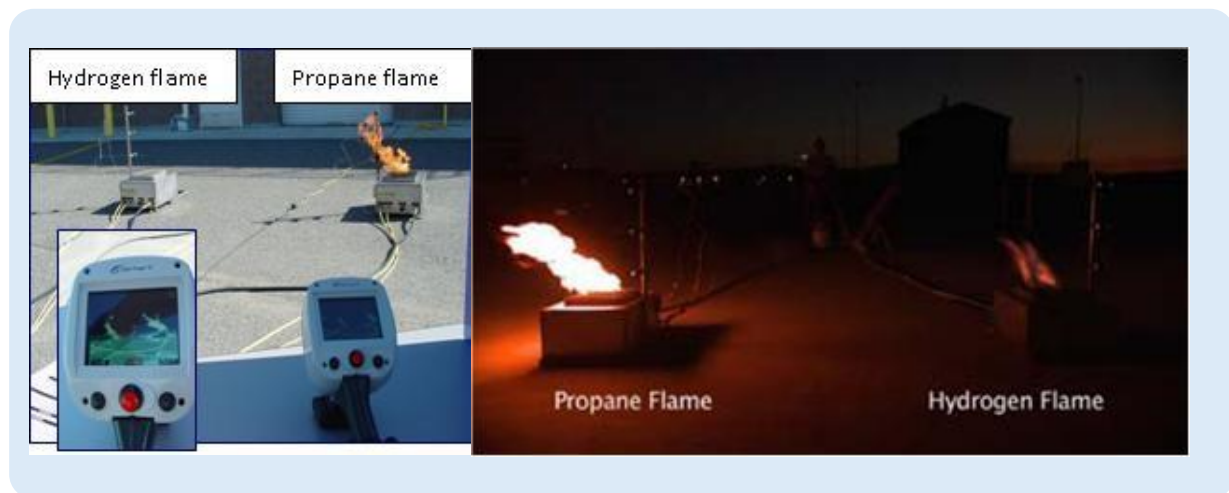
Em suma, o hidrogênio possui alto risco de combustão devido ao seu alto potencial para vazamentos e formação de misturas combustíveis, à facilidade de ignição destas misturas e ao potencial de liberação de grandes quantidades de energia.

Assim, o projeto de instalações de produção de hidrogênio deve considerar métodos que garantam a separação de hidrogênio dos oxidantes, e sistemas de detecção de vazamentos de hidrogênio.

O hidrogênio é um gás incolor e inodoro. O gás natural e o propano também são inodoros, mas a indústria adiciona odorantes contendo enxofre para facilitar sua detecção. Atualmente, odorantes não são usados com hidrogênio porque não há odorantes conhecidos leves o suficiente para se dispersarem junto com o hidrogênio na mesma taxa de dispersão. Os odorantes atuais também contaminam células de combustível, que são uma aplicação importante para o hidrogênio.

Além disso, a chama produzida pela queima do hidrogênio é praticamente invisível, e incêndios de hidrogênio têm baixo calor radiante. Assim, a detecção de vazamentos ou até mesmo de incêndios de hidrogênio pelos sentidos humanos é difícil. Essas características tornam recomendável o uso de detectores de gás e de chama nas instalações que manipulem hidrogênio.

Figura 3 – Chama do hidrogênio x chama de propano. Fonte: <https://h2tools.org/bestpractices/laboratory-safety/laboratory-operations/hydrogen-hazards/hydrogen-flames> Hydrogen Flames | H2tools | Hydrogen Tools



3.1.2. Pressão

O hidrogênio é o menor elemento químico existente na natureza, e a molécula de hidrogênio (H_2) possui uma densidade muito baixa, devendo ser armazenado e transportado em altas pressões de forma a atingir uma massa suficiente para seu uso energético.

Comercialmente, o hidrogênio é fornecido em cilindros sob altas pressões, com cilindros típicos possuindo uma capacidade hidráulica de 50 L. Estes podem ser isolados, ou frequentemente



agrupados e interconectados, seja em uma carreta ou transportados em cilindros de maior tamanho em carretas rodoviárias.

Assim, as instalações que lidam com hidrogênio também costumam estar expostas aos riscos associados a altas pressões. Este risco é comumente mitigado pelo uso de dispositivos de alívio de pressão em tubulações e recipientes de armazenamento e transporte.

3.1.3. Baixa temperatura

Para liquefazer o hidrogênio, atingindo densidades maiores, são utilizadas temperaturas muito baixas (-253 °C), o que pode causar queimaduras criogênicas ou danos pulmonares. Em caso de vazamento do hidrogênio líquido levando-o a temperaturas ambientes, ele expande rapidamente, aumentando 848 vezes em volume.

Além dos riscos de exposição humana a baixas temperaturas e à expansão do gás liquefeito, as temperaturas criogênicas também adicionam dificuldades à seleção de materiais quanto às propriedades de tenacidade requeridas.

3.1.4. Fragilização por hidrogênio

A fragilização por hidrogênio (*embrittlement*) é um fenômeno complexo que pode ser descrito como a perda de resistência estrutural dos materiais quando expostos ao hidrogênio, sob altas pressões ou baixas temperaturas. Esse processo pode ser explicado por vários mecanismos que envolvem a interação do hidrogênio com ligas metálicas como aço carbono e aço inox, resultando em danos estruturais que podem levar a falhas catastróficas.

Há três variáveis que governam a fragilização por hidrogênio: características do material (por exemplo, resistência), níveis de tensão no componente em função do tempo e parâmetros ambientais (por exemplo, pressão e temperatura).

3.1.5. Exposição

Conforme anteriormente delineado, os potenciais riscos à saúde humana gerados pelo hidrogênio incluem a possibilidade de queimaduras frias e hipotermia (no manuseio de hidrogênio liquefeito) e queimaduras severas em caso de combustão da mistura inflamável.

Por fim, apesar de não ser um gás tóxico, o hidrogênio pode causar a depleção do oxigênio em ambientes confinados, ou seja, a redução da concentração de oxigênio no ambiente, causando asfixia.

Como o hidrogênio é um gás leve e incolor, ele pode se acumular sem ser percebido, o que reforça a necessidade de sistema de detecção de hidrogênio e monitoramento de oxigênio nas instalações de produção, bem como ventilação adequada e treinamento e conscientização da força de trabalho.



3.2. Gestão de Riscos

Conforme preconiza o Art. 10 da Lei nº 14.948/2024, todos os empreendimentos e as atividades que são consideradas no seu espectro de atuação deverão adotar medidas para gestão de risco de acidentes ou desastres, tendo estabelecido como instrumentos o Estudo de Análise de Risco – EAR, o Plano de Ação de Emergência – PAE e o Plano de Gerenciamento de Risco – PGR. No entanto, para que a ANP possa considerar em seus normativos, levando em consideração o exposto no § 2º do marco legal do hidrogênio, ainda caberá detalhamento, por meio de Decreto Regulamentador, dos critérios para elaboração dos instrumentos supramencionados a serem exigidos pelo órgão para o exercício das atividades de exploração, produção (natural ou sintética), e de usos e aplicações do hidrogênio.

Tendo em vista os riscos impostos pelo manuseio do hidrogênio, detalhados na seção anterior, que são consideravelmente superiores quando comparados aos riscos de outros fluidos normalmente manuseados em instalações autorizadas pela ANP, tais instrumentos revestem-se de importância considerável, o que justifica que sejam analisados e aprovados pela ANP previamente à outorga de autorização de operação das instalações de produção. Esta recomendação deve ser considerada quando do desenvolvimento do arcabouço regulatório pela ANP, quanto ao conjunto de documentos mandatórios a serem protocolados e à possibilidade de análise pela agência.

As diretrizes apresentadas no Relatório Técnico ABNT ISO/TR 15916:2010 – Considerações básicas para a segurança dos sistemas de hidrogênio – sugerem que a análise destes documentos considere os seguintes parâmetros:

- Seleção da técnica a ser utilizada;
- Experiência da equipe multidisciplinar;
- Consideração do histórico de falhas e bancos de dados de incidentes;
- Adoção de Hierarquia de Controle de Riscos;
- Realização de estudos de dispersão e estudos de consequências (análise de vulnerabilidade);

Além disso, de uma forma mais abrangente, a referência supracitada sugere que o projeto da instalação deve ser analisado quanto aos seguintes critérios:

- Adoção de Projeto Inerentemente Mais Seguro;
- Classificação de áreas;
- Ventilação adequada;
- Sistemas de alívio de pressão;
- Sistemas fixos de detecção de gás e chama;
- Sistemas instrumentados de segurança;
- Sistemas de alarme e intertravamento;
- Sistemas de proteção e combate a incêndio;
- Procedimentos operacionais;



- Treinamento, capacitação e conscientização da força de trabalho.

3.3. Incidentes

Esta seção apresenta um panorama dos principais bancos de dados internacionais voltados para incidentes envolvendo hidrogênio — incluindo o HIAD e o H2Tools — além de uma análise dos eventos reportados por agentes regulados pela Superintendência de Produção de Combustíveis (SPC) que já atuam na produção de hidrogênio.

No caso do hidrogênio natural, devido à limitada produção mundial, ainda não existem bancos de dados ou compilações de incidentes específicos relacionados a esse tipo de produção. Essa análise poderá ser desenvolvida no futuro, à medida que mais informações se tornem disponíveis. Por enquanto, serão descritos dados do projeto em operação em Mali, na África, bem como informações presentes em publicações científicas relevantes, constantes do Anexo III deste relatório.

Adicionalmente, o Anexo I contém informações oriundas de processos de investigação de incidentes que foram selecionados, de forma a propiciar um maior entendimento dos riscos advindos da manipulação de hidrogênio em instalações industriais.

3.3.1. *Hydrogen Incident and Accident Database (HIAD)*

O *Hydrogen Incident and Accident Database* (HIAD) foi criado inicialmente como parte do projeto HySafe (2004–2009), um projeto de pesquisa financiado pela Comissão Europeia. O banco de dados foi alimentado pelos membros da rede HySafe, composta por 25 parceiros de 12 países, que compartilharam suas respectivas expertises nos setores automotivo, químico, de gás e petróleo, e nuclear. O objetivo comum era desenvolver métodos de mitigação que facilitassem a introdução segura e eficiente das tecnologias baseadas em hidrogênio.

Desde o encerramento do projeto HySafe, o HIAD passou a ser mantido pelo *Joint Research Centre* (JRC) da Comissão Europeia. Atualmente, o HIAD está na versão 2.1, e funciona como um repositório de eventos indesejados relacionados ao hidrogênio. Esses eventos são coletados a partir de fontes primárias ou secundárias, como notícias, relatórios de inspeção, bancos de dados públicos e artigos científicos. Cada evento é revisado e validado por especialistas do JRC antes de ser incluído na base, com base em critérios de qualidade e coerência das descrições.

A base de dados inclui, sempre que possível, a análise de causa, lições aprendidas e um rótulo de qualidade para cada evento.

O objetivo do HIAD é promover a segurança no uso do hidrogênio, servindo como recurso para especialistas, educadores, estudantes e tecnólogos.

O HIAD está disponível gratuitamente como um arquivo Excel para download, com atualizações periódicas. Também está em desenvolvimento uma ferramenta interativa para visualização e análise personalizada dos dados.

Até dezembro de 2021, o HIAD 2.0 já contava com 628 registros, compilados principalmente a partir de dez bancos de dados menores.



Após análise dos registros contidos no banco de dados, conclui-se que as causas identificadas para os acidentes podem ser agrupadas em sete categorias:

1. System design error: Falhas no projeto do sistema, como escolha inadequada de materiais, ausência de redundâncias, ou falta de consideração de cenários de falha.

Exemplos:

- Projeto de válvulas que não suportam vibrações de transporte.
- Falta de barreiras de contenção para evitar propagação de incêndios.

2. Material/manufacturing error: Defeitos em materiais ou processos de fabricação, como corrosão, rachaduras, falhas em soldas ou componentes defeituosos. Exemplos:

- Corrosão em tubulações de hidrogênio.
- Ruptura de disco de ruptura antes da pressão nominal.

3. Management factors: Falhas organizacionais, como ausência de procedimentos, treinamentos inadequados, ou decisões gerenciais que comprometem a segurança.

Exemplos:

- Falta de manutenção preventiva.
- Modificações não documentadas em instalações.

4. Installation error: Erros cometidos durante a montagem ou instalação de equipamentos. Exemplos:

- Conexões mal apertadas.
- Instalação de componentes incompatíveis.

5. Human factors: Erros operacionais, como falhas de comunicação, negligência ou execução incorreta de procedimentos. Exemplos:

- Operador abrindo válvula errada durante transferência de hidrogênio.
- Ignorar alarmes ou sinais de falha.

6. Job factors: fatores relacionados ao trabalho ou execução de tarefas. Exemplos:

- decisões operacionais inadequadas.
- falhas na execução de tarefas críticas.
- ausência de verificação de segurança.
- uso incorreto de ferramentas ou equipamentos.
- práticas de trabalho inseguras.

7. Environment: fatores ambientais externos que contribuíram para o acidente, que geralmente estão fora do controle direto da operação, mas devem ser considerados no projeto e manutenção dos sistemas. Exemplos:

- Condições climáticas (como raios, chuva, vento).
- Vibrações de estrada.
- Variações de temperatura.
- Corrosão ambiental.

Além destas categorias, há causas que foram categorizadas como "*unknown*", quando as causas são não identificadas ou não especificadas.



Essas categorias frequentemente aparecem combinadas em um mesmo evento, indicando que os acidentes geralmente têm múltiplas causas, o que reforça a importância de uma abordagem sistêmica para a segurança operacional.

Realizando-se uma análise da frequência de ocorrência de cada uma das categorias das causas, tem-se o seguinte:

Tabela 1 – Frequência de ocorrência das categorias de causas de incidentes categorizadas pelo *Hydrogen Incident and Accident Database* (HIAD)

Categoria	Frequência de Ocorrência
<i>Material/manufacturing error</i>	Alta
<i>System design error</i>	Alta
<i>Management factors</i>	Alta
<i>Human factors</i>	Média
<i>Installation error</i>	Média
<i>Job factors</i>	Média
<i>Environment</i>	Baixa

Estes dados permitem estabelecer algumas conclusões. A primeira é que as causas mais frequentemente relacionadas a acidentes com hidrogênio não se limitam à etapa operacional da instalação, estendendo-se a fatores correlacionados às etapas de projeto, construção, montagem e comissionamento, tais como os erros de fabricação e seleção de material, projeto e instalação. Este fato reforça a necessidade de se estabelecer um arcabouço regulatório de segurança que abarque todas estas fases do ciclo de vida das instalações, e não apenas a fase de operação.

Adicionalmente, a análise dos dados da HIAD 2.1 evidencia que os fatores de gestão (*management factors*) estão entre as causas mais frequentes de acidentes envolvendo hidrogênio. Esses fatores incluem falhas na supervisão, ausência de procedimentos adequados, comunicação ineficaz, decisões organizacionais equivocadas e deficiências na cultura de segurança. Tais falhas não estão necessariamente ligadas a aspectos técnicos ou operacionais diretos, mas sim à forma como a organização estrutura, implementa e mantém seus processos de segurança.

Essa constatação reforça a importância de uma abordagem regulatória baseada em sistemas de gestão da segurança operacional (SGSO), o qual estabelece requisitos baseados em desempenho visando a robustez dos sistemas de gestão, de forma a evitar a ocorrências destes fatores de gestão.

Além disso, os fatores de gestão impactam todas as fases do ciclo de vida de uma instalação — desde o projeto até a desativação — o que torna o SGSO uma ferramenta essencial para garantir a segurança ao longo de toda a operação. A implementação eficaz de um SGSO permite antecipar, mitigar e responder a riscos de forma estruturada, reduzindo significativamente a probabilidade de falhas organizacionais que, como mostram os dados da HIAD, são recorrentes em acidentes com hidrogênio.

Portanto, a prevalência de causas relacionadas à gestão valida a adoção de uma regulação orientada por desempenho, centrada em sistemas de gestão robustos, como uma estratégia



eficaz para prevenir acidentes e promover a segurança em instalações que lidam com substâncias perigosas como o hidrogênio.



3.3.2. H2Tools

O banco de dados *H2Tools* foi criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, com o objetivo de auxiliar na disseminação de informações importantes e lições aprendidas a partir de incidentes relacionados ao uso de hidrogênio. Trata-se de uma ferramenta de registro de incidentes com hidrogênio que qualquer pessoa pode utilizar para fornecer informações sobre eventos ou quase-acidentes envolvendo esse elemento.

Os registros são anonimizados para incentivar a notificação de incidentes. Em outubro de 2025, o banco de dados continha 221 entradas, que podem ser visualizadas por meio de um *dashboard* disponibilizado no site do *H2Tools*.

Os registros são classificados quanto às características do evento (alta pressão e/ou baixa temperatura), fatores contribuintes, classificação dos danos, grupos de equipamentos envolvidos, se houve ignição e/ou vazamento, possível causa, severidade (incidente, quase-acidente ou não-evento), e informação quanto a como o evento foi descoberto (durante operação, manutenção ou inspeção).

Os eventos podem ser classificados entre 28 fatores contribuintes, listados abaixo em ordem decrescente de ocorrências:

Tabela 2 – Quantidade de ocorrência dos fatores contribuintes de incidentes classificados pelo *H2Tools*

Fator Contribuinte	Quantidade de ocorrências
Alteração no procedimento	33
Outros	32
Falha de projeto	24
Erro humano	23
Tomada de decisão	15
Consciência situacional	11
Falha de equipamento	10
Deficiência no procedimento	9
Inspeção inadequada	8
Comunicação	7
Falha no cumprimento do procedimento	6
Danos induzidos pela operação	5
Mistura inflamável em área confinada	5
Protocolo/procedimento operacional incorreto	4
Operações anormais	4
Ausência de protocolo/procedimento operacional	3
Fadiga	2
Manutenção inadequada	2
Monitoramento/supervisão do sistema inadequados	2
Desconhecido	2
Procedimento de operação e manutenção incompleto	2
Responsabilização	2
Problema de treinamento	2
Ausência de listagem de componentes	2
Condições meteorológicas	2
Rotulagem inadequada	2



Procedimento de purga inadequado	2
Total Geral	221

Quanto às possíveis causas, são indicadas 18, listadas abaixo em ordem decrescente de ocorrências:

Tabela 3 – Quantidade de ocorrência das possíveis causas de incidentes classificados pelo *H2Tools*

Possível Causa	Quantidade de ocorrências
Falha de equipamento	80
Erro humano	25
Falha de projeto	24
Outros	17
Falha no cumprimento de procedimentos operacionais padrão	15
Deficiência nos procedimentos	10
Operações anormais	10
Manutenção Inadequada	8
Mistura inflamável em área confinada	6
Procedimentos de operação e manutenção incompletos	5
Procedimento operacional padrão incorreto	4
Inspeção inadequada	4
Colisão de veículo	3
Perigo não identificado antecipadamente	2
Projeto de ventilação inadequado	2
Desconhecido	2
Equipamento inadequado	2
Manuseio inadequado	2
Total Geral	221

Como é possível perceber, diferentemente do HIAD, a base de dados do H2Tools só atribui um fator contribuinte e uma possível causa para cada incidente, o que conceitualmente não é o mais adequado, uma vez que acidentes de processo dificilmente possuem uma única causa. Adicionalmente, entre os fatores contribuintes e causas existem tanto aspectos técnicos ou operacionais diretos, tais como fadiga, falha de equipamento, colisão de equipamento, e mistura inflamável em área confinada, quanto fatores de gestão, tais como procedimentos de operação e manutenção incompletos, falha de projeto, falha no cumprimento do procedimento, procedimentos de operação e manutenção incompletos.

Devido ao exposto acima, pode-se concluir que, apesar de usar conceitos distintos da ANP em relação à atribuição de causas para os acidentes, o H2Tools também aponta que as causas sistêmicas estão entre as maiores causadoras de acidentes em instalações que manuseiam hidrogênio, com particular destaque para questões relacionadas a projeto (principalmente seleção de materiais), procedimentos e manutenção, o que reforça a necessidade de uma abordagem baseada em sistemas de gestão.



3.3.3. Incidentes reportados por agentes regulados pela Superintendência de Produção de Combustíveis (SPC)

Dos agentes regulados pela SPC, somente as refinarias de petróleo produzem e consomem gás hidrogênio em seus processos. Atualmente, há 23 unidades geradoras de hidrogênio autorizadas em 11 refinarias. Além disso, há unidades que geram hidrogênio como subproduto de seus processos, outras que consomem esse produto em reações químicas e outras que são projetadas para a recuperação desse gás.

Sendo assim, foram analisados 1260 incidentes reportados pelas refinarias de petróleo no período de janeiro de 2019 a junho de 2025. Do total, foi possível verificar que 37 eventos envolveram gás hidrogênio, seja pela ocorrência de vazamentos, princípios de incêndio ou paradas não programadas de unidades produtoras ou consumidoras de H₂, o que representa aproximadamente 3% do montante analisado.

Os 37 incidentes identificados estão enquadrados em apenas três das 22 tipologias relativas às atividades de produção de combustíveis estabelecidas no Anexo III do Manual de Comunicação de Incidentes, a saber:

- Vazamento de gás inflamável;
- Princípio de incêndio;
- Parada não programada (por período superior a 24 horas).

Vale destacar que, apesar do elevado número de unidades produtoras e consumidoras de hidrogênio em operação, no período analisado, não houve nenhuma ocorrência de acidente grave conforme definição estabelecida pela Resolução ANP nº 882/2022.

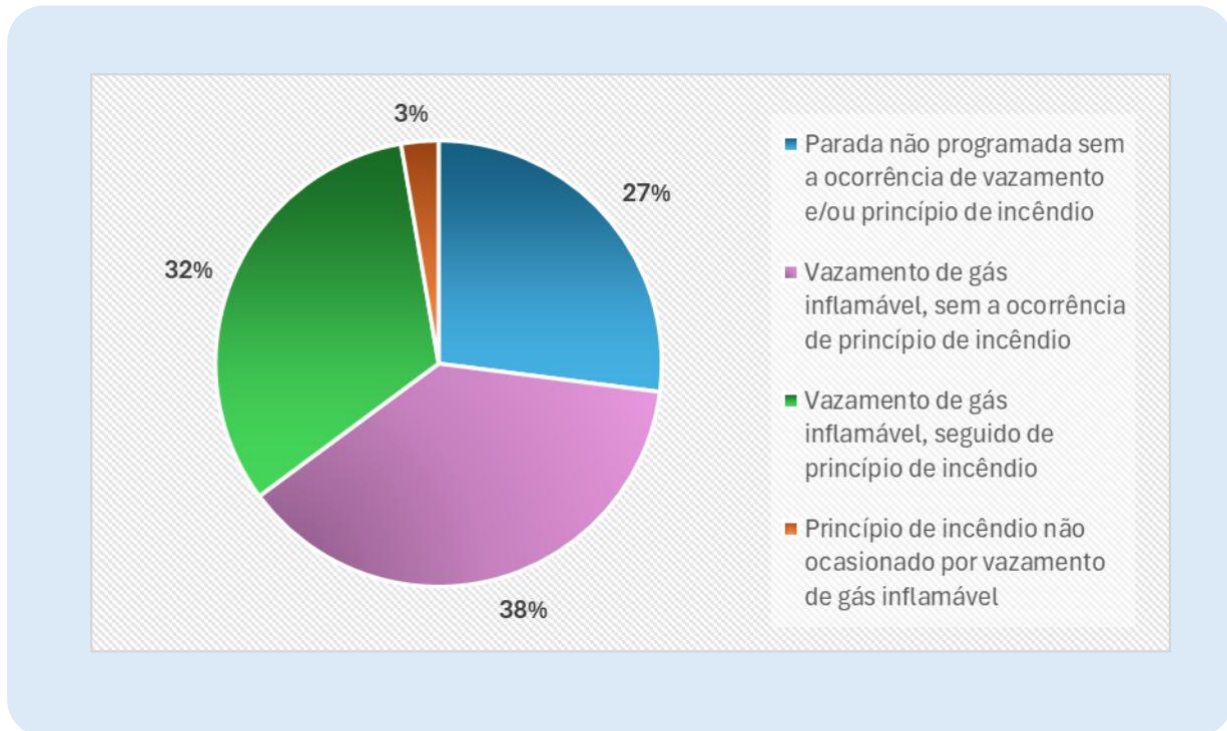
Uma vez que grande parte dos incidentes podem ser enquadrados em mais de uma tipologia, foi procedida a análise do quantitativo de eventos agrupados da seguinte forma:

- Parada não programada sem a ocorrência de vazamento e/ou princípio de incêndio;
- Vazamento de gás inflamável, sem a ocorrência de princípio de incêndio, e resultando ou não em parada não programada;
- Vazamento de gás inflamável, seguido de princípio de incêndio, e resultando ou não em parada não programada;
- Princípio de incêndio, não ocasionado por vazamento de gás inflamável.

A Figura 4 mostra a proporção de cada uma das tipologias agrupadas conforme acima descrito.



Figura 4 – Tipologias dos incidentes reportados que envolveram gás hidrogênio no período de janeiro de 2019 a junho de 2025.



Em análise, constata-se que 70% dos eventos foram ocasionados por vazamento de gás hidrogênio, sendo que em 32% das ocorrências o produto vazado entrou em ignição, a qual foi controlada antes de evoluir para um incêndio. Dos casos em que houve ignição, a perda de contenção ocorreu principalmente em flanges de linha ou de entrada de reatores e em gaxetas de válvulas. Já para os vazamentos sem a ocorrência de princípio de incêndio, observa-se que a maior parte dos eventos foram devidos a trincas ou furos em linhas de processo ou em tubos de permutadores e de fornos reformadores. Em relação às paradas não programadas, os fatores causais mais recorrentes se referem a falhas em malhas de controle e em compressores de reciclo e de reposição.



4.

**4. A EXPERIÊNCIA
INTERNACIONAL**



4. Experiência Internacional

Esta seção tem como objetivo analisar a experiência internacional quanto aos requisitos de segurança operacional aplicáveis às instalações de produção de hidrogênio — incluindo o hidrogênio natural —, buscando identificar como diferentes países estruturam suas normas, procedimentos de verificação e critérios de outorga, a fim de extrair lições que possam orientar o desenvolvimento regulatório e a adoção de boas práticas no contexto brasileiro.

O Anexo III contém o resultado mais detalhado da pesquisa realizada.

A tabela ao final do Anexo III sumariza e compara os resultados da pesquisa relativa ao arcabouço regulatório de autorização e segurança operacional nas instalações de produção de hidrogênio de cada um dos países pesquisados.

4.1. Resumo e Comparações sobre a Experiência Internacional

A análise internacional sobre regulamentações para instalações de produção de hidrogênio revela uma diversidade de abordagens regulatórias, que sugere alternativas para a construção de um marco nacional. Adicionalmente, foi possível constatar que já existe um arcabouço normativo internacional que abrange a produção de hidrogênio por eletrólise, especificações técnicas para armazenamento e transporte, e equipamentos de detecção, entre outros aspectos.

A regulação europeia sobre segurança de instalações de produção de hidrogênio é centrada na Diretiva Seveso, principal marco legislativo da União Europeia para o controle de acidentes industriais graves envolvendo substâncias perigosas, como o hidrogênio. A diretiva estabelece requisitos diferenciados para instalações classificadas como de nível inferior e nível superior, conforme a quantidade e tipo de substâncias perigosas presentes. Mais especificamente, na União Europeia, a regulação está centrada na quantidade máxima de hidrogênio armazenado, e não na capacidade de produção.

Instalações de nível inferior (armazenamento entre 5 e 50 toneladas de hidrogênio) devem notificar a autoridade competente, implementar uma política de prevenção de acidentes graves (PPAG), adotar um sistema de gestão de segurança proporcional aos riscos e informar o público sobre medidas de segurança. Já as de nível superior (armazenamento superior a 50 toneladas de hidrogênio), além dessas obrigações, devem elaborar um relatório de segurança detalhado, planos de emergência internos e externos, realizar consultas públicas e passar por inspeções regulares.

Alguns países criaram normas e códigos específicos para o projeto, localização e operação segura de instalações de hidrogênio, tais como China, Coreia do Sul e Estados Unidos.

A China possui normas obrigatórias para o projeto seguro e a manutenção de estações de produção de hidrogênio, que estabelecem limites para a capacidade máxima de armazenamento, condições operacionais, equipamentos de segurança, especificações técnicas de tubulações, requisitos mínimos de ventilação, distâncias de separação e outros critérios de segurança. A



Coreia do Sul desenvolveu códigos que abrangem a maioria desses requisitos para instalações de produção e armazenamento de hidrogênio.

Nos Estados Unidos, as instalações de produção de hidrogênio são reguladas pelas normas da OSHA, mais voltada para segurança ocupacional, e pela NFPA-2, sendo esta considerada a principal boa prática relacionada à segurança no uso do hidrogênio em diversas aplicações. Ela cobre aspectos como produção, armazenamento, distribuição e uso final do hidrogênio, tanto em forma gasosa quanto líquida. A norma define critérios técnicos para o projeto e instalação de sistemas, incluindo distâncias mínimas de segurança, classificação de áreas com risco de explosão, ventilação, detecção de vazamentos e controle de incêndios. Também harmoniza seus requisitos com outras normas da NFPA, como a NFPA 55 (gases comprimidos e fluidos criogênicos) e a NFPA 70 (instalações elétricas), promovendo uma abordagem integrada à segurança. A NFPA 2 incorpora atualizações tecnológicas, contemplando equipamentos modernos como eletrolisadores e células a combustível, e reforça a importância da gestão de riscos e da preparação para emergências. A edição mais recente enfatiza a necessidade de testes integrados, auditorias de segurança e projetos compatíveis com edificações e sistemas de proteção contra incêndio, refletindo os avanços do setor e a crescente adoção do hidrogênio como vetor energético.

Além dos Estados Unidos, a NFPA-2 é adotada pelo Canadá (que harmonizou seu *Canadian Hydrogen Installation Code* à NFPA-2), Chile e Colômbia.

Outros países adotam legislações já existentes, especialmente aquelas voltadas a gases de alta pressão, substâncias perigosas ou inflamáveis ou instalações elétricas. Esse é o caso da Alemanha, Noruega, Reino Unido, Holanda, Colômbia e Japão.

Em alguns países, a autorização das instalações de produção de hidrogênio é descentralizada, realizada por órgãos locais (provinciais ou municipais). Esse é o caso da Alemanha, Noruega, Estados Unidos, Canadá e Austrália. Alguns destes países desenvolveram ou estão desenvolvendo instrumentos para permitir uma maior uniformização dos processos de licenciamento.

Nesse sentido, destaca-se o mecanismo de sistema de entrada única praticado na Dinamarca, coordenado pela Agência Dinamarquesa de Energia, o qual simplifica o processo de obtenção das diversas licenças e permissões necessárias.

Já o Chile adotou uma iniciativa de orientar as empresas interessadas em obter licenças por meio de guias. Estes documentos contêm o fluxograma do processo de autorização, documentos e informações exigidos para cada etapa, normas de referência, entre outras.

Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia (DOE) exerce um papel relevante ao oferecer ferramentas e orientações técnicas que apoiam os processos de licenciamento e asseguram a segurança dos projetos relacionados ao hidrogênio, especialmente aqueles que recebem financiamento federal.

No Canadá, foi criado um Grupo de Trabalho, cujo maior objetivo é a harmonização entre regulações provinciais, por meio da criação e revisão de normas técnicas.

Vale destacar que diversos países pretendem revisar suas legislações para considerar a crescente implantação do hidrogênio, como por exemplo o Reino Unido, Colômbia, Austrália, Holanda e Estados Unidos.



Quanto às exigências de análise de risco, planos de emergência e adição de sistema de gestão, foram identificados alguns países que adotam tais requisitos.

A Austrália exige estudos de risco e operabilidade (HAZOP), plano de emergência, estudo de segurança contra incêndio e sistema de gestão de segurança.

Nos países europeus, aplicam-se os requisitos de Diretiva de Seveso, a qual estabelece que instalações que armazenem mais de 5 toneladas de hidrogênio devem: notificar à autoridade competente com informações básicas sobre a instalação e substâncias perigosas, estabelecer uma política de prevenção de acidentes graves documentada e implementada, adotar um sistema de gestão da segurança proporcional aos riscos e informar o público sobre procedimentos em caso de acidente.

Para instalações que armazenem mais de 50 toneladas, aplicam-se os seguintes requisitos, além dos anteriores: elaboração de um relatório de segurança detalhado, incluindo identificação de perigos, avaliação de riscos e medidas de prevenção e mitigação; elaboração de plano de emergência interno pelo operador e plano de emergência externo pela autoridade competente, realização de consultas públicas sobre o relatório de segurança e planos de emergência e inspeções regulares com base em planos de inspeção específicos e fornecimento de informação mais detalhada ao público, incluindo cenários de acidentes e medidas de resposta.

Os países podem adotar limiares mais restritivos, como a França, que sujeita ao regime de autorização instalações que armazenem mais de 1000 kg (1 tonelada) de hidrogênio. Nesse regime, deve ser elaborado um dossiê de solicitação, incluindo estudo de riscos.

O Chile também adota dois limiares para estabelecer exigências regulatórias: 2,35 kg e 5.000 kg. Instalações acima do limiar inferior devem possuir um Manual de Segurança e um Plano de Emergência e Acidentes. As instalações que armazenam mais de 5.000 kg devem implementar também um Sistema de Gestão de Segurança e Riscos (SGSR), incluindo análise de riscos, manual de segurança com medidas preventivas e operacionais e plano de emergência e acidentes.

Na Noruega, além dos requisitos da Diretiva de Seveso, é obrigatória a avaliação quantitativa de risco, que define zonas de risco para fins de planejamento territorial, conforme o risco anual de fatalidade individual. Assim, não há distâncias pré-definidas.

No Reino Unido, a Regulação COMAH exige não somente que o operador realize análise de risco, mas também que demonstre ao órgão regulador (HSE) que os riscos se mantêm ao nível mais baixo razoavelmente praticável (ALARP).

Alguns países aplicam critérios de distâncias mínimas de segurança: nos Estados Unidos, estes critérios estão definidos pela norma NFPA-2. Japão, Coreia e China também definem distâncias mínimas em seus respectivos códigos de projeto, enquanto na Alemanha, as distâncias de segurança são definidas com base em avaliações de risco locais, não por norma.

Uma das fontes consultadas para a realização da pesquisa sobre o arcabouço regulatório internacional foi o relatório *Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen* [8], elaborado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) a pedido do governo holandês e financiado pela Direção-Geral de Apoio à Reforma Estrutural da Comissão Europeia. O objetivo do relatório é apoiar a transição para o uso generalizado do hidrogênio de



baixa emissão, por meio do desenvolvimento de recomendações sobre sua regulação e governança.

De acordo com este relatório, as boas práticas de segurança nas instalações fixas, na qual se inserem as instalações de produção de hidrogênio, incluem:

- Notificação prévia às autoridades reguladoras sobre a instalação, atividade, localização e capacidade de hidrogênio;
- Licenciamento ou aprovação prévia da instalação antes do início da operação, incorporando:
 - Inspeções ou verificações periódicas de segurança durante a operação;
 - Notificação de acidentes e incidentes envolvendo perda de contenção de hidrogênio;
- Análises de risco realizadas pelo operador;
- Salvaguardas contra impactos ou invasões;
- Estabelecimento de distâncias mínimas de segurança em relação a populações vulneráveis e edificações — embora não haja consenso sobre essas distâncias com base na quantidade de hidrogênio ou na atividade;
- Especificação dos materiais de construção da instalação;
- Especificação do projeto e da configuração da instalação, incluindo:
 - Dispositivos de segurança — válvulas de alívio de pressão, detectores de gás e alarmes, sistemas de desligamento automático, ventilação (projeto e taxa de renovação do ar);
 - Proteção contra incêndios, barreiras corta-fogo ou proteção contra explosões para edifícios vulneráveis;
 - Controles operacionais;
- Precauções contra incêndio e resistência ao fogo das edificações;
- Rotas de fuga e meios de evacuação.

Assim, recomenda-se que o arcabouço regulatório relativo à autorização de instalações de produção de hidrogênio no Brasil considere os aspectos acima listados.

Portanto, a análise da experiência internacional realizada permite concluir que, de forma geral, o modelo regulatório adotado para a segurança operacional das instalações de produção de óleo e gás tem sido estendido às instalações de produção de hidrogênio. Observou-se que países que tradicionalmente aplicam modelos regulatórios de caráter prescritivo às atividades de óleo e gás tendem a adotar abordagem similar para as instalações de hidrogênio, enquanto aqueles que estruturaram sua regulação com base na filosofia de desempenho (*performance-based regulation*) mantêm essa mesma lógica ao tratar da segurança operacional da produção de hidrogênio.



4.2. Normativos de Segurança

O anexo II contém o mapeamento dos normativos relativos ao hidrogênio levantados pelo Grupo de Trabalho.



5.

5. O CONTEXTO NACIONAL



5. O Contexto Nacional

O uso do gás hidrogênio no Brasil é relativamente maduro possuindo aplicações relevantes em inúmeras indústrias tais como: refino de petróleo, produção de amônia, metanol, metalurgia, dentre outras. No Brasil, especialmente, o setor petroquímico é o maior produtor e consumidor desse gás, empregando-o principalmente para a redução do teor de enxofre nos combustíveis fósseis em unidades de hidrotreatamento. A produção e usos industriais do hidrogênio no Brasil se encontram, portanto, relativamente consolidados.

Uma refinaria de petróleo, por exemplo, pode produzir hidrogênio que ocorre principalmente através da reforma a vapor do gás natural em Unidades de Geração de Hidrogênio (UGH). Este método processa-se a altas temperaturas, superiores a 800 °C, sendo bastante energodependente. O hidrogênio também é obtido como um coproduto no processo de reforma catalítica, cujo objetivo principal é aumentar as propriedades antidetonantes de correntes de nafta para a produção de gasolina, reduzindo o teor de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, aumentando o de aromáticos; ou ainda, a produção de benzeno, tolueno e xilenos para a indústria petroquímica. Dessa forma a Petrobras, como a maior empresa de refino de petróleo no Brasil, é notadamente a maior produtora de hidrogênio, consumindo sua produção em processos de hidrocrackeamento catalítico (HCC) ou hidrotreatamento (HDT) para produção de derivados de petróleo de maior valor agregado. (EPE, 2022)

Portanto, o hidrogênio é velho conhecido do setor petroquímico nacional e a grande diferença no modelo atual é que a nova molécula deve necessariamente conter baixo teor de carbono.

5.1. Regulamentação de Segurança Operacional

A Lei do Hidrogênio, Lei nº 14.948/2024, estabelece, em seu Art. 10, que todos os empreendimentos e atividades envolvendo hidrogênio deverão obrigatoriamente adotar medidas de gestão de risco de acidentes ou desastres. Para isso, define três instrumentos centrais: o Estudo de Análise de Riscos (EAR), o Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR) e o Plano de Ação de Emergência (PAE), cuja elaboração e implementação deverão seguir requisitos detalhados em regulamento específico a ser editado pelos órgãos reguladores das atividades de produção, usos e aplicações do hidrogênio e pelas entidades responsáveis pelo licenciamento ambiental. Trata-se, portanto, de um marco legal que organiza a segurança das atividades de hidrogênio em torno de instrumentos formais, abrangentes e obrigatórios, com foco na identificação de riscos, prevenção de acidentes e preparação para emergências.

No caso do E&P, será feita uma análise orientada às especificidades do hidrogênio geológico, uma vez que, considerando-se a exploração e consequente produção, não faria parte deste escopo abordar as questões do hidrogênio produzido por eletrólise.

A adaptação do marco regulatório da ANP ao hidrogênio natural exigirá, portanto, tanto a revisão dos instrumentos atualmente vigentes quanto sua harmonização com os novos instrumentos



previstos na lei. Essa harmonização pode ser realizada por meio da integração normativa e procedimental entre os sistemas existentes e os instrumentos obrigatórios (EAR, PGR e PAE).

Estes instrumentos são previstos para as instalações de exploração e produção de petróleo e gás natural pelo arcabouço regulatório atual de segurança operacional, estruturados em regulamentos de desempenho, dos quais o primeiro e principal é o chamado Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), instituído pela Resolução ANP nº 43/2007.

O SGSO é composto por 17 práticas orientadas ao desempenho e à gestão de risco, incentivando a melhoria contínua na operação das instalações. De acordo com regulamento técnico citado, todos os operadores detentores de direitos de exploração e produção devem comprovar que mantêm o controle dos riscos em suas operações. Dessa forma, pode-se afirmar que as exigências legais de Estudo de Análise de Riscos (EAR), Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR) e Plano de Ação de Emergência (PAE) já se encontram absorvidas pelo regulamento técnico do SGSO.

O Estudo de Análise de Riscos é o requisito previsto na PRÁTICA DE GESTÃO Nº 12: IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE RISCOS, que institui requisitos para identificação e análise de riscos que podem resultar em incidentes, a serem conduzidos nas diferentes fases do ciclo de vida da Instalação, por meio da utilização de ferramentas reconhecidas e com resultados devidamente documentados.

O Plano de Gerenciamento de Riscos, por sua vez, pode ser entendido como o conjunto de políticas, práticas e procedimentos que mantêm o nível de risco de uma instalação em níveis preestabelecidos, resultantes de diversas práticas do SGSO, tais como PRÁTICA DE GESTÃO Nº 1: CULTURA DE SEGURANÇA, COMPROMISSO E RESPONSABILIDADE GERENCIAL, PRÁTICA DE GESTÃO Nº 2: ENVOLVIMENTO DO PESSOAL, PRÁTICA DE GESTÃO Nº 7: AUDITORIAS, PRÁTICA DE GESTÃO Nº 15: PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS, dentre outras.

Já o Plano de Ação de Emergência (PAE) é objeto da PRÁTICA DE GESTÃO Nº 14: PLANEJAMENTO E GERENCIAMENTO DE GRANDES EMERGÊNCIAS, que prevê a elaboração de um o Plano de Emergência da Instalação, que deverá conter os procedimentos de preparação e de resposta a emergências e estabelece requisitos para este plano.

Em suma, pode-se concluir que o SGSO contempla os instrumentos que estão sendo introduzidos pela Lei para as instalações de produção de hidrogênio.

Logo, o arcabouço regulatório de segurança operacional vigente para as instalações de E&P poderia ser estendido a instalações de produção de hidrogênio natural, de forma a atender as obrigações impostas pela Lei.

Ressalva-se que o arcabouço regulatório de segurança operacional do E&P está atualmente em revisão de acordo com a atual Agenda Regulatória da ANP¹, de forma a haver apenas um Regulamento Técnico de Segurança Operacional de Exploração e Produção, abarcando todas as atividades e instalações do upstream.

Considerando que esta ação regulatória se encontra em estágio avançado, já tendo passado por análise de impacto regulatório e por participação social, como consulta e audiência públicas, sem

¹ Ação Regulatória 1.14 da Agenda Regulatória 2025-2026 da ANP: revisão e consolidação da estrutura regulatória referente a segurança operacional na exploração e produção de petróleo e gás natural.



que a minuta avaliada nestas etapas contemplasse a inclusão do hidrogênio natural no escopo, não é recomendado que nesta ação seja ampliado o escopo para incluir esta atividade, sob o risco de impactar o cronograma e conseqüentemente a conclusão desta ação regulatória.

O quadro abaixo sintetiza o arcabouço regulatório de segurança operacional das instalações atualmente reguladas pela ANP:



Tabela 4 – Arcabouço regulatório de segurança operacional das instalações atualmente reguladas pela ANP

Segmento	Tipo de instalação	Arcabouço regulatório de autorização	Sujeito a AC?	Sujeito a AO ou outro tipo de outorga?	Vistoria/auditoria antes do início de operação?	Regulamente técnico ou SGSO?	É obrigatória realização de Análise de Riscos?
Exploração e Produção	Plataformas de produção	Não aplicável	Não	Sim (aprovação da DSO)	Sim (*)	Resolução ANP nº 43/2007 (RT-SGSO)	Sim
	Sondas marítimas		Não		Não		
	Campos terrestres de produção		Não	Sim (aprovação da DSO)	Não	Resolução ANP nº 2/2010 (RT-SGI)	
Movimentação	Terminais terrestres e aquaviários	Resolução ANP nº 52/2015 (AC e AO)	Sim	Sim	Sim	Resolução ANP nº 810/2020 (RTT)	Sim
Produção de Combustíveis	Fósseis (refinarias, gás natural e centrais petroquímicas)	Resolução ANP nº 852/2021 (AO)	Não	Sim	Sim	Resolução ANP nº 5/2014 (somente refinaria)	Sim
	Biocombustíveis (produtores de etanol, biodiesel e biometano)	Resolução ANP nº 987/2025 (AO)	Não	Sim	Sim	Não possui	Sim
Distribuição	Distribuidor TRR Prod. óleo lubr. acabado Coletor ou Rerref. OLOC	Resolução ANP nº 960/2023 (AO)	Não	(AO)	Sim	Não possui	Não



Tipo de instalação	Arcabouço regulatório ANP de autorização	Sujeito à aprovação prévia da ANP antes da construção (AC)?	Sujeito à aprovação prévia da ANP antes do início da operação (AO ou outro tipo de outorga)?	Vistoria/auditoria antes do início de operação, para concessão de AO ou permissão de início das operações?	Há regulamente técnico ou sistema de gestão de segurança operacional (SGSO)?	Arcabouço regulatório ANP Segurança Operacional (Regulamento Técnico ou Sistema de Gestão)	É obrigatória realização de Análise de Riscos?
Dutos terrestres	Resolução ANP n° 52/2015	Sim	Sim (AO)	Sim	Sim	Resolução ANP n° 6/2011 (RTDT)	Sim
Dutos marítimos	Resolução ANP n° 52/2015	Sim	Sim (AO)	Sim	Sim	Resolução ANP n° 41/2015 (SGSS)	Sim



Analisando-se o quadro acima, é possível tirar as seguintes conclusões sobre o arcabouço regulatório vigente:

- Somente dutos e terminais estão sujeitos à autorização de construção;
- A maioria das instalações passa por algum tipo de autorização ou permissão para o início das operações;
- As instalações de maior risco ou complexidade, tais como as instalações de E&P, refinarias, terminais e dutos, possuem algum regulamento técnico ou sistema de gestão de segurança, que exige a elaboração de análise de riscos.



6.

RECOMENDAÇÕES



6. Recomendações

Considerando o novo marco legal instituído pela Lei nº 14.948/2024, a análise dos riscos intrínsecos ao hidrogênio, o histórico de incidentes nacionais e internacionais, bem como as experiências regulatórias observadas em diferentes jurisdições, recomenda-se à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) a adoção das seguintes medidas estratégicas para o desenvolvimento do arcabouço regulatório de segurança operacional aplicável às instalações de produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono.

6.1. Inclusão de ação regulatória na Agenda Regulatória da ANP

Recomenda-se incluir, de forma expressa, na Agenda Regulatória da ANP, uma ação regulatória específica voltada à elaboração do arcabouço regulatório de segurança operacional das instalações de produção de hidrogênio, abrangendo tanto o hidrogênio produzido por rotas sintéticas quanto o hidrogênio natural (geológico).

Essa ação deverá ter como objetivos:

- Estabelecer requisitos proporcionais aos riscos, alinhados às diretrizes da Lei nº 14.948/2024;
- Promover segurança jurídica e previsibilidade regulatória aos agentes econômicos;
- Assegurar a proteção da vida humana, do meio ambiente e do patrimônio;
- Harmonizar o novo arcabouço com o conjunto de normas de segurança operacional já existentes no âmbito da ANP, evitando sobreposições e lacunas regulatórias.

Destaca-se que essa iniciativa deve ser conduzida de forma independente da revisão em curso do Regulamento Técnico de Segurança Operacional do *upstream*, a fim de não comprometer o cronograma de entrega daquela ação regulatória já em estágio avançado.

6.2. Adoção de regulação experimental no período transitório

Até a edição e entrada em vigor de uma norma específica para a produção de hidrogênio, recomenda-se que a ANP adote mecanismos de regulação experimental (projeto piloto) para as instalações que venham a solicitar autorização nesse período intermediário.

Nesse contexto, recomenda-se:

- (i) Avaliar a aplicação, de forma experimental, dos requisitos do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO) de Exploração e Produção, considerando sua versão revisada;
- (ii) Promover as devidas adaptações às especificidades tecnológicas e operacionais das instalações de produção de hidrogênio;



(iii) Utilizar essa experiência como instrumento de aprendizado regulatório, subsidiando a elaboração da futura norma definitiva.

A escolha do SGSO como base para a regulação experimental se justifica pelo fato de este sistema contemplar instrumentos previstos no Art. 10 da Lei nº 14.948/2024, como Estudo de Análise de Riscos (EAR), Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR) e Plano de Ação de Emergência (PAE), bem como adotar uma abordagem baseada em desempenho, reconhecida internacionalmente como efetiva para atividades de alto risco. Adicionalmente, pesa a favor desta alternativa regulatória o fato de endereçar de forma estruturada fatores de gestão, que figuram entre as principais causas de incidentes envolvendo hidrogênio, conforme evidenciado em bases de dados internacionais.

6.3. Revisão do Regimento Interno da ANP

Recomenda-se a revisão do Regimento Interno da ANP, com a finalidade de estabelecer as atribuições relacionadas à regulação da segurança operacional das instalações de produção de hidrogênio, abrangendo tanto o hidrogênio natural (geológico) quanto o hidrogênio produzido por rotas sintéticas.

Essa revisão mostra-se necessária em função da ampliação das competências da ANP decorrentes da entrada em vigor da Lei nº 14.948/2024 e do caráter inovador e transversal do setor de hidrogênio, cujas atividades dialogam com áreas tradicionalmente associadas ao *upstream* de petróleo e gás, ao gás natural, às novas energias e à segurança operacional.

A explicitação das atribuições regimentais permitirá identificar claramente quais áreas técnicas da Agência serão responsáveis pelos processos de autorização, regulação e fiscalização da segurança operacional dessas instalações, prevenindo lacunas institucionais, sobreposição de competências ou interpretações divergentes. Ademais, a adequação do Regimento Interno contribuirá para o fortalecimento da governança interna da ANP e para a previsibilidade e transparência perante os agentes regulados.

Recomenda-se, ainda, que essa revisão do Regimento Interno seja conduzida de forma articulada com a inclusão da ação correspondente na Agenda Regulatória da ANP, garantindo alinhamento estratégico entre planejamento regulatório e a implementação efetiva do arcabouço regulatório aplicável à produção de hidrogênio no país.

6.4. Revisão da resolução de comunicação de incidentes

Recomenda-se ainda revisar a Resolução ANP nº 882 de 2022, que disciplina a comunicação de incidentes à ANP, de modo a incluir explicitamente os agentes regulados do setor de produção de hidrogênio no rol de obrigados a comunicar incidentes operacionais.

Essa revisão deve definir critérios claros de enquadramento, prazos e conteúdo mínimo das comunicações, abrangendo incidentes envolvendo hidrogênio, tais como perdas de contenção, princípios de incêndio, explosões e paradas não programadas associadas à segurança operacional.




Essa recomendação encontra respaldo direto nas boas práticas internacionais. Em especial, o relatório da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) sobre regulação baseada em risco para o uso seguro do hidrogênio destaca, de forma explícita, que a notificação obrigatória de acidentes e incidentes envolvendo perda de contenção de hidrogênio é elemento essencial para o aprendizado regulatório, a melhoria contínua da segurança e o fortalecimento da cultura de prevenção de acidentes;

A sistematização dessas comunicações permitirá à ANP construir um histórico nacional de eventos, identificar padrões de falha e orientar ações de fiscalização, revisão normativa e disseminação de lições aprendidas.

6.5. Considerações finais sobre a estratégia regulatória

Por fim, recomenda-se que a ANP adote uma estratégia regulatória escalonada e baseada em risco, combinando instrumentos transitórios e experimentais no curto prazo com a consolidação de uma norma específica e estruturante no médio prazo.

Tal abordagem está alinhada às experiências internacionais analisadas, às diretrizes da OCDE e aos princípios da boa regulação, contribuindo para o desenvolvimento seguro, sustentável e competitivo da indústria do hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil.



7.

CONCLUSÃO



7. Conclusão

O presente relatório evidenciou que o desenvolvimento do mercado de hidrogênio de baixa emissão de carbono no Brasil, incluindo tanto o hidrogênio natural quanto o produzido por rotas sintéticas, impõe desafios relevantes do ponto de vista da segurança operacional, em razão das propriedades físico-químicas do hidrogênio, da diversidade de rotas tecnológicas e do estágio ainda incipiente de maturidade regulatória dessa atividade no país.

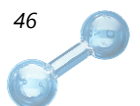
A análise do marco legal vigente, especialmente após a promulgação da Lei nº 14.948/2024, demonstra que a ANP passou a deter competências claras para atuar na regulação do setor, inclusive no que se refere à segurança das instalações, o que reforça a necessidade de estruturar um arcabouço regulatório compatível com os riscos envolvidos e alinhado às boas práticas internacionais.

A avaliação das experiências regulatórias nacionais e internacionais, bem como dos registros de incidentes associados ao hidrogênio, indica que abordagens baseadas exclusivamente em autorregulação e adoção voluntária de normas técnicas não são suficientes para assegurar níveis adequados de prevenção de acidentes, proteção ambiental e salvaguarda da vida humana à medida que a atividade ganha escala. Ao mesmo tempo, o relatório evidencia a importância de se adotar uma estratégia regulatória proporcional, flexível e baseada em risco, capaz de acomodar a inovação tecnológica sem renunciar aos requisitos mínimos de segurança.

Nesse sentido, a principal conclusão do subgrupo foi a de que, de forma geral, no cenário internacional, o modelo regulatório adotado para a segurança operacional das instalações de produção de óleo e gás tem sido estendido às instalações de produção de hidrogênio.

À luz dessa convergência internacional, e considerando que no Brasil a ANP adota, para as instalações de maior risco da cadeia de óleo e gás — tais como plataformas, sondas, campos terrestres, poços, sistemas submarinos e refinarias — um modelo regulatório baseado em desempenho, conclui-se que essa abordagem é aplicável e adequada às futuras instalações de produção de hidrogênio. Tal opção regulatória mostra-se consistente com a natureza dos riscos envolvidos, permite tratamento proporcional e flexível à diversidade de projetos e tecnologias esperadas nesse setor emergente e, ao mesmo tempo, preserva e valoriza a tradição regulatória já consolidada pela ANP em matéria de segurança operacional.

Nesse contexto, a construção de um arcabouço progressivo, iniciado por instrumentos transitórios e experimentais e evoluindo para requisitos regulatórios mais estruturados, apresenta-se como a abordagem mais adequada. A utilização de mecanismos de regulação experimental, com referência aos princípios e ferramentas do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional já adotado pela ANP, surge como uma solução viável para o período anterior à edição de uma norma específica, permitindo aprendizado regulatório, coleta de dados e consolidação de práticas de gestão de riscos. Complementarmente, a revisão de instrumentos regulatórios existentes, como a norma de comunicação de incidentes, mostra-se essencial para garantir transparência, aprendizado institucional e alinhamento com as boas práticas recomendadas por organismos internacionais.





O relatório também destaca que a efetividade do futuro arcabouço regulatório depende não apenas da edição de normas legais, mas igualmente do adequado ajuste da governança interna da ANP. Nesse sentido, a revisão do Regimento Interno, com a definição clara das atribuições das áreas responsáveis pela regulação da segurança operacional das instalações de produção de hidrogênio, é condição necessária para assegurar eficiência administrativa e segurança jurídica aos agentes regulados.

Conclui-se, portanto, que a atuação da ANP no campo da segurança operacional do hidrogênio deve ser orientada por uma visão estratégica de médio e longo prazo, combinando planejamento regulatório, instrumentos normativos proporcionais ao risco, fortalecimento institucional e alinhamento com referências internacionais. A adoção das recomendações apresentadas neste relatório contribuirá para criar um ambiente regulatório seguro, previsível e favorável ao desenvolvimento sustentável do mercado de hidrogênio no Brasil, assegurando que a expansão dessa nova indústria ocorra em consonância com elevados padrões de segurança operacional e proteção ambiental.





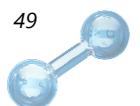
8.

REFERÊNCIAS



8. Referências

- [1] Lei nº 14.948, de 2 de agosto de 2024, disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14948.htm.
- [2] Portaria ANP nº 148/2022.
- [3] Despacho CPT-ANP nº 1.255.
- [4] Despacho nº 17/2025/SBQ-CPT/SBQ/ANP-DF.
- [5] Programa Nacional do Hidrogênio – PNH2 – Proposta de Diretrizes, Ministério de Minas e Energia - MME, Julho de 2021
- [6] *Mapping Study for the Brazilian Hydrogen RD&I Sector, Associação Brasileira de Hidrogênio (ABH2) and the Netherlands Innovation Network (NIN)*, 30/09/2024.
- [7] Programa Nacional do Hidrogênio – PNH2, MME, 2021, disponível em <https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1/planodetrabalhotrienalpnh2.pdf>
- [8] *Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen – OECD*, disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/risk-based-regulatory-design-for-the-safe-use-of-hydrogen_46d2da5e-en.html
- [9] *The EU Seveso Directive*, disponível em: https://minerva.jrc.ec.europa.eu/EN/content/minerva/ff6958de-16ad-455e-94f6-764e56668f58/the_seveso_directive
- [10] Diretiva 2012/18/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0018>
- [11] *European Hydrogen Safety Panel - Clean Hydrogen Partnership*, disponível em: https://www.clean-hydrogen.europa.eu/get-involved/european-hydrogen-safety-panel-0_en
- [12] *Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung - 12. BImSchV)*, disponível em: https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_12_2000/12_BImSchV.pdf
- [13] *Ordinance concerning the protection of safety and health in the provision of work equipment and its use at work, concerning safety when operating installations subject to monitoring and concerning the organization of industrial safety and health at work (Betriebssicherheitsverordnung – Ordinance on Industrial Safety and Health – BetrSichV), Article 1 of the Ordinance of 27 September, 2002 (BGBl – Federal Gazette – I p. 3777)*, disponível em: https://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/Ordinance_on_Industrial_Safety_and_Health.pdf
- [14] *Sécurité liée à l'hydrogène : l'Ineris publie un document de référence pour accompagner un déploiement maîtrisé de la filière | Ineris*, disponível em:





- <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/securite-liee-hydrogene-ineris-publie-document-reference-accompagner-deploiement>
- [15] *Regulating carbon capture utilisation and storage and offshore hydrogen production* – HSE, disponível em: <https://www.hse.gov.uk/carboncapture/regulating-ccs.htm>
- [16] *The Control of Major Accident Hazards Regulations 2015. Guidance on Regulations L111*, disponível em: <https://www.hse.gov.uk/pubns/priced/l111.pdf>
- [17] *Safety Archieven – NLHydrogen*, disponível em: <https://nlhydrogen.nl/en/safety/>
- [18] *Danish Regulations - Climate Change Adaptation*, disponível em: <https://eng.klimatilpasning.dk/national-adaptation/danish-regulations>
- [19] *Lov om én indgang for produktionsvirksomheder og statslig udpegning af industri-parker*, de 20/06/2025. Disponível em: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2025/697>
- [20] *Bekendtgørelse af lov om autorisation af virksomheder på el-, vvs- og kloakinstallationsområdet*, de 01/11/2019. Disponível em: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2019/30>
- [21] *Working Environment Act – Arbejdstilsynet*, disponível em: <https://at.dk/en/regulations/working-environment-act/>
- [22] *Bekendtgørelse om modstandsdygtighed og beredskab i energisektoren*, de 03/06/2025, disponível em: <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2025/260>
- [23] *Codes & Standards - Permitting Tools - H2tools - Hydrogen Tools*, <https://h2tools.org/codes-standards-permitting-tools>
- [24] *Hydrogen Technologies Safety Guide*, disponível em: <https://h2tools.org/sites/default/files/60948.pdf>
- [25] *Plan Review Checklist, Outdoor Hydrogen Fueling Station Employing Delivered Hydrogen, Bulk Liquid and Gaseous Storage, and High Pressure Gaseous Hydrogen Dispensing*, disponível em: <https://h2tools.org/sites/default/files/NFPA 2 2016 Edition Code Compliance Checklist Draft 040219 wo code text.pdf>
- [26] *Hydrogen – BC Government Enacts New Regulation - Knowledge - Fasken*, disponível em: <https://www.fasken.com/en/knowledge/2025/04/hydrogen-bc-government-enacts-new-regulation>
- [27] *Hydrogen - Alberta Energy Regulator*, disponível em: <https://www.aer.ca/understanding-resource-development/resource-development-topics/hydrogen>
- [28] *Technical Standards and Safety Act, 2000 - Loi de 2000 sur les normes techniques et la sécurité - ONTARIO REGULATION 214/01 - Compressed Gas*, de 01/08/2007, disponível em: <https://www.ontario.ca/laws/regulation/010214>
- [29] *CAN/BNQ 1784-000 - Canadian Hydrogen Installation Code*, disponível em: <https://boutique.bnq.qc.ca/en/catalogue?numeroNorme=1784-000&type=NRM>
- [30] *Regulation respecting pressure installations*, disponível em: <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/B-1.1,%20r.%206.1?langCont=en>





- [31] *Occupational Health and Safety Regulations*, RRS c S-15.1 Reg 10, CanLII, disponível em: <https://www.canlii.org/en/sk/laws/regu/rrs-c-s-15.1-reg-10/latest/rrs-c-s-15.1-reg-10.html?resultIndex=6&docType=pdf>
- [32] *Hydrogen Safety - Enhancing hydrogen safety for a safer, low-carbon hydrogen economy in Ontario*, disponível em: <https://www.tssa.org/hydrogen-safety>
- [33] *Best Practices Overview - H2tools - Hydrogen Tools*, disponível em: <https://h2tools.org/bestpractices/best-practices-overview>
- [34] *Guía de Apoyo para Solicitud de Autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno*, disponível em: https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2021/05/final_Guia-Proyectos-Especiales-Hidrogeno.pdf
- [35] Decreto 13 APRUEBA REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE INSTALACIONES DE HIDRÓGENO E INTRODUCE MODIFICACIONES AL REGLAMENTO DE INSTALADORES DE GAS, disponível em: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1204465>
- [36] *Guía de Apoyo para Solicitud de Autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno - Cluster de Energía (4e Chile)*, disponível em: <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2024/09/PDF-PARA-LECTURA-GUIA-SEC-s.pdf>
- [37] *Guía para la Aprobación de Proyectos Piloto de Hidrógeno en la Minería*, disponível em: https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2021/10/Gui%CC%81a-de-Hidro%CC%81geno_web.pdf
- [38] *Hoja de Ruta del Hidrógeno*, disponível em: https://www.minenergia.gov.co/static/ruta-hidrogeno/src/document/Hoja%20Ruta%20Hidrogeno%20Colombia_2810.pdf
- [39] Gobierno Nacional confirma hallazgo de hidrógeno natural en el subsuelo colombiano, disponível em: <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/gobierno-nacional-confirma-hallazgo-de-hidrogeno-natural-en-el-subsuelo-colombiano/>
- [40] *High-Pressure Gas Safety Act (HPGSA)*, disponível em: <https://www.japaneselawtranslation.go.jp/ja/laws/view/47547-3>
- [41] *Australia's National Hydrogen Strategy - DCCEEW*, disponível em: <https://www.dcceew.gov.au/energy/publications/australias-national-hydrogen-strategy>
- [42] *National Hydrogen Regulatory Review – Industry consultation on national codes of best practice – November 2024 - Department of Climate Change, Energy, Environment and Water*, disponível em: <https://consult.dcceew.gov.au/national-hydrogen-regulatory-review>
- [43] *Hydrogen Regulations and Standards Australia - H2 Council*, disponível em: <https://h2council.com.au/regulations-and-standards/>
- [44] *ME-093 - Hydrogen Technologies - Strategic Work Plan*, disponível em: <https://h2council.com.au/wp-content/uploads/pdf/ME-093-Hydrogen-Technologies-Strategic-Work-Plan.pdf>
- [45] *Australian Renewable Energy Agency (ARENA)*, disponível em: <https://arena.gov.au/projects/?project-value-start=0&project-value-end=200000000&technology=hydrogen&page=3>





Anexo I

Relatórios e análises de incidentes



Anexo I: Relatórios e análises de incidentes

Nas pesquisas realizadas, o subgrupo encontrou diversas referências a respeito de incidentes em instalações que produzem ou manuseiam hidrogênio. Os principais achados são sumarizados neste Anexo.

Relatório *Review of Hydrogen Accidents and Incidents in NASA Operations*

O artigo "*Review of Hydrogen Accidents and Incidents in NASA Operations*", elaborado por Paul M. Ordin no Lewis Research Center da NASA, apresenta uma análise abrangente de 96 incidentes envolvendo hidrogênio ocorridos no desenvolvimento e operação dos sistemas de propulsão e energia da NASA.

O artigo detalha que, embora o número de acidentes tenha sido relativamente baixo, muitos poderiam ter sido evitados pelo cumprimento rigoroso das normas e procedimentos estabelecidos pela NASA. Em relação aos principais fatores causais, o estudo elenca:

1. Mau funcionamento e/ou vazamentos de válvulas (20%)

Causados por deficiências operacionais (área de trabalho) e procedimentais, tais como não seguir os requisitos estabelecidos nos procedimentos operacionais. Além disso, em diversas ocasiões, o projeto da válvula ou os materiais usados na construção causaram o mau funcionamento ou vazamento.

2. Vazamento por conexões e/ou acessórios (16%)

Conexões de flange soltas e/ou instaladas incorretamente causaram o encolhimento de anéis de vedação e/ou juntas devido à baixa temperatura e resultaram em vazamentos que causaram acidentes.

3. Falhas nos discos de segurança (11%)

Falhas nos discos, instalados em tanques, tubulações e caminhões-tanque, foram causadas por mau funcionamento, instalação inadequada ou não cumprimento do plano de manutenção preventiva. Na maioria dos casos, o disco funcionou conforme projetado e rompeu quando a pressão de projeto foi atingida. A ruptura, no entanto, liberou hidrogênio e, em alguns casos, causou um acidente.

4. Falhas em materiais (11%)

Em alguns casos, o projeto não considerou totalmente a ampla gama de coeficientes de expansão dos materiais utilizados e o grau de confinamento desses materiais necessário para limitar o desenvolvimento de altas tensões. A fragilização dos materiais pelo hidrogênio também foi um fator em vários acidentes.

5. Altas taxas de ventilação de hidrogênio (11%)





Altas taxas de ventilação principalmente devidas a limitações no projeto do sistema. A análise sugere que altas taxas de ventilação, combinadas com condições climáticas que limitem a dispersão de hidrogênio, tendem a focalizar o incêndio acima da chaminé de ventilação, ao redor da área da plataforma do veículo ou acima da área de teste do tanque.

6. Criobombeamento (10%)

Em vários casos, o resfriamento de vasos e linhas produziu um ambiente de pressão reduzida que resultou na sucção de ar para dentro do sistema, principalmente através de pontos de vazamento ou válvulas defeituosas. A entrada de ar resultou na formação de misturas inflamáveis com hidrogênio durante a fase de aquecimento das operações. Acidentes causados pela liquefação do ar também foram incluídos na categoria de criobombeamento.

As causas dos incidentes foram classificadas em oito categorias principais, a saber:

1. Deficiências na Área de Trabalho e Operação (26%)

Incluem condições inadequadas durante instalação, manutenção, fabricação e limpeza, além da falta de treinamento ou instruções específicas para os operadores.

2. Deficiências Procedimentais (25%)

Envolvem a falha em seguir procedimentos estabelecidos ou a ausência de procedimentos adequados. Muitos acidentes ocorreram porque operadores ignoraram instruções específicas ou não realizaram etapas críticas, como purga de sistemas ou aplicação correta de pressões.

3. Deficiências de Projeto (22%)

Envolvem projetos inadequados de componentes ou sistemas, como a omissão de dispositivos de segurança, erros na especificação de materiais, falhas em prever tensões e fadiga, e ausência de informações essenciais nos desenhos técnicos.

4. Deficiências de Planejamento (14%)

Incluem planejamento limitado ou inadequado, como a falta de preparação de planos de teste ou a não realização de estudos de risco. A ausência de antecipação de cenários perigosos contribuiu para diversos incidentes.

5. Mau Funcionamento (8%)

Qualquer anomalia em componentes que não funcionaram conforme o esperado. Isso inclui válvulas que não abriram ou fecharam corretamente, sensores defeituosos e falhas em sistemas de ventilação.

6. Falhas de Materiais (3%)

Referem-se à falha de componentes ou materiais devido a tensões que, embora consideradas dentro dos limites de projeto, resultaram em rupturas. Isso inclui problemas como fragilidade induzida por hidrogênio e incompatibilidade de materiais com baixas temperaturas.

7. Incompatibilidade de Materiais (3%)

Uso de materiais que reagem de forma adversa ao hidrogênio, seja por erro de projeto ou por acidente. Isso inclui materiais que se tornam frágeis ou inflamáveis em contato com o hidrogênio líquido ou gasoso.



8. Contaminação (% não especificado, mas incluído nos casos restantes)

Uso de materiais contaminados ou presença de impurezas nos sistemas, o que pode levar à ignição ou falha de componentes.

Em 83% dos acidentes hidrogênio líquido e/ou gasoso foi liberado para a atmosfera ou para dentro de um recinto fechado, como um tanque ou linha. Quando o hidrogênio foi liberado para a atmosfera, a ignição da mistura ocorreu 62% das vezes (41 acidentes); e para a liberação em compartimentos fechados, a ignição ocorreu em todas as vezes (20 acidentes). A análise apontou entre as principais fontes de ignição: curtos-circuitos, faíscas, cargas estáticas e falhas mecânicas

Relatórios de incidentes investigados pelo CSB

O *U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB)* é uma agência federal independente dos Estados Unidos responsável por investigar incidentes industriais graves envolvendo substâncias químicas perigosas. Seu papel é identificar as causas desses acidentes, emitir recomendações de segurança e promover a prevenção de novos eventos, sem exercer função regulatória ou punitiva. O foco do CSB está na melhoria contínua da segurança química por meio da análise técnica e da disseminação de informações relevantes ao setor industrial, trabalhadores e ao público em geral.

Em 14 de janeiro de 2025, o CSB anunciou o lançamento de um relatório intitulado *Chemical Incident Reports*. Esse relatório tem como objetivo fornecer informações relativas aos eventos significativos que foram reportados ao CSB desde que a Regra de Notificação de Liberação Acidental (ARRR) da agência entrou em vigor em março de 2020. Cada relatório apresenta uma descrição do evento, a causa provável, os impactos humanos e patrimoniais, além de dados técnicos relevantes. Até o momento da elaboração do presente documento, já haviam sido divulgados três volumes deste relatório.

O primeiro volume, divulgado em 14/01/2025, reúne informações sobre 26 incidentes ocorridos em 15 estados, resultando em cinco fatalidades, 17 ferimentos graves e aproximadamente 700 milhões de dólares em danos materiais.

Em 15/04/2025, foi publicado o segundo volume, detalhando 25 liberações químicas graves ocorridas em 14 estados norte-americanos entre maio de 2020 e agosto de 2024, que resultaram em sete mortes, 23 feridos graves e quase 1 bilhão de dólares em prejuízos.

O terceiro volume, publicado em 22/07/2025, cobre 30 incidentes químicos graves ocorridos em 15 estados norte-americanos, causando duas fatalidades, 25 feridos graves e aproximadamente 1,8 bilhão de dólares em danos patrimoniais.

A tabela a seguir contém as informações dos incidentes envolvendo hidrogênio descritos nestes relatórios. Foram considerados apenas os incidentes em instalações que manuseiam o gás hidrogênio diretamente, e excluídos os incidentes nos quais uma reação química indesejada entre substâncias presentes nas instalações gerou hidrogênio.

Esses incidentes destacam os riscos associados ao manuseio de hidrogênio em ambientes industriais, especialmente quando combinado com outros produtos químicos ou em processos de alta temperatura e pressão.



**Tabela 6** – Incidentes relacionados a hidrogênio contidos nos relatórios de incidentes investigados pelo CSB

Data	Instalação	Local	Tipo de Instalação	Descrição do incidente	Consequências	Causa Provável
10/04/2020	Valero Meraux Refinery	Meraux, LA	Refinaria de petróleo	Explosão seguida de incêndio de uma mistura gasosa de hidrogênio e hidrocarbonetos após liberação na unidade de hidrocraqueamento.	1 ferido grave; US\$ 5,15 milhões em danos	Fechamento incorreto de válvula de isolamento à jusante da válvula alívio de pressão
21/01/2023	CITGO Petroleum Refinery	Sulphur, LA	Refinaria de petróleo	Incêndio ocasionado pela liberação de 13,6 kg de gás hidrogênio de um trocador de calor de casco e tubos.	US\$ 1,5 milhão em danos; parada de emergência	Torque insuficiente nos parafusos do flange após ciclos térmicos
15/02/2021	Chevron Phillips	Port Arthur, TX	Indústria petroquímica	Incêndio ocasionado pela liberação de uma mistura gasosa de hidrogênio e hidrocarbonetos na fornalha de uma caldeira a gás.	US\$ 5,8 milhões em danos materiais	Ruptura de tubos por superaquecimento e falha de válvula de isolamento
15/02/2021	Chevron Phillips	Sweeny, TX	Indústria petroquímica	Explosão ocasionada pela liberação de uma mistura gasosa de hidrogênio e hidrocarbonetos na fornalha de um forno a gás.	US\$ 2,5 milhões em danos materiais	Ruptura de tubo por estresse térmico e ignição por isolamento quente
19/08/2022	Valero	Texas City, TX	Refinaria	Incêndio de grandes proporções ocasionado pela liberação de uma mistura gasosa de hidrogênio e hidrocarbonetos na fornalha de um forno a gás.	US\$ 10 milhões em danos materiais	Ruptura de tubo por superaquecimento e ausência de salvaguardas automatizadas
21/01/2023	PBF Energy	Chalmette, LA	Refinaria	Incêndio de grandes proporções ocasionado pela liberação de uma mistura gasosa de hidrogênio e hidrocarbonetos na fornalha de um forno a gás.	US\$ 34,1 milhões em danos materiais	Ruptura de tubo por superaquecimento e fluência e falha de válvula de gás combustível





Data	Instalação	Local	Tipo de Instalação	Descrição do incidente	Consequências	Causa Provável
03/02/2023	Dow (Union Carbide)	Hahnville, LA	Indústria química	Incêndio por atmosfera inflamável contendo hidrogênio e outros gases durante parada para manutenção da unidade de polietileno.	4 trabalhadores feridos	Trabalho a quente em vaso com atmosfera inflamável e isolamento inadequado
17/03/2024	ExxonMobil	Baytown, TX	Refinaria	Incêndio de grandes proporções ocasionado pela liberação de uma mistura gasosa de hidrogênio e nafta na fornalha de um forno a gás.	US\$ 32 milhões em danos materiais	Ruptura de tubos por superaquecimento e fluência; obstrução por detritos deixados no interior dos tubos após trabalhos de manutenção.
19/04/2023	Valero	Port Arthur, TX	Refinaria	Incêndio após ruptura de mangueira exposta a 1800 psig, liberando mistura inflamável com hidrogênio.	US\$ 2,3 milhões em danos materiais	Mangueira temporária com pressão insuficiente foi exposta a alta pressão por falha nos processos de gestão de mudança e <i>pre-startup safety review</i> (PSSR).





Hydrogen Component Reliability Database (HyCReD)

O *Hydrogen Component Reliability Database* (HyCReD) é um projeto colaborativo entre o *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), a Universidade de Maryland e diversos stakeholders do setor de hidrogênio. Seu objetivo é melhorar a confiabilidade e segurança de instalações de hidrogênio, integrando metodologias de redução de risco e taxonomias de dados de confiabilidade de componentes que apoiam a análise de taxas de falha na infraestrutura de hidrogênio.

O projeto busca quantificar as taxas de falha de componentes de hidrogênio por meio da coleta e análise de dados de alta qualidade. Ele oferece suporte a:

- Avaliação quantitativa de risco, útil para códigos e normas de segurança e projetos de instalações.
- Manutenção preditiva, com impacto em protocolos de operação e manutenção (O&M), custos e disponibilidade de estações.
- Identificação de necessidades de P&D em componentes de hidrogênio, contribuindo para o desenvolvimento da cadeia de suprimentos.

Atualmente, o acesso direto ao *Hydrogen Component Reliability Database* (HyCReD) não está disponível publicamente por meio de um portal específico ou link direto.

Lessons Learned Bulletin No. 1 – Accidents Involving Hydrogen

O documento "*Lessons Learned Bulletin No. 1 – Accidents Involving Hydrogen*" publicado pelo *Major Accident Hazards Bureau* (MAHB) tem como objetivo compartilhar lições aprendidas com acidentes envolvendo hidrogênio, com base em dados do sistema europeu eMARS e outras fontes.

O documento apresenta um resumo de 6 acidentes, focando nas causas e lições aprendidas.

De acordo com o boletim, a maioria dos incidentes está relacionada a falhas humanas, erros de projeto, instruções insuficientes ou procedimentos operacionais inadequados. A segurança depende fortemente da formação dos operadores e da qualidade dos métodos de trabalho. A emissão adequada de permissões é essencial durante atividades de manutenção e reparo, especialmente em ambientes com risco de liberação de hidrogênio.

O boletim reforça a necessidade de capacitação contínua, planejamento rigoroso e compartilhamento de experiências para melhorar a segurança em instalações que lidam com hidrogênio.

A tabela a seguir resume as informações contidas no boletim.



**Tabela 7** – Resumo dos incidentes contidos no documento “*Lessons Learned Bulletin No. 1 – Accidents Involving Hydrogen*” publicado pelo *Major Accident Hazards Bureau*

Tipo de Instalação	Consequências do Acidente	Resumo do Evento	Causas Identificadas	Lições Aprendidas
Fábrica de plásticos e borracha	Ferimentos graves em um trabalhador	Liberação de hidrogênio e buteno devido à ruptura de tubulações	Falha de tubulação; possível erro de projeto ou manutenção	Importância da integridade das tubulações e da resposta rápida de emergência
Planta química com reator de alta pressão	Incêndio tipo jetfire; quatro mortes; danos significativos à planta	Vazamento de hidrogênio sob alta pressão durante inspeção de reator	Procedimentos operacionais inadequados; falha na gestão de válvulas	Seguir procedimentos rigorosos e controle de permissões de trabalho
Instalação de produção de hidrogênio	Incêndio e evacuação da planta	Vazamento de hidrogênio durante manutenção em linha pressurizada	Falha na liberação de pressão antes da manutenção	Garantir despressurização completa antes de iniciar trabalhos
Laboratório de pesquisa	Explosão; danos materiais; sem feridos	Acúmulo de hidrogênio em espaço confinado devido a ventilação inadequada	Falha no sistema de ventilação; ausência de detecção de gás	Monitoramento contínuo e ventilação adequada em áreas com risco de acúmulo de gás
Estação de abastecimento de hidrogênio	Incêndio; danos à estrutura; sem vítimas	Vazamento durante operação de abastecimento	Conexão incorreta; falha humana	Treinamento adequado e verificação de conexões antes da operação
Instalação industrial	Explosão; um ferido; danos à estrutura	Liberação de hidrogênio durante teste de estanqueidade	Procedimento de teste inadequado; ausência de barreiras de contenção	Avaliação de risco antes de testes e uso de barreiras físicas para contenção





Anexo II

Normativos de Segurança



Anexo II: Normativos de Segurança

Neste anexo estão contidos os normativos relativos ao hidrogênio levantados pelo Grupo de Trabalho.

1. Códigos Nacionais dos Estados Unidos

- **International Building Code (IBC):** Requisitos gerais de construção para edifícios com base na classe de ocupação.
- **International Fire Code (IFC)/NFPA 1 Uniform Fire Code:** Requisitos para estações de abastecimento de hidrogênio, gás inflamável e armazenamento de fluidos criogênicos.
- **International Mechanical Code (IMC):** Requisitos de ventilação para uso de hidrogênio em locais internos.
- **International Fuel Gas Code (IFGC):** Requisitos para tubulação de gás inflamável.

1.1. Códigos e Normas Específicos para Tecnologias de Hidrogênio:

- **NFPA 2 Hydrogen Technologies Code:** O NFPA 2 é o Código de Tecnologias de Hidrogênio da National Fire Protection Association (NFPA), que estabelece padrões para estações de abastecimento de hidrogênio. É um padrão nacional que garante o uso seguro do hidrogênio para veículos e aplicações estacionárias. A NFPA 2 contém requisitos relativos ao armazenamento e uso em laboratório do hidrogênio, serviço e reparo de veículos, proteção contra explosões, aplicações de combustão e classificação elétrica.
- **NFPA 55 Compressed Gas and Cryogenic Fluids Code:** Código abrangente de segurança de gases que aborda gases inflamáveis e contém requisitos específicos para hidrogênio.
- **NFPA 853 Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Systems:** Abrange a instalação de todas as células a combustível comerciais, incluindo células a combustível PEM de hidrogênio.

1.2. Normas de Componentes, Desempenho e Instalação de Tecnologias de Hidrogênio:

- **ASME B31.3 e B31.12 Piping and Pipelines:** Códigos de projeto e instalação de tubulação, incluindo a seleção de materiais.
- **ASME Boiler and Pressure Vessel (BPV) Code:** Aborda o projeto de vasos de pressão de liga de aço e compósitos.
- **Série CGA S:** Aborda os requisitos para dispositivos de alívio de pressão para contêineres.
- **Série CGA H:** Componentes e sistemas.





- **UL 2075:** Sensores.
- **Série CSA H** de normas de componentes de hidrogênio.
- **CSA FC1:** Células a combustível estacionárias.
- **SAE J2601/SAE J2600:** Dispensação e bicos de dispensadores.

Além dos códigos e normas citados anteriormente, para instalações de produção de hidrogênio nos EUA, várias normas da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) são relevantes, dentre as quais podem ser citadas:

- **29 CFR 1910.103 - *Hydrogen*:** Esta norma específica da OSHA cobre os requisitos para sistemas de hidrogênio gasoso e liquefeito, incluindo o projeto, construção, instalação e operação segura desses sistemas.
- **29 CFR 1910.101 - *Compressed Gases (General Requirements)*:** Esta norma estabelece requisitos gerais para gases comprimidos, incluindo hidrogênio, em recipientes como cilindros e tanques portáteis. Inclui inspeção, manuseio, armazenamento e dispositivos de alívio de segurança.
- **29 CFR 1910.119 - *Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals*:** Esta norma se aplica a processos que contêm uma quantidade limiar de produtos químicos altamente perigosos, incluindo hidrogênio. Ela abrange a gestão de segurança de processos para prevenir a liberação de substâncias que possam causar acidentes graves.
- **29 CFR 1910.120 - *Hazardous Waste Operations and Emergency Response (HAZWOPER)*:** Esta norma abrange operações de resposta a emergências e operações de resíduos perigosos, que podem ser relevantes para instalações de produção de hidrogênio em caso de vazamentos ou outros incidentes.

2. Chile

Os seguintes normativos são citados no Guia de Implementação de Pilotos e Validação de Tecnologias que Utilizam Hidrogênio como Combustíveis em Mineração como possíveis referências a serem utilizadas no desenvolvimento de projetos de instalações que manuseiem hidrogênio.

Gerais (para toda a cadeia de valor):

- ASME B31.12 *Hydrogen piping and pipelines*
- ASME STP-PT- 006 *Design Guidelines for Hydrogen Piping and Pipelines*
- CSA B51 *Boiler, Pressure Vessel, and Pressure Piping Code*
- ISO 15916 *Basic consideration for the safety of hydrogen systems*
- ISO 14687 *Hydrogen fuel quality – Product specification*
- NFPA 2 caps. 1 a 8 General, CH2 e LH2





- NFPA 55 *Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code*

Produção de H2:

- NFPA 2 capítulo 13 *Hydrogen Generation Systems*
- ISO 16110 *Hydrogen generators using fuel processing technologies*
- ISO 22734 *Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications.*

Acondicionamento:

- ANSI/CSA HGV 4.8-2012 (R2018) *Hydrogen gas vehicle fueling station compressor guideline*

Armazenamento:

- ASME (BPVC) *Boiler and Pressure Vessel Code*
- ISO 11114-1:2020 *Compatibility of cylinder gas and valve materials with gas contents*
- EIGA 100/11 *Hydrogen Cylinders and Transport Vessels*
- EIGA 171/12 *Storage of Hydrogen in Systems Located Underground*
- NFPA 2 cap. 7-8 *Gaseous Hydrogen / Liquefied Hydrogen*
- CGA H-2 *Guideline for Classification and Labeling of Hydrogen Storage Systems with Hydrogen Absorbed in Reversible Metal Hydrides*
- NFPA 55 *Compressed Gases and Cryogenic Fluids Code*
- ISO 16111 *Transportable gas storage devices — Hydrogen absorbed in reversible metal hydride*

Transporte e distribuição:

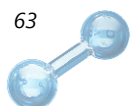
- ASME B31.12 *Hydrogen piping and pipelines*
- EIGA 121/14 (CGA G-5.6) *Hydrogen Pipeline Systems*
- EIGA 15/06 *Gaseous Hydrogen Stations Directiva 2008/68/CE, 49 C.F.R. §171 a 180*
- EIGA 06/19 *Safety in storage, handling and distribution of liquid hydrogen*

Qualidade de H2:

- ISO 14687 *Hydrogen fuel quality - Product specification*

Produção de H2:

- IEC 62282 *Fuel cell technologies*





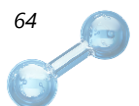
- NFPA 2 capítulo 12 *Hydrogen Fuel Cell Power Systems*

Estações de distribuição pública de hidrogênio

- ISO 19880-1 *Gaseous hydrogen — Fuelling stations-General Requirements*
- NFPA 2 capítulo 10 *GH2 Vehicle Fueling Facilities*
- ISO 17268 *Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices.*
- SAE J2601 *Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles*
- ASME B31.12 *Hydrogen piping and pipelines*
- SAE J2601/3_2013 *Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks*
- SAE J2601/2_2014 *Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles*

Consumo (veículos e geração de calor)

- Regulamento (CE) 79/2009
- Regulamento CEPE 134
- GTR13-ECE/TRANS/180/Add.13/ 2013
- EIGA 15/06 *Gaseous Hydrogen Stations*
- IEC 62282 *Fuel cell technologies*
- ISO 13984 *Liquid hydrogen — Land vehicle fueling system interface*
- ISO 17268 *Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices*
- ISO 19880-1 *Gaseous hydrogen — Fuelling stationsGeneral Requirements*
- ISO 21266 *Road vehicles — Compressed gaseous hydrogen (CGH2) and hydrogen/natural gas blends fuel systems*
- ISO 23273 *Fuel cell road vehicles – Safety specifications - Protection against H2 hazards for vehicles fuelled with compressed H2*
- NFPA 2 cap. 7-8 *Gaseous Hydrogen / Liquefied Hydrogen*
- NFPA 2 cap. 10-11-12 *GH2 Vehicle Fueling Facilities / H2 Fueling Facilities / Hydrogen Fuel Cell Power Systems*
- NFPA 2 cap. 14-15-16-17-18 *Combustion Applications / Special Atmosphere Applications / Laboratory Operations / Parking Garages / Repair Garage*
- SAE AIR6464 *Hydrogen Fuel Cells Aircraft Fuel Cell Safety Guidelines*
- SAE AS6858 *Installation of Fuel Cell Systems in Large Civil Aircraft*
- SAE J2578 *Recommended Practice for General Fuel Cell Vehicle Safety*
- SAE J2579 *Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles*
- SAE J2601 *Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles*





- SAE J2601/2 *Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles*
- SAE J2601/3 *Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Industrial Trucks*
- SAE J2799 *Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software*
- SAE J2990/1 *Gaseous Hydrogen and Fuel Cell Vehicle First and Second Responder Recommended Practice*

Normas informativas

- CGA G-5- 2017 *Hydrogen*
- CGA G-5.3 *Commodity Specification for Hydrogen*
- CGA H-4 *Terminology Associated with Hydrogen Fuel Technologies*
- CGA P-28 *OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Systems*
- EIGA 122/18 *Environmental impacts of hydrogen plants*
- EIGA 155/09/E *Best available techniques for hydrogen production by steam methane reforming*
- EIGA Doc 183/13/E *Best Available Techniques for the Co-Production of Hydrogen, Carbon Monoxide & their mixtures by Steam Reforming*
- EIGA 220/19 *Environmental Guidelines for Permitting Hydrogen Plants Producing Less Than 2 Tonnes per Day*
- EN 16942 *Fuels - Identification of vehicle compatibility - Graphical expression for consumer information*
- ISO/TR 15916 *Basic considerations for the safety of hydrogen systems*

3. Austrália

- AS 22734 *Hydrogen generators using water electrolysis – Industrial, commercial, and residential applications* (ISO 22734:2019, MOD)
- AS 16110.1 *Hydrogen generators using fuel processing technologies, Part 1: Safety* (ISO 16110-1:2007, MOD)
- AS ISO 16110.2 *Hydrogen generators using fuel processing technologies, Part 2: Test methods for performance*
- SA TS 19883 *Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification* (ISO/TS 19883:2017, MOD)
- AS ISO 14687 *Hydrogen fuel quality – Product specification*





Anexo III

**Experiência
Internacional**



Anexo III: Experiência Internacional

Este anexo contém as informações coletadas pelo grupo durante a pesquisa da experiência internacional relativa ao arcabouço regulatório sobre produção de hidrogênio de baixa emissão de carbono.

1. ÁFRICA

A exploração de hidrogênio natural no Mali concentra-se principalmente no campo de Bourakébougou (ou Bougou), descoberto acidentalmente em 1987 durante um furo de água e subsequentemente reavaliado por sondagens que mostraram reservatórios rasos (da ordem de dezenas a centenas de metros) com concentrações muito elevadas de H₂ (relatos citam até ~98% em amostras). Desde a redescoberta e testes resumidos na literatura, foram perfurados vários poços exploratórios e a acumulação em Bourakébougou virou referência internacional que estimulou procura de “hidrogênio natural” em outras bacias; a produção local chegou a ser usada para gerar eletricidade para a vila, o que aumentou o interesse acadêmico e comercial pelo tema.

Quanto à segurança operacional, a documentação pública específica do projeto maliano é limitada: há descrições técnicas e relatos de uso local, mas não existe um dossiê público amplo e padronizado sobre procedimentos operacionais detalhados e histórico de incidentes em Bourakébougou acessível na literatura geral.

2. EUROPA

O hidrogênio é considerado estratégico pela União Europeia (UE) para alcançar a neutralidade climática até 2050, especialmente na descarbonização de setores difíceis de eletrificar, como a indústria pesada e o transporte de longa distância. Atualmente, a maior parte do hidrogênio na UE é produzida a partir de gás natural, gerando altas emissões de CO₂.

A prioridade da UE é desenvolver o hidrogênio renovável, produzido por eletrólise com energia solar ou eólica. Metas foram estabelecidas para aumentar seu uso nos transportes e na indústria até 2035. O plano REPowerEU visa produzir e importar 10 milhões de toneladas de hidrogênio renovável até 2030, com expectativa de representar 10% do consumo energético da UE até 2050.

Diversas medidas regulatórias foram adotadas, como a Estratégia Europeia para o Hidrogênio e o pacote Fit for 55, com metas obrigatórias. Em 2023, dois atos delegados definiram critérios técnicos e ambientais para o reconhecimento do hidrogênio como renovável e para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Em julho de 2025, foi introduzido o *Low Carbon Hydrogen Delegated Act*, que exige redução mínima de 70% nas emissões em relação aos combustíveis fósseis. Embora traga segurança jurídica para projetos, não aborda diretamente aspectos de segurança física ou ocupacional das instalações.





O pacote legislativo *Hydrogen and Decarbonised Gas Market*, em vigor desde 2024, estabelece infraestrutura e mercado para o hidrogênio. A Comissão Europeia também apoia financeiramente projetos por meio de instrumentos como o Fundo de Recuperação e Resiliência.

Especificamente no que tange à regulação europeia a respeito de segurança de instalações de produção de hidrogênio, a Diretiva Seveso [9] é o principal marco legislativo da União Europeia para o controle de acidentes industriais graves envolvendo substâncias perigosas, dentre as quais, situa-se o hidrogênio. Desde sua criação em 1982, e com revisões posteriores, como a Diretiva 2012/18/EU, ela estabelece que os operadores devem tomar todas as medidas técnicas e organizacionais necessárias para prevenir acidentes e limitar suas consequências.

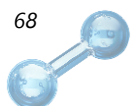
A Diretiva Seveso III (2012/18/UE) [10] estabelece requisitos diferenciados para instalações classificadas como de nível inferior e nível superior, com base na quantidade e tipo de substâncias perigosas presentes. Esses requisitos visam prevenir acidentes graves e limitar suas consequências para a saúde humana e o meio ambiente. Esses requisitos refletem o princípio da proporcionalidade: quanto maior o risco, mais rigorosas são as exigências. Para o hidrogênio, as quantidades-limiar para a aplicação de requisitos do nível inferior e superior são respectivamente de 5 toneladas e 50 toneladas.

Assim, os requisitos para estabelecimentos de nível inferior aplicam-se a instalações que possuem substâncias perigosas acima do limiar inferior, mas abaixo do limiar superior definido no Anexo I da diretiva. As principais obrigações são: notificação à autoridade competente com informações básicas sobre a instalação e substâncias perigosas, estabelecimento uma política de prevenção de acidentes graves (PPAG) documentada e implementada, adoção de um sistema de gestão da segurança proporcional aos riscos e medidas de informação ao público sobre medidas de segurança e como agir em caso de acidente.

Já os requisitos para estabelecimentos de nível superior aplicam-se a instalações que possuem substâncias perigosas acima do limiar superior. Além dos requisitos aplicáveis a instalações de nível inferior, aplicam-se os seguintes requisitos adicionais: elaboração de um relatório de segurança detalhado, incluindo identificação de perigos, avaliação de riscos e medidas de prevenção e mitigação; elaboração de plano de emergência interno pelo operador e plano de emergência externo pela autoridade competente, realização de consultas públicas sobre o relatório de segurança e planos de emergência e inspeções regulares com base em planos de inspeção específicos e fornecimento de informação mais detalhada ao público, incluindo cenários de acidentes e medidas de resposta.

Quanto aos instrumentos e associações existentes no âmbito da Comunidade Europeia, o *European Hydrogen Safety Panel* [11] (EHSP) é uma iniciativa estabelecida em 2017 no âmbito da *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking* (FCH 2 JU), e que continua suas atividades sob a *Clean Hydrogen Joint Undertaking* (Clean Hydrogen JU). Seu principal objetivo é promover a segurança como um valor central em todos os projetos financiados pela *Clean Hydrogen JU*, atuando como um centro de conhecimento especializado em segurança do hidrogênio.

A missão do EHSP é garantir que a segurança esteja integrada desde o início nos projetos de hidrogênio, fornecendo avaliações técnicas, orientações e recomendações para mitigar riscos e prevenir incidentes. O painel é estruturado em quatro grupos de trabalho. O primeiro grupo apoia diretamente os projetos, oferecendo revisões técnicas e recomendações específicas. O segundo grupo contribui para o desenvolvimento de políticas e regulamentos de segurança. O terceiro





grupo é responsável pela coleta e análise de dados, incluindo o desenvolvimento do banco de dados europeu de incidentes com hidrogênio - *Hydrogen Accidents and Incidents Database* (HIAD 3.0). Por fim, o quarto grupo se dedica à disseminação de conhecimento, organizando treinamentos, workshops e produzindo materiais educativos.

O sistema MINERVA, mantido pelo Centro Comum de Investigação (JRC) da Comissão Europeia, é uma plataforma de gestão do conhecimento voltada para a prevenção e preparação contra acidentes químicos. O MINERVA atua em todas as fases do ciclo de conhecimento: coleta, organização, análise, produção e visualização e oferece serviços como boletins de lições aprendidas, relatórios, ferramentas de modelagem e análise de risco, indicadores de desempenho, planejamento de uso do solo e preparação para emergências.

O *Major Accident Hazards Bureau* (MAHB) apoia a política da Diretiva de Seveso por meio de pesquisas, estudos técnicos, produção de ferramentas analíticas e promoção de boas práticas entre autoridades e indústrias.

A seguir serão abordadas especificidades a respeito de alguns países europeus considerados mais relevantes para o objetivo desta análise.

2.1. Alemanha

Na Alemanha, a produção, o armazenamento, a distribuição, os postos de abastecimento e o uso de hidrogênio em veículos são regidos por regulamentos relacionados a substâncias perigosas e nocivas.

Dependendo da aplicação, diferentes autoridades são responsáveis por conceder licenças relacionadas à instalação e operação de instalações de hidrogênio. As autoridades de construção dos Länder (estados federados) são responsáveis por conceder as licenças de construção e realizar as avaliações necessárias. Os requisitos regulatórios também podem variar, embora a extensão e o impacto dessas variações não estejam claramente definidos.

De acordo com o relatório *Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen* da OCDE [8], a transição energética da Alemanha está avançando, como demonstrado por mudanças legislativas relacionadas ao transporte por gasodutos e pelo aumento de incentivos para a expansão de estações de abastecimento de hidrogênio (HRS). O relatório menciona a delegação das concessões de outorgas ao nível local como uma boa prática adotada pelo país, por julgar que os entes locais são mais preparados para lidar com os desafios específicos relacionados ao meio ambiente, à indústria e à segurança locais. Contudo, o documento considera que a existência de múltiplas autoridades reguladoras e a ausência de um sistema unificado de licenciamento aumentam as chances de atrasos devido à redução da coordenação e à maior duração dos processos de licenciamento.

A produção de hidrogênio na Alemanha pode ocorrer por meio de processos centralizados ou localizados, sendo que os processos localizados contam com simplificações procedimentais.

A produção industrial de hidrogênio está sujeita às mesmas normas aplicáveis à produção de produtos químicos. Instalações industriais só podem ser construídas em zonas industriais ou comerciais, com restrições adicionais caso haja incompatibilidade com a natureza da área.



As licenças de construção e operação são concedidas pelas Autoridades Reguladoras de Construção, conforme a Lei Federal de Controle de Emissões (*Bundes-Immissionsschutzgesetz*). O processo inclui participação pública e abrange tanto a licença de construção quanto a avaliação de impacto ambiental (EIA). Instalações com produção inferior a 200 toneladas podem ser isentas de EIA, a critério da autoridade reguladora.

O processo de licenciamento é unificado (construção, operação e edificação em um único pedido). No entanto, os requisitos variam entre os estados federais. Por exemplo, na Renânia do Norte-Vestfália, recipientes estacionários com até 5 m³ estão dispensados de licença de construção.

Os prazos máximos para decisão são de 7 meses para instalações convencionais e 3 meses para instalações com armazenamento inferior a 3 toneladas. Na prática, atrasos são comuns devido à documentação incompleta ou descumprimento de exigências legais, estendendo o processo para 12 a 15 meses.

A legislação isenta de licenciamento instalações voltadas à pesquisa e desenvolvimento, desde que não envolvam produção industrial. Ainda assim, essas instalações devem atender a requisitos ambientais mínimos, a saber:

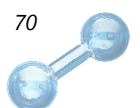
- Definição do escopo do projeto;
- Parecer técnico de entidade autorizada (ex.: TÜV, DEKRA);
- Avaliação de risco e cumprimento do Regulamento de Substâncias Perigosas;
- Documentação técnica (fluxogramas, equipamentos de segurança, plantas);
- Divulgação pública e resposta a objeções.

A segurança é regulada pelo *Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung - 12. BImSchV)* [12] (Regulamento de Acidentes com Substâncias Perigosas) e pelo *Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)* [13] - Regulamento de Segurança e Saúde Ocupacional Industrial, com exigências proporcionais à escala de produção. Para instalações com capacidade de produção superior a 5 toneladas, é requerido um plano de prevenção de acidentes. Para instalações cuja capacidade de produção exceda 50 toneladas, devem ser elaborados os seguintes documentos: relatório de segurança, plano de emergência, divulgação pública, nomeação de responsáveis por acidentes e emissões.

As distâncias de segurança são definidas com base em avaliações de risco locais, não sendo fixas por norma.

2.2. França

A experiência francesa em segurança operacional aplicada à produção e ao manuseio de hidrogênio está fortemente estruturada a partir do Regulamento Seveso, que se aplica a instalações que produzam, armazenem ou manipulem a partir de 5 toneladas de hidrogênio. Nesse contexto, o Sistema de Gestão da Segurança Operacional (SGSO / Safety Management System – SMS) é um requisito central e obrigatório para as unidades classificadas como de alto risco. Esse sistema deve contemplar não apenas a identificação e avaliação sistemática de riscos, mas também políticas claras de prevenção de acidentes graves, procedimentos operacionais





formalizados, capacitação contínua de pessoal, mecanismos de auditoria interna e planos robustos de resposta a emergências.

A abordagem francesa destaca a importância de uma hierarquia de controles, na qual medidas preventivas — como a contenção primária — costumam ser mais custo-efetivas do que medidas mitigadoras. Ainda assim, reconhece-se que medidas mitigadoras são indispensáveis, uma vez que não é possível garantir a eliminação total da ocorrência de incidentes. No caso do hidrogênio, distâncias de segurança são tratadas como barreiras mitigadoras especialmente relevantes, por reduzirem os impactos potenciais de vazamentos sobre áreas sensíveis.

As instalações de produção de hidrogênio e recarga estão sujeitas à regulamentação ambiental específica das Instalações Classificadas para a Proteção do Meio Ambiente (ICPE). Essas normas se aplicam, por exemplo, às instalações de produção de hidrogênio por eletrólise. A regulamentação ICPE impõe procedimentos prévios à construção e operação, além de monitoramento durante a operação.

O Código Ambiental (*Code de l'environnement*), nos artigos R511-9 e seus anexos, especifica que as ICPEs relacionadas à produção de hidrogênio, conforme o parágrafo 3420-a, são aquelas que “fabricam em quantidades industriais por transformação química ou biológica de produtos químicos inorgânicos”. Ou seja, são instalações que produzem hidrogênio em escala industrial por transformação química. Nem a legislação francesa nem a europeia definem um limite numérico exato para o que constitui “quantidade industrial”. No entanto, o Ministério da Ecologia francês fornece esclarecimentos, destacando dois critérios principais: comercial e ambiental.

Além disso, uma instalação de hidrogênio geralmente também se enquadra na rubrica 4715 (Ineris, 2014).

Os artigos L512-8, 9, 10 e R512-50, 51, 52 do Código Ambiental estabelecem o procedimento necessário para a instalação. O armazenamento de hidrogênio está sujeito aos seguintes regimes:

- Declaração: quando as quantidades presentes forem iguais ou superiores a 100 kg e inferiores a 1.000 kg.
- Autorização: quando as quantidades forem iguais ou superiores a 1.000 kg.

A declaração é a formalidade mais simples, consistindo em notificar a administração sobre a criação de uma ICPE. Aplica-se a instalações que apresentam baixo risco.

No caso do hidrogênio, a maioria das instalações está sujeita ao sistema de autorização, que exige a elaboração de um dossiê de solicitação, incluindo um estudo de impacto e um estudo de riscos. Esse dossiê é analisado pela administração, e o prefeito emite uma ordem de autorização. O processo dura entre 9 e 12 meses.

As normas Seveso também se aplicam às instalações de hidrogênio e foram incorporadas à legislação francesa. Os limiares Seveso estão especificados na nomenclatura ICPE no artigo R511-10. Para o hidrogênio, aplicam-se os requisitos do limite inferior é no caso de armazenamento de 5 toneladas e o limite superior é para o armazenamento de 50 toneladas.

Quanto às autoridades e instituições responsáveis pela regulação do hidrogênio, em nível nacional, o Ministério da Transição Ecológica (*Ministère de la Transition écologique*) é responsável por propor o plano nacional do hidrogênio e seus objetivos estratégicos. Em nível departamental,



o prefeito (*préfet*) tem autoridade para emitir prescrições gerais que autorizam instalações de hidrogênio.

O ministro responsável por instalações classificadas (atualmente também o Ministro da Transição Ecológica) pode emitir ordens de prescrições gerais. Essas exigências consistem em regras que devem ser respeitadas pelo operador durante a construção, operação e reabilitação das instalações, com o objetivo de garantir a preservação do meio ambiente, da saúde humana, da segurança e dos recursos naturais.

A França pratica a padronização regulatória da avaliação de riscos. As empresas não definem livremente suas matrizes de risco; estas seguem critérios e estruturas previamente estabelecidos pela autoridade competente, o que favorece a harmonização entre instalações, a comparabilidade das análises e a atuação fiscalizatória. Nesse contexto, o INERIS (*Institut national de l'environnement industriel et des risques*, ou seja, Instituto Nacional do Meio Ambiente Industrial e dos Riscos) exerce papel central como órgão público de expertise técnica, apoiando o Estado na definição de metodologias, na avaliação de estudos de segurança e na análise do desempenho dos sistemas de gestão adotados pelos operadores. Sua atuação é histórica em setores enquadrados no regime Seveso, incluindo instalações químicas, energéticas e de processo.

No contexto da produção, armazenamento, transporte e uso do hidrogênio, o Ineris exerce um papel técnico, normativo e científico, sem ser o órgão licenciador direto. O Ineris assessora o Estado francês na elaboração, interpretação e atualização de regulamentos aplicáveis às instalações de hidrogênio, em especial aquelas classificadas como ICPE (Instalações Classificadas para Proteção do Meio Ambiente) e Seveso.

O instituto é responsável pela publicação de documentos técnicos estruturantes amplamente utilizados por operadores, projetistas e autoridades. Em 2025, o Ineris publicou um documento de referência sobre segurança ligada às novas aplicações do hidrogênio [14] com o objetivo de apoiar um desenvolvimento controlado e seguro da cadeia. Esses documentos descrevem os principais cenários de acidentes, a fenomenologia associada a vazamentos, incêndios e explosões e as medidas de prevenção e mitigação esperadas nas instalações.

O INERIS realiza ou valida estudos de segurança de instalações de hidrogênio, incluindo unidades de produção por eletrólise, sistemas de armazenamento pressurizado e estações de abastecimento. Esses estudos permitem qualificar os riscos associados, apoiar decisões de licenciamento e fornecer referências quantitativas para operadores e projetistas, como demonstrado em estudos de caso publicados pelo instituto.

2.3. Itália

Na Itália, a segurança operacional das instalações de hidrogênio também se insere no escopo da Diretiva Seveso, sendo o ISPRA (*Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale*) o órgão responsável pela fiscalização das instalações de risco.

A abordagem italiana enfatiza a implementação do *Major Accident Prevention Program* (MAPP) como instrumento de prevenção de acidentes graves. O MAPP assemelha-se a um Sistema de Gestão de Segurança Operacional, preconizando a identificação de perigos, redução de riscos e





controle de cenários acidentais. A partir desse programa, são desdobrados os procedimentos operacionais, os planos de manutenção, os treinamentos e os arranjos de resposta a emergências.

Um aspecto relevante da experiência italiana é o foco na verificação da efetividade prática dos sistemas de gestão. O ISPRA não se limita à análise documental, atuando de forma direta na inspeção dos Sistemas de Gestão da Segurança e na avaliação de como os requisitos regulatórios são traduzidos em práticas operacionais concretas. Esse enfoque reflete uma preocupação central com o “funcionamento real” dos sistemas de segurança, especialmente em um contexto de introdução de novas tecnologias, como o hidrogênio, que podem desafiar práticas tradicionais da indústria.

2.4. Noruega

Assim como outros países europeus, a Noruega regula a produção de hidrogênio com base em normas já existentes para gases de alta pressão, substâncias perigosas e inflamáveis. O país não possui uma legislação específica para o hidrogênio, mas aplica um conjunto de regras técnicas e administrativas conforme o tipo de instalação e o risco envolvido.

A Noruega adota uma abordagem regulatória baseada em aceitação de risco residual, reconhecendo que, mesmo com conformidade total, acidentes podem ocorrer. Por isso, é fundamental que os operadores mantenham documentação de risco robusta, demonstrando que os perigos foram devidamente compreendidos e que os procedimentos operacionais seguem os padrões estabelecidos. Falhas significativas na documentação ou no cumprimento das normas podem resultar em multas ou até processos criminais por negligência.

As instalações de produção de hidrogênio devem atender aos seguintes requisitos:

- Avaliação de riscos, conforme normas nacionais;
- Requisitos de saúde e segurança, especialmente para substâncias inflamáveis;
- Obrigações ambientais integradas, incluindo controle de emissões e transporte de substâncias perigosas;
- Coordenação local, com envolvimento de múltiplas autoridades conforme necessário.

A produção de hidrogênio na Noruega exige um plano de uso do solo e uma licença correspondente, ambos sob responsabilidade do município. As instalações de produção de hidrogênio são tratadas da mesma forma que instalações que lidam com substâncias inflamáveis, e a licença de construção é regida pela Lei de Planejamento e Construção da Noruega (*Norwegian Planning and Building Act*), sendo concedida pela autoridade municipal competente. Após a construção, é necessário obter uma licença de operação para iniciar a produção, também emitida pelo município. O processo é relativamente ágil, com prazos máximos definidos por lei.

Para instalações que lidam com substâncias perigosas, é obrigatória a avaliação quantitativa de risco, que deve incluir a definição de zonas de risco para fins de planejamento territorial. Essas zonas são classificadas conforme o risco anual de fatalidade individual:

- A zona interna (risco $> 1 \times 10^{-5}$ /ano) deve estar dentro dos limites da propriedade e ser cercada.





- A zona intermediária (risco $> 1 \times 10^{-6}$ /ano) não pode conter residências, lojas ou hotéis, mas pode incluir vias públicas e edifícios industriais.
- A zona externa (risco $> 1 \times 10^{-7}$ /ano) pode conter residências e pequenos comércios, mas instalações vulneráveis como escolas, hospitais e centros comerciais devem estar fora dessa área.

Todo o processo de licenciamento — uso do solo, construção e operação — é gerido por uma única autoridade municipal, o que reduz a necessidade de coordenação entre órgãos e evita duplicidade de procedimentos. As avaliações de impacto ambiental, segurança e risco são integradas nesse processo. No entanto, como cada município tem autonomia e diferentes capacidades técnicas, pode haver variações na interpretação dos requisitos, especialmente em áreas urbanas densas.

Para armazenamento de hidrogênio, instalações com até 5 toneladas devem fornecer detalhes técnicos à prefeitura. Acima desse limite, aplica-se o Regulamento de Acidentes Graves (*Major Accidents Regulation*), exigindo autorização especial da DSB (Diretoria Norueguesa de Proteção Civil).

As normas ATEX e diretrizes nacionais exigem a elaboração de um mapa de zonas de risco, podendo impor restrições ao uso de áreas vizinhas, como a construção de escolas ou hospitais. Também são exigidas medidas preventivas como ventilação adequada e compartilhamento de planos de emergência com empresas vizinhas.

Para produção localizada, aplicam-se os mesmos requisitos e licenças que para produção centralizada. No entanto, unidades que produzem menos de 100 kg de hidrogênio por ano estão isentas de notificação ou declaração da atividade.

2.5. Reino Unido

O *Health and Safety Executive* (HSE) do Reino Unido estabeleceu em abril de 2026 um marco regulatório que integra formalmente a produção *offshore* de hidrogênio ao regime de segurança *offshore* já existente [15]. Esse enquadramento amplia a aplicação da *Health and Safety at Work Act* e de regulamentos *offshore* para unidades de produção de hidrogênio no mar, inclusive em áreas da plataforma continental britânica.

O regime define responsabilidades claras para operadores, licenciados e proprietários, exigindo gestão sistemática de riscos, elaboração de *safety cases*, notificações regulatórias, planos de resposta a emergências e reporte de incidentes.

Além disso, o arcabouço consolida obrigações relativas à integridade de instalações e poços, prevenção de incêndio e explosão, evacuação e resposta a emergências, gestão administrativa e de permissões de trabalho, e acordos para operações aéreas, bem como a notificação de eventos conforme o RIDDOR.

O hidrogênio é regulado sob a *Gas Act* de 1986, que o inclui na definição legal de gás. Isso implica que qualquer entidade que deseje transportar hidrogênio por gasodutos, comercializar, distribuir ou armazenar hidrogênio deve obter uma licença da Ofgem (*Office of Gas and Electricity Markets*). Para isso, é necessário apresentar um plano técnico viável para iniciar as atividades licenciadas,



permitir que a Ofgem conduza uma avaliação de risco e cumprir com códigos industriais obrigatórios, como o *Uniform Network Code* e o *Retail Energy Code*.

A produção de hidrogênio na Inglaterra ainda é limitada, com volumes modestos voltados principalmente ao setor petroquímico e a projetos locais de transporte. A rota predominante é a reforma de metano a vapor, com pequena participação da eletrólise.

Além do *Health and Safety at Work Act*, a produção está sujeita a um conjunto de normas e autorizações aplicáveis a substâncias perigosas e instalações industriais, incluindo permissões ambientais e urbanísticas, conforme a *Town and Country Planning Act*; avaliação de impacto ambiental (EIA); planejamento para Substâncias Perigosas, conforme o *Planning (Hazardous Substances) Regulations 2015*; e o Regulamento de Controle de Acidentes Graves - *Control of Major Accident Hazards (COMAH) Regulations 2015*.

O objetivo do Regulamento COMAH [16] é prevenir acidentes industriais graves envolvendo substâncias perigosas e limitar as consequências para as pessoas e o meio ambiente caso esses acidentes ocorram. O COMAH 2015 implementa a maior parte da Diretiva Seveso III (2012/18/UE) na Grã-Bretanha (a Irlanda do Norte possui regulamentos próprios).

O COMAH é o principal instrumento regulatório do Reino Unido para prevenir acidentes industriais graves envolvendo substâncias perigosas, como o hidrogênio. Sua filosofia regulatória é baseada em performance, o que significa que os operadores (*dutyholders*) devem demonstrar que os riscos foram reduzidos ao nível mais baixo razoavelmente praticável (ALARP), utilizando boas práticas reconhecidas, evidências técnicas e sistemas de gestão eficazes. Em vez de seguir regras prescritivas fixas, os operadores têm flexibilidade para escolher as medidas mais adequadas, desde que comprovem sua eficácia na prevenção de acidentes.

Os principais princípios de redução de risco adotados incluem a identificação e avaliação de perigos, a implementação de uma política de prevenção de acidentes graves, a elaboração de relatórios de segurança para instalações de nível superior, o desenvolvimento de planos de emergência internos e externos, e a informação ao público sobre riscos e medidas de resposta.

As responsabilidades do *dutyholder* incluem notificar a autoridade competente sobre a instalação e as substâncias perigosas presentes, implementar sistemas de gestão de segurança proporcionais aos riscos, elaborar e revisar políticas e planos de emergência, garantir treinamento contínuo dos trabalhadores e manter canais de comunicação com o público e autoridades locais.

Já o órgão fiscalizador, o *Health and Safety Executive (HSE)*, atua como autoridade competente, em parceria com agências ambientais. Suas responsabilidades incluem avaliar relatórios de segurança, realizar inspeções regulares, supervisionar o planejamento de emergências, aplicar sanções em caso de não conformidade e promover a aplicação do princípio ALARP. O HSE também atua como regulador habilitador, apoiando o desenvolvimento de tecnologias emergentes por meio de pesquisa aplicada e participação em fóruns técnicos nacionais e internacionais.

Também se aplicam requisitos quanto à classificação de áreas, conforme regulamento DSEAR (*Dangerous Substances and Explosive Atmosphere Regulations*), que inclui proteção dos trabalhadores em atmosferas explosivas conforme a diretiva ATEX 137 (99/92/EC) e requisitos para equipamentos e sistemas de proteção em atmosferas explosivas, segundo a diretiva ATEX 114 (2014/34/EU). Essas normas exigem que o operador classifique as áreas com risco de





atmosferas explosivas, elabore planos de emergência e resposta a incidentes e forneça treinamento adequado aos trabalhadores.

2.6. Holanda

A Holanda é a segunda maior produtora de hidrogênio da Europa, após a Alemanha. A produção de hidrogênio na Holanda é uma atividade consolidada, especialmente nas indústrias química e petroquímica, que operam há mais de 50 anos com produção centralizada a partir de gás natural. Apesar da crescente utilização do hidrogênio como vetor energético, as instalações de produção de hidrogênio são tratadas como instalações químicas convencionais, sem regulamentação específica para o hidrogênio. Isso significa que todas as plantas de produção, independentemente da escala ou tecnologia utilizada, estão sujeitas ao mesmo conjunto de exigências legais e administrativas.

Na Holanda, as plantas de produção de hidrogênio estão sujeitas a um conjunto de requisitos regulatórios de segurança que visam garantir a operação segura em todas as etapas do processo, desde a produção até o armazenamento e distribuição. A abordagem regulatória adotada é baseada em risco, com foco na identificação, avaliação e controle de perigos específicos associados ao hidrogênio. Para isso, são aplicadas metodologias como HAZID (*Hazard Identification*) e outras análises técnicas que consideram diferentes tipos de instalações, como estações de abastecimento, unidades de produção local, aplicações estacionárias e operações de *bunkering*.

Os requisitos incluem diretrizes para o licenciamento de instalações, gestão de riscos, elaboração de planos de resposta a emergências, capacitação de profissionais e serviços de emergência, além da revisão e desenvolvimento de legislações específicas para o hidrogênio. O objetivo é criar uma estrutura regulatória clara e uniforme em todo o país, que permita o crescimento seguro do setor.

A fiscalização dessas instalações é realizada por diversos órgãos, entre eles o Ministério de Assuntos Econômicos e Política Climática, o Ministério da Infraestrutura e Gestão da Água, o Ministério da Justiça e Segurança, os serviços ambientais regionais, o Instituto Holandês de Segurança Pública (NIPV) e as regiões de segurança locais. Esses atores atuam em conjunto com a NLHydrogen e outras partes interessadas no âmbito do *Hydrogen Safety Innovation Programme* (WVIP) [17], que coordena os esforços para o desenvolvimento de normas, regulamentos e boas práticas voltadas à segurança no uso do hidrogênio

De acordo com o relatório *Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen* [8] da OCDE, a Holanda vem demonstrando boas práticas no desenvolvimento de tecnologias de hidrogênio e está avançando na criação de um regime regulatório nacional. Embora haja uma quantidade significativa de legislação, ela nem sempre considera adequadamente o hidrogênio como vetor energético na transição energética. O país conta com restrições gerais dentro de seu arcabouço regulatório mais amplo e com duas regulamentações específicas para o hidrogênio: a PGS35, voltada para estações de abastecimento de hidrogênio, e os requisitos para células a combustível de hidrogênio (*soft law*).





2.7. Dinamarca

A regulação relativa à produção de hidrogênio na Dinamarca é coordenada por diferentes órgãos governamentais: o Ministério do Clima, Energia e Utilidades define as diretrizes estratégicas. A Agência Dinamarquesa de Energia (*Energistyrelsen*) supervisiona a implementação técnica e regulatória. Os municípios desempenham um papel importante na concessão de licenças e na integração local dos projetos [18].

A Lei nº 697 de 20 de junho de 2025 (Lei de Entrada Única para Empresas de Manufatura e Designação Estadual de Parques Industriais) [19] estabelece um sistema de entrada única para empresas de produção, como objetivo de agilizar o processo de licenciamento. Ela aplica-se a projetos que exigem avaliação ambiental ou licença de operação, conforme os critérios definidos na Lei de Avaliação Ambiental, no quais se inserem as plantas de produção de hidrogênio.

Nesse sistema, a Agência Dinamarquesa de Energia (*Energistyrelsen*) é o órgão centralizador responsável por coordenar todas as permissões necessárias para instalações de produção de hidrogênio no país.

Nesse sistema, a *Energistyrelsen* atua como ponto único de entrada para projetos industriais estratégicos, como os de hidrogênio verde, coordenando a emissão de licenças energéticas, avaliações ambientais, e conformidade técnica. Ela trabalha em conjunto com outras autoridades, como agências ambientais, de segurança no trabalho e municípios, para garantir que todos os requisitos legais e regulatórios sejam atendidos.

Além das aprovações da autoridade reguladora de instalações elétricas e do órgão ambiental competente, no processo de autorização de novas plantas de produção de hidrogênio na Dinamarca, tanto a Autoridade Dinamarquesa de Segurança Técnica (*Sikkerhedsstyrelsen*) quanto a Autoridade Dinamarquesa de Segurança no Trabalho (*Arbejdstilsynet*) desempenham papéis complementares, com foco em diferentes aspectos da segurança e conformidade regulatória.

Empresas que realizam instalações elétricas ou de gás em plantas de hidrogênio devem ser autorizadas e supervisionadas pela *Sikkerhedsstyrelsen*, com base na Lei n.º 401, de 28 de abril, relativa à autorização de empreendimentos na área de instalações elétricas, hidráulicas e de esgotos [20]. A operação só pode começar após a verificação da conformidade técnica e de segurança das instalações.

Já a *Arbejdstilsynet* (Autoridade de Segurança no Trabalho) realiza a aprovação das condições de trabalho e segurança ocupacional, com base na Lei do Ambiente de Trabalho [21] e regulamentos complementares. Nessa avaliação, a planta deve apresentar documentação de avaliação de riscos, planos de emergência e medidas de proteção aos trabalhadores. A operação só pode iniciar após inspeção ou aprovação formal, especialmente se houver risco de acidentes graves.

O Decreto nº 260 de 6 de março de 2025 — *Executive Order on resilience and preparedness in the energy sector* [22] (*Bekendtgørelse om modstandsdygtighed og beredskab i energisektoren*) estabelece os requisitos de resiliência organizacional, segurança física e cibernética para empresas consideradas críticas para o fornecimento e os mercados de energia na Dinamarca e na União Europeia. Ele implementa as diretrizes dos regulamentos europeus 2022/2555 e 2022/2557. O decreto se aplica a empresas do setor energético que operam infraestruturas críticas, incluindo instalações de produção, armazenamento e distribuição de energia, como as de hidrogênio. De acordo com esta regulação, as empresas devem estabelecer processos e estruturas para prevenir,





mitigar e responder a incidentes que possam comprometer a continuidade dos serviços energéticos. Isso inclui planos de contingência, comunicação de incidentes e capacidade de recuperação. O decreto prevê a classificação de instalações com base em seu impacto potencial sobre o fornecimento de energia. Instalações classificadas como críticas estão sujeitas a requisitos mais rigorosos de segurança e preparação. A *Energistyrelsen* é responsável por supervisionar a implementação do decreto, podendo emitir orientações, realizar auditorias e aplicar sanções em caso de não conformidade.

A Autoridade Dinamarquesa de Segurança no Trabalho (*Arbejdstilsynet*) realiza inspeções no local, exige avaliações de risco documentadas e pode aplicar sanções em caso de não conformidade. Caso sejam identificadas irregularidades, a autoridade pode emitir notificações de melhoria com prazos para correção e aplicar multas administrativas. Também é possível que sejam firmados acordos voluntários com as empresas para resolver problemas estruturais de segurança com apoio técnico da própria autoridade.

Já a *Sikkerhedsstyrelsen* (Autoridade Dinamarquesa de Segurança, também conhecida como *Danish Safety Technology Authority*) supervisiona a segurança de instalações elétricas em todo o país, incluindo aquelas utilizadas em plantas de produção de hidrogênio, especialmente no que diz respeito a sistemas elétricos, instalações de gás e equipamentos sob pressão. A fiscalização ocorre por meio de auditorias e inspeções técnicas, realizadas diretamente ou por meio de entidades autorizadas, para verificar se as instalações estão em conformidade com os requisitos técnicos e de segurança estabelecidos no decreto.

No contexto de plantas de hidrogênio, essa autoridade exige que empresas que realizem instalações elétricas ou de gás estejam devidamente autorizadas e que tenham um responsável técnico qualificado. Além disso, a *Sikkerhedsstyrelsen* avalia se os equipamentos e sistemas utilizados atendem aos requisitos de segurança técnica, incluindo normas de proteção contra sobrecarga, curto-circuito e atmosferas explosivas. A partir de 2027, ela também será responsável por aplicar a nova regulamentação europeia de máquinas, que trará exigências adicionais de segurança para sistemas automatizados e conectados.

Portanto, enquanto a *Arbejdstilsynet* foca na segurança do trabalhador e nas condições de operação, a *Sikkerhedsstyrelsen* garante a segurança técnica das instalações e equipamentos utilizados nas plantas de produção de hidrogênio. Ambas atuam de forma coordenada dentro do processo de licenciamento e fiscalização.

3. AMÉRICA

3.1. Estados Unidos

Os Estados Unidos não possuem um regime regulatório centralizado e abrangente para o hidrogênio. O processo de obtenção de licenças para instalações de produção de hidrogênio nos EUA é, na verdade, composto por vários processos que normalmente envolvem múltiplas permissões e agências, voltados para a saúde, segurança e meio ambiente. Assim, existem várias licenças e autorizações aplicáveis, tanto de construção quanto de operação, dependendo do tipo de produção e da localização da instalação, porém todos em nível local ou estadual. Não foram encontradas licenças ou aprovações em nível federal aplicáveis às instalações de hidrogênio.





A principal referência técnica para segurança em instalações de hidrogênio é o NFPA 2 – *Hydrogen Technologies Code* (2023), que estabelece, entre outras disposições, requisitos de ventilação, distâncias mínimas de segurança, sistemas de detecção de gás e desligamento de emergência, separação física entre equipamentos de armazenamento e outros componentes (barreiras com resistência mínima de 1 hora) e testes anuais de sistemas de detecção e manutenção de registros por 3 anos.

O Departamento de Energia (DOE) dos EUA desenvolveu ferramentas que ajudam os oficiais locais de licenciamento a identificarem códigos e normas modelo pertinentes aos projetos de estações de abastecimento de hidrogênio, uso de células a combustível para instalações de telecomunicações e outros projetos de hidrogênio [23].

Neste site, pode ser encontrado o documento *Hydrogen Technologies Safety Guide* [24], que fornece diretrizes gerais para a segurança no uso de tecnologias de hidrogênio, bem como um *checklist* [25] (lista de verificação) desenvolvido para ajudar os usuários a demonstrar conformidade com a Edição 2016 da NFPA-2. O checklist simplifica tanto o desenvolvimento do projeto quanto os processos de revisão de segurança e foi construído para demonstrar conformidade com os principais requisitos do código para estações de abastecimento de hidrogênio ao ar livre. O site destaca que o checklist contém apenas citações de códigos e não o texto real do código.

Quanto ao *Hydrogen Technologies Safety Guide*, trata-se de um documento elaborado pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), que destaca as normas e regulamentações relevantes, como as da OSHA e da NFPA, que devem ser seguidas para garantir a segurança em instalações de hidrogênio. Esses normativos estão relacionados no Anexo II.

Projetos financiados federalmente, como os do programa de Hubs de Hidrogênio Limpo do DOE, devem passar por avaliação de impacto ambiental, na qual são consultadas outras agências, como o *U.S. Fish and Wildlife Service* e o *National Marine Fisheries Service* (proteção de espécies ameaçadas).

O Departamento de Energia dos EUA (DOE), por sua vez, não impõe regulações obrigatórias como a EPA, mas fornece, por meio do *Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office* (HFTO), ferramentas e diretrizes técnicas. As diretrizes estabelecidas pelo DOE são de adoção mandatória para os projetos financiados federalmente, como os hubs de hidrogênio, e são recomendadas para o setor privado. Nesse contexto, os projetos financiados federalmente devem realizar avaliação de riscos e desenvolver planos de segurança robustos, revisados pelo *Hydrogen Safety Panel*.

As ferramentas desenvolvidas pelo DOE incluem bancos de lições aprendidas e boas práticas, ferramentas de avaliação de risco, materiais de treinamento, estudos sobre segurança com hidrogênio, códigos e normas relevantes, além de um manual online com diretrizes para projeto, operação e manutenção segura de sistemas de hidrogênio.

De acordo com o relatório *Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen* [8] da OCDE, o panorama regulatório dos Estados Unidos depende amplamente da adesão a códigos e normas técnicas. Diferentes estados e legislações locais estabeleceram requisitos distintos. Uma exceção é o Código de Incêndio da Califórnia, desenvolvido pelo estado da Califórnia para fornecer um conjunto de regras específicas para estações de abastecimento de hidrogênio. Esse código é





considerado suficientemente abrangente, incluindo exigências para sistemas de abastecimento, equipamentos aprovados e distâncias mínimas de separação.

Nos Estados Unidos, tanto o Departamento de Energia (DoE) quanto o setor industrial reconhecem que há uma carência de regulamentações e normas apropriadas, e que mais pesquisa e desenvolvimento são necessários.

Ainda de acordo com o relatório da OCDE, os Estados Unidos e a Europa diferem fundamentalmente em relação ao princípio da precaução, sendo que a União Europeia adota uma abordagem mais rigorosa em relação a esse princípio do que os Estados Unidos.

Em resumo, o arcabouço regulatório dos Estados Unidos para instalações de produção de hidrogênio é composto por um conjunto complexo de normas e diretrizes que envolvem múltiplas esferas governamentais, com foco em segurança, meio ambiente e licenciamento. O processo de obtenção de licenças não é centralizado em nível federal, sendo conduzido principalmente por autoridades locais e estaduais, que exigem diversas permissões de construção e operação conforme o tipo de tecnologia empregada e a localização da instalação. Embora não existam licenças federais específicas para instalações de hidrogênio, o Departamento de Energia (DOE) dos EUA desempenha um papel importante ao fornecer ferramentas e orientações técnicas para apoiar os processos de licenciamento e garantir a segurança dos projetos, especialmente aqueles financiados com recursos federais.

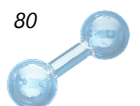
Quanto às normas e boas práticas aplicáveis, o arcabouço atual de segurança para o hidrogênio nos EUA é baseado em práticas herdadas da aplicação do hidrogênio nas indústrias química e aeroespacial. No entanto, o DOE identificou que ainda há lacunas normativas, considerando o uso do hidrogênio com um energético em grande escala. Assim, o Departamento de Energia está trabalhando com entidades normativas para atualizar, consolidar e criar códigos que garantam o uso seguro do hidrogênio em contextos futuros.

3.2. Canadá

No Canadá, a regulação da segurança para instalações de hidrogênio é compartilhada entre o governo federal e as jurisdições provinciais, com destaque para o papel ativo das províncias na implementação de normas específicas, adaptadas às suas realidades energéticas.

Na Colúmbia Britânica, entrou em vigor em abril de 2025 a Regulamentação de Instalações de Hidrogênio (*Hydrogen Facility Regulation - BC Reg 27/2025*), sob a Lei de Atividades de Recursos Energéticos [26], que estabelece requisitos detalhados para o licenciamento, operação, segurança, gestão de emergências e descomissionamento de instalações de hidrogênio. O novo regulamento simplifica exigências para instalações com capacidade inferior a 100.000 toneladas anuais e que não estão colocalizadas com unidades de amônia ou metanol. As instalações são classificadas em duas categorias: Classe 1 (menos de 4,5 toneladas agregadas de hidrogênio) e Classe 2 (igual ou superior a 4,5 toneladas, mas abaixo de 100.000 t/ano). O regulamento define exigências operacionais, licenciamento, segurança, gestão de emergências e desativação, adotando uma abordagem proporcional ao risco envolvido.

Alberta possui um dos marcos regulatórios mais avançados para o hidrogênio no Canadá. A supervisão das infraestruturas de hidrogênio é compartilhada entre a *Alberta Energy Regulator*





(AER) e a *Alberta Environment and Protected Areas (AEPA)*. A AER regula instalações de produção, armazenamento e produção de subsuperfície e transporte por dutos com pressão superior a 700 kPa. Já a AEPA supervisiona instalações interligadas a instalações já reguladas por esta jurisdição, como plantas químicas ou petroquímicas. Operadores que planejam instalar e integrar tecnologia de produção de hidrogênio em uma instalação já aprovada e regulamentada pela AER devem solicitar uma alteração nas aprovações existentes. Essas solicitações seguem os processos de aplicação específicos por setor definidos pela AER, incluindo atividades relacionadas a mineração e operações de petróleo e gás [27].

Em Ontário, a *Technical Standards and Safety Authority (TSSA)* regula a distribuição e utilização do hidrogênio, abrangendo áreas como projeto de estações de abastecimento, instalação de dutos e tubulações de alta pressão. Essas atividades são regidas por dois principais regulamentos e códigos:

O Reg. 214/01: *Compressed Gas* [28] regula o manuseio, armazenamento e transporte seguros do hidrogênio, incluindo requisitos de licenciamento e autorização para instalação, operação e manutenção de instalações e equipamentos que utilizam hidrogênio como combustível.

CAN/BNQ 1784-000/2022 *Canadian Hydrogen Installation Code* [29] estabelece requisitos para geração, uso, armazenamento de hidrogênio e sistemas de tubulação associados.

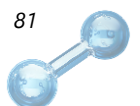
A TSSA exige licenciamento anual, inspeções regulares e certificações específicas para instalações novas e existentes, além de regulamentar o transporte de hidrogênio comprimido. Novas instalações e modificações em instalações existentes devem ser aprovadas e licenciadas pela TSSA, conforme os padrões de engenharia regulamentares. A documentação necessária deve ser enviada antes da construção. A TSSA oferece diretrizes técnicas para apoiar os solicitantes.

Mudanças operacionais significativas exigem nova aprovação da TSSA. Isso inclui alterações em tubulações de alta pressão, sistemas de compressão e dispensação, armazenamento de hidrogênio, sistemas de ventilação, mudanças no modo de operação que exijam novo projeto ou cálculos e adição ou realocação de equipamentos regulados

No Quebec, os equipamentos utilizados em instalações de produção de hidrogênio estão geralmente sujeitos ao *Regulation respecting pressure installations (Pressure Regulation)* [30]. Toda instalação deve possuir uma licença emitida pela *Régie du Bâtiment du Québec (RBQ)*. No entanto, como o padrão usual utilizado sob esse regulamento não está adaptado às particularidades das instalações de hidrogênio, a RBQ, ao avaliar a conformidade e a segurança dessas instalações, também considera os requisitos do *Canadian Hydrogen Installation Code (CHIC)* [CAN/BNQ 1784-000] [29], que será abordado mais adiante.

A província de Saskatchewan aplica a *Occupational Health and Safety Regulations* [30], 2020 (RRS c S-15.1 Reg 10), que inclui padrões aprovados para equipamentos e processos industriais, incluindo substâncias perigosas como o hidrogênio. Embora não haja um regulamento específico para hidrogênio, as normas gerais de segurança ocupacional e de substâncias perigosas são aplicáveis às instalações de hidrogênio.

Já em Nova Escócia, a *Technical Safety Division* regula a segurança de instalações de hidrogênio, especialmente em projetos de mistura de hidrogênio com gás natural. A província atualizou leis como o *Pipeline Act*, *Gas Distribution Act* e *Subsurface Energy Storage Act* para incluir o hidrogênio.





Ao atualizar essas três leis, a Nova Escócia confirmou que seu regime jurídico existente para combustíveis líquidos agora se aplica aos novos combustíveis de hidrogênio.

A falta de harmonização entre regulações provinciais é um desafio. A ausência de um arcabouço regulatório interprovincial cria barreiras operacionais para projetos que cruzam jurisdições e dificulta a padronização técnica. Nesse contexto, foi criado o Grupo de Trabalho sobre Códigos e Normas (*Hydrogen Codes and Standards Working Group*). O grupo incluir três forças-tarefa, com foco específico nas áreas de produção; distribuição e armazenamento e aplicações finais (como transporte por ônibus e caminhões, ou produção de aço).

O grupo colabora com organizações que desenvolvem formalmente normas no Canadá, como o CSA Group (*Canadian Standards Association*); BNQ (*Bureau de Normalisation du Québec*) e a *Compressed Gas Association*. Essas entidades trabalham com governos, indústrias, reguladores e consumidores para criar e revisar normas técnicas.

Como contribuições já realizadas no âmbito do Grupo de Trabalho, pode-se citar o desenvolvimento de 22 normas e especificações técnicas relacionadas ao hidrogênio pelo CSA Group. Adicionalmente, mais de 80 normas da CSA foram impactadas por uma interpretação recente que confirmou que misturas de gás natural com até 5% de hidrogênio já estão cobertas por normas existentes.

Em 2022, o *Bureau de Normalisation du Québec* (BNQ) atualizou o *Canadian Hydrogen Installation Code* (CHIC) [CAN/BNQ 1784-000] [29]. O código é publicado pelo como padrão nacional para instalações de hidrogênio no Canadá, e é harmonizado com o código NFPA 2 dos EUA.

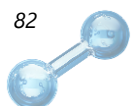
Esta norma estabelece os requisitos de instalação para equipamentos de geração de hidrogênio para uso final não relacionado a processos, equipamentos de utilização de hidrogênio, equipamentos de abastecimento de hidrogênio, recipientes de armazenamento de hidrogênio, sistemas de tubulação de hidrogênio e seus acessórios relacionados. As hipóteses de exclusão são a produção ou uso de hidrogênio em refinarias de petróleo e plantas químicas como matéria-prima e diretamente em processos de produção e nas instalações industriais onde o hidrogênio é produzido, manipulado e armazenado para uso final fora do local.

Em termos de segurança, o código CAN/BNQ 1784-000 exige a inclusão de sistemas formais de avaliação e mitigação de riscos. Projetistas devem identificar perigos técnicos e propor soluções que mantenham o risco em níveis aceitáveis, sujeitas à aprovação da autoridade competente. O manual de Melhores Práticas de Segurança do Hidrogênio [33] complementa esse esforço com diretrizes baseadas em experiências industriais e aeroespaciais.

3.3. Chile

O Chile possui papel estratégico não só quanto à produção do hidrogênio verde, mas também quanto ao fornecimento de insumos minerais necessários à transição energética, e a atividade de mineração possui grande importância e um alto potencial de uso do hidrogênio como energético nesse país.

A regulação sobre o setor de hidrogênio combustível data de 2021, quando foi promulgada a Lei 21.305 sobre eficiência energética, que incorporou modificações a um decreto do Ministério de





Minas, o qual introduziu as atividades relativas à cadeia do hidrogênio no rol de atividades autorizadas pela *Superintendencia de Electricidad y Combustibles* (SEC).

Ainda em 2021, o Ministério de Energia do Chile, em conjunto com a Superintendência de Eletricidade e Combustíveis (SEC), publicou o *Guía para la Presentación de Proyectos de Hidrógeno* [34]. A iniciativa surgiu da necessidade de orientar empreendedores e empresas interessadas em desenvolver projetos que envolvam a produção, armazenamento, transporte, distribuição ou uso do hidrogênio como combustível, em um contexto no qual ainda não existia regulamentação específica para essas instalações no país.

Em 2022, foi promulgado o Decreto Supremo nº 13 [35], publicado em 24 de junho de 2024 pelo Ministério de Energia do Chile, que estabelece o Regulamento de Segurança para Instalações de Hidrogênio, aplicando-se a todas as instalações que realizem atividades de produção, acondicionamento, armazenamento, transferência e consumo de hidrogênio como recurso energético. Estão excluídas do escopo do regulamento as instalações de abastecimento de veículos, redes externas de transporte e os próprios veículos que utilizem ou transportem hidrogênio. De acordo com o decreto, as instalações de hidrogênio devem seguir um processo formal de autorização junto à *Superintendencia de Electricidad y Combustibles* (SEC), que abrange as seguintes etapas: (i) ingresso e registro do projeto; (ii) avaliação de admissibilidade; (iii) avaliação técnica; e (iv) emissão da resolução de autorização. Esse processo se aplica tanto a novas instalações quanto a modificações de instalações existentes.

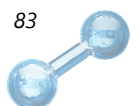
O regulamento impõe obrigações em todas as fases do ciclo de vida da instalação: projeto, construção, operação, manutenção, modificação, inspeção e encerramento definitivo. Os responsáveis devem garantir que as instalações operem de forma segura, conforme normas técnicas nacionais e internacionais, e com base em boas práticas de engenharia.

A verificação dos requisitos é realizada pela SEC, que exige a inscrição prévia da instalação antes de sua entrada em operação. Essa inscrição não equivale à aprovação do projeto, mas é condição obrigatória. Além disso, são exigidos certificados de conformidade da instalação e dos produtos utilizados, emitidos por organismos de certificação autorizados ou, provisoriamente, por terceiros independentes com experiência comprovada. A conformidade é verificada por meio de inspeções periódicas, registros técnicos obrigatórios e auditorias.

Instalações com capacidade de armazenamento superior a 2,35 kg devem manter um Manual de Segurança (MS) e um Plano de Emergência e Acidentes (PEA). Já aquelas com capacidade superior a 5.000 kg devem implementar também um Sistema de Gestão de Segurança e Riscos (SGSR), que deve incluir análise de riscos específica para cada etapa do projeto, manual de segurança com medidas preventivas e operacionais e plano de emergência e acidentes, com protocolos de resposta e mitigação.

Esses documentos devem estar sempre disponíveis para a SEC e conter políticas, procedimentos operacionais, planos de prevenção, capacitação anual do pessoal e medidas de resposta a emergências.

Em caso de acidentes ou incidentes relevantes, os operadores devem comunicar imediatamente à SEC e apresentar um relatório técnico detalhado em até 30 dias. A reentrada em operação só pode ocorrer após avaliação técnica e registro das ações corretivas.





O *Guía de Apoyo para Solicitud de Autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno* [36] foi publicado em 10 de dezembro de 2024 pelo *Cluster de Energía* (4e Chile). O documento foi elaborado com o apoio do projeto “Team Europe para o Desenvolvimento do Hidrogênio Renovável no Chile”, em parceria com o Ministério de Energia e a Superintendência de Eletricidade e Combustíveis (SEC), com o objetivo de orientar empresas interessadas em implementar projetos especiais de hidrogênio que utilizem tecnologias não contempladas no Decreto Supremo nº 13 de 2022, do Ministério de Energia do Chile. Também se aplica a instalações que estejam sob competência da Superintendência de Eletricidade e Combustíveis (SEC), mas que não estejam reguladas pelo decreto.

Essas tecnologias devem estar tecnicamente respaldadas por normas nacionais ou internacionais reconhecidas, como ANSI, ASME, ASTM, AWS, BS, EN, ISO, NFPA, UNE, entre outras, além de boas práticas de engenharia internacionalmente aceitas, com o objetivo de garantir a segurança da instalação.

A apresentação de um projeto especial de hidrogênio tem como finalidade obter a autorização da SEC, que será concedida após verificação de que a instalação está em conformidade com a norma técnica escolhida. O proprietário deve comprovar que a instalação mantém o nível de segurança exigido e atende às condições estabelecidas no projeto.

A autorização de um projeto especial de hidrogênio segue um processo formal junto à SEC, dividido em quatro etapas principais: ingresso, admissibilidade, avaliação técnica e elaboração da resolução de autorização. Após a aprovação, o projeto deve ser registrado na SEC antes de entrar em operação, conforme exigido pela legislação nacional para instalações que envolvam combustíveis, incluindo o hidrogênio.

O conteúdo da guia detalha os documentos e informações exigidos para cada etapa. Isso inclui a identificação do proprietário, operador e instalador; descrição do projeto (nome, localização, objetivo, tipo de uso do hidrogênio); diagramas do processo, referências a projetos similares, análise normativa (com base em normas como ISO, NFPA, EN, entre outras), projeto de engenharia (com bases de projeto, equipamentos principais, planos e cálculos estruturais) e medidas de segurança. O documento estabelece um processo estruturado para a submissão de projetos à SEC, que devem ser apresentados como “projetos especiais”. O processo começa com a entrega de uma carta de apresentação e dos antecedentes legais do proponente. Em seguida, é exigida uma descrição técnica detalhada do projeto, incluindo localização, fluxogramas de processo e referências a projetos similares. O proponente deve também indicar as normas técnicas que pretende seguir, podendo utilizar normas internacionais reconhecidas, como ISO, NFPA ou EN, caso não existam normas nacionais aplicáveis.

O projeto de engenharia deve conter as bases de projeto, especificações dos equipamentos principais e os planos técnicos necessários. A segurança da instalação é um ponto central da análise, sendo exigido um estudo de riscos, medidas de mitigação, classificação áreas e descrição dos sistemas de segurança. Além disso, é necessário apresentar uma avaliação de conformidade, demonstrando que o projeto atende aos requisitos técnicos e normativos.

O guia também fornece modelos de documentos, uma matriz de comparação normativa e um checklist para facilitar a preparação e submissão dos projetos.



Após a implementação do projeto autorizado, o proprietário deve registrar a instalação na SEC antes de iniciar sua operação.

Adicionalmente às competências da SEC, para as instalações de produção de hidrogênio relacionadas a operações de mineração, aplicam-se também as regulações do *Servicio Nacional de Geología y Minería* (SERNAGEOMIN), que é o órgão fiscalizador em matéria de segurança na mineração. Os campos de atuação do SERNAGEOMIN incluem a substituição de tanques de hidrogênio, o uso do hidrogênio como combustível em equipamentos móveis utilizados na mineração, além da manutenção desses equipamentos nas oficinas de manutenção da mina e os cuidados necessários durante o estacionamento desses mesmos equipamentos.

Neste contexto, foi publicado em 2021 pelo SERNAGEOMIN o documento Guia de Implementação de Pilotos e Validação de Tecnologias que Utilizam Hidrogênio como Combustíveis em Mineração [37]. O objetivo do documento é definir os requisitos necessários para a implementação de projetos pilotos nos quais haja produção, acondicionamento, transporte, distribuição, armazenamento e/ou uso de hidrogênio como combustível em atividades e operações de mineração, com vistas a reduzir a probabilidade de incidentes. O guia descreve os documentos que devem ser apresentados para a solicitação de autorização de projetos pilotos que utilizem hidrogênio como combustível em mineração, lista normas técnicas sugeridas e detalha os critérios de avaliação a serem adotados pelo SERNAGEOMIN na análise dos projetos. As normas técnicas listadas estão relacionadas no Anexo II.

3.4. Colômbia

A regulação da produção de hidrogênio na Colômbia está fundamentada na "*Hoja de Ruta del Hidrógeno*" [38], lançada em 2021 pelo Ministério de Minas e Energia, com apoio da UPME (*Unidad de Planeación Minero Energética*). No documento, o Governo Nacional da Colômbia definiu quatro eixos de atuação para garantir o desenvolvimento adequado do mercado de hidrogênio de baixas emissões, a saber: aspectos Jurídicos e Regulatórios, instrumentos de desenvolvimento de mercado, infraestrutura e desenvolvimento tecnológico e industrial.

Cada eixo de atuação possui linhas de trabalho específicas. Essas linhas orientarão as ações dos órgãos nacionais e regionais ao longo da próxima década. A implementação dessas ações será dividida em três fases temporais. A primeira fase, com duração inferior a dois anos, tem como objetivo estabelecer as bases do mercado por meio da criação de leis, estudos técnicos e programas de capacitação. A segunda fase, com horizonte de até cinco anos, busca viabilizar e impulsionar o desenvolvimento do mercado, promovendo o uso do hidrogênio de baixas emissões e incentivando os primeiros participantes, além de preparar o terreno para a expansão da cadeia de valor. Por fim, a terceira fase, de médio a longo prazo, será dedicada ao monitoramento das ações anteriores e à habilitação de novos usos do hidrogênio, especialmente em aplicações ainda pouco desenvolvidas, com ações que serão realizadas de forma cíclica.

São de particular interesse no contexto deste relatório as linhas de trabalho descritas a seguir.

A linha de trabalho de número 5 refere-se ao desenvolvimento e atualização da regulamentação técnica para o hidrogênio, com o objetivo de revisar a normativas nacionais atuais mediante grupos de trabalho e identificar os usos nos quais seja necessário incorporar nova normativa técnica. Nesse contexto, o documento reconhece que a regulamentação técnica atualmente



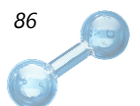
vigente na Colômbia não foi concebida para o uso do hidrogênio como vetor energético. Hoje, o hidrogênio é tratado principalmente como uma substância perigosa, o que torna a regulação existente insuficiente e desatualizada frente às novas aplicações tecnológicas e energéticas. Diante disso, torna-se essencial revisar e adaptar o marco normativo nacional para permitir o desenvolvimento seguro e eficiente de novas aplicações do hidrogênio ao longo de toda a cadeia de valor — desde a produção até o consumo final. Para alcançar esse objetivo, será proposta a criação de grupos de trabalho especializados, com a missão de analisar o estado atual da regulamentação e identificar lacunas normativas que exijam a elaboração de novas normas técnicas.

Paralelamente à revisão da regulamentação nacional, será realizada uma análise e possível adoção de normas técnicas internacionais já consolidadas, emitidas por instituições como a *National Fire Protection Association* (NFPA), a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), a *International Organization for Standardization* (ISO), o *American National Standards Institute* (ANSI), a *European Industrial Gases Association* (EIGA) e a *Society of Automotive Engineers* (SAE). O documento afirma que essas entidades desenvolveram códigos e padrões específicos para o uso do hidrogênio, cuja adoção pode acelerar o processo de regulamentação nacional, ao mesmo tempo em que garante alinhamento com as melhores práticas internacionais. Nesse sentido, será promovida a homologação de certificados de conformidade já emitidos em outros países, facilitando a inserção de tecnologias e equipamentos no mercado colombiano.

Além disso, será incentivada a participação ativa de empresas e instituições colombianas em fóruns internacionais e comitês técnicos, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de novas normas, inclusive em áreas específicas como o uso do hidrogênio na indústria de mineração.

A linha de trabalho nº 8 é relativa à simplificação e adaptação de trâmites administrativos para projetos de hidrogênio. Atualmente, a produção e o manuseio de hidrogênio na Colômbia são classificados como atividades industriais, uma vez que o hidrogênio é considerado uma substância perigosa. Isso implica que todos os projetos relacionados estão sujeitos a exigentes processos de licenciamento ambiental, independentemente da fonte de produção. No entanto, considerando os benefícios ambientais do hidrogênio de baixas emissões, torna-se necessário revisar e simplificar os trâmites administrativos e regulatórios para viabilizar sua implementação.

O documento afirma que será realizada uma análise das permissões e procedimentos existentes, incluindo aspectos ambientais e de uso do solo, com o objetivo de facilitar o desenvolvimento de projetos. O hidrogênio verde e azul, por serem classificados como Fontes Não Convencionais de Energia Renovável (FNCER) e Fontes Não Convencionais de Energia (FNCE), respectivamente, estão sujeitos ao regime especial da Lei 1715 de 2014, que prevê ciclos de avaliação ambiental mais ágeis por parte da Autoridade Nacional de Licenciamento Ambiental (ANLA) e das Corporações Autônomas Regionais (CAR). É recomendado que essas autoridades realizem estudos para quantificar os impactos ambientais dos projetos de hidrogênio, identifiquem os trâmites realmente necessários e eliminem etapas redundantes, e que os municípios incluam em seus Planos de Ordenamento Territorial as áreas adequadas para a instalação de projetos de hidrogênio. A utilidade pública e o interesse social dessas atividades, conforme declarado pelas Leis 1715 de 2014 e 2099 de 2021, conferem prioridade a esses projetos no planejamento territorial.





O governo colombiano prevê a promoção de medidas regulatórias para reduzir a burocracia, como a aprovação conjunta de projetos integrados (por exemplo, geração solar/eólica e eletrólise), e a simplificação de processos para construção de hidrodutos ou adaptação de gasodutos existentes. Essa abordagem integrada visa evitar atrasos administrativos, que hoje representam uma barreira significativa à expansão das FNCER e à atração de investimentos.

A linha de trabalho nº 23, relativa à estruturação e criação do *sandbox* regulatório, visa habilitar *sandboxes* para projetos de inovação fora do marco jurídico vigente, e insere-se na primeira fase (de mais curto prazo). Nesta linha, a Colômbia está promovendo a criação de *sandboxes* regulatórios, definidos como ambientes de teste que permitem a realização de projetos inovadores fora do marco jurídico vigente, de forma temporária e controlada. Esses *sandboxes* são instrumentos que flexibilizam certas normas para facilitar o desenvolvimento de tecnologias emergentes, como o hidrogênio, especialmente em áreas onde a regulação atual pode ser um obstáculo. O objetivo é gerar conhecimento regulatório por meio da experimentação, permitindo que projetos estratégicos — mesmo que não estejam contemplados pela legislação atual — possam ser desenvolvidos com segurança e eficiência. A experiência internacional será usada como referência para simplificar os projetos-piloto e reduzir custos. Um exemplo prático seria a injeção de pequenas quantidades de hidrogênio na rede de gás natural, o que ajudaria a entender os impactos na qualidade do gás, possíveis problemas operacionais e os limites aceitáveis para essa mistura.

Legalmente, a possibilidade de criar *sandboxes* regulatórios foi introduzida na Colômbia pelo artigo 5 da Lei 2069 de 2020, como mecanismo para fomentar o empreendedorismo e a inovação em setores regulados. Essa lei prevê que cada ministério possa estabelecer ambientes especiais de vigilância e controle para testar novos modelos de negócio, com foco em tecnologia, sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas.

Já a linha de trabalho de número 27 se propõe a mitigar o risco tecnológico mediante projetos piloto. Na segunda fase da estratégia colombiana para o hidrogênio, será promovido o desenvolvimento de projetos piloto ao longo de toda a cadeia de valor, com o objetivo de mitigar os riscos tecnológicos e de negócios associados às novas tecnologias de baixas emissões. Esses projetos buscarão comprovar a viabilidade técnica e econômica do hidrogênio, desde sua produção até os usos finais. Para isso, o governo oferecerá incentivos financeiros e facilidades administrativas que ajudem a reduzir os custos adicionais dessas tecnologias em comparação com soluções convencionais.

Os pilotos serão realizados em diversas áreas, como eletrólise, captura e armazenamento de CO₂, infraestrutura de distribuição nacional e transporte internacional de hidrogênio e seus derivados. Para facilitar esse processo, será criado um time operacional dedicado a apoiar a obtenção de permissões e o desenvolvimento dos primeiros projetos, o que ajudará a reduzir incertezas, resolver falhas de coordenação e garantir uma introdução segura das novas tecnologias. Além disso, esses projetos iniciais poderão se tornar núcleos de produção e demanda, impulsionando o crescimento do mercado e beneficiando outros participantes no futuro.

Durante o 3º Congresso de Hidrogênio e Eficiência Energética, o vice-ministro de Energia colombiano apresentou os avanços normativos e estratégicos do país, destacando que a Colômbia já conta com 36 iniciativas de hidrogênio, sendo 14 em fase de desenvolvimento ou viabilidade, com um potencial de 18 GW de eletrólise. No campo regulatório, foi anunciada uma





futura resolução sobre a metodologia de cálculo da intensidade de emissões, garantindo rastreabilidade e sustentabilidade.

Em julho de 2025, o país anunciou [39] a descoberta de hidrogênio natural (hidrogênio de origem geológica), com descobertas em poços como Macanal 1X e Fomequé 1X, que registraram até 36.110 ppm de hidrogênio livre — os primeiros indícios desse recurso na América Latina.

Em resumo, a Colômbia se encontra no processo de construção do arcabouço regulatório específico para a atividade de produção de hidrogênio de baixo carbono no país. Atualmente, os projetos de hidrogênio na Colômbia são tratados como atividades industriais de risco e sujeitos ao processo de licenciamento ambiental.

O país conta com um *roadmap* que mapeou diversas ações necessárias para a construção de um ambiente regulatório que impulse o desenvolvimento do setor, que incluem a realização de um *sandbox* regulatório e desenvolvimento de projetos piloto.

4. ÁSIA E OCEANIA

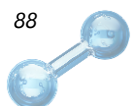
4.1. Japão

De acordo com o relatório *Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen* [8] da OCDE, no Japão, o hidrogênio tem sido tradicionalmente utilizado como gás industrial, e o ambiente de negócios e a infraestrutura para seu uso como vetor energético ainda não estão suficientemente desenvolvidos. As regulamentações existentes sobre o manuseio de gases inflamáveis ou de alta pressão, como o *High-Pressure Gas Safety Act* (HPGSA) [40] e o *General High Pressure Gas Safety Ordinance* (GHPGSO), tratam o hidrogênio como um gás inflamável e o regulam dessa forma. Essas normas não são específicas para o novo contexto do hidrogênio, apesar de o GHPGSO conter previsões específicas para o gás hidrogênio.

Nesse contexto, a produção é definida como o processo de compressão, liquefação ou outro tratamento de gás, seguido do enchimento de recipientes com gás de alta pressão. Embora não haja regulamentações específicas para eletrólise, os equipamentos envolvidos no processo (como compressores, bombas, trocadores de calor e tanques) estão sujeitos às normas gerais de segurança para gases de alta pressão.

Do ponto de vista regulatório, a produção de hidrogênio requer autorização do governador da província quando a quantidade produzida atinge ou excede 100 Nm³ por dia, ou quando o armazenamento ultrapassa 1000 Nm³ por dia. O hidrogênio é classificado como gás inflamável de Classe 2, o que implica exigências adicionais de segurança. As instalações devem atender a uma série de requisitos técnicos e estruturais, incluindo:

- Controle de vazamentos, com dispositivos de desligamento de emergência, sistemas de detecção e alarme de gás, construção à prova de explosão e estruturas de ventilação adequadas para evitar estagnação de gases.
- Equipamentos de segurança, como manômetros e dispositivos de alívio de pressão, que devem restaurar imediatamente a pressão abaixo dos limites operacionais em caso de excesso.





- Testes de resistência à pressão, vedação hermética e espessura mínima das paredes dos tubos, conforme especificações técnicas da GHPGSO.
- Materiais exigidos para tubulações incluem aço inoxidável SUS316 e ligas específicas conforme normas JIS e ASME.

Além disso, há exigências de distâncias mínimas de segurança entre os equipamentos de produção e propriedades protegidas, determinadas com base na capacidade de armazenamento e processamento. Essas distâncias visam mitigar os riscos de acidentes e proteger as áreas vizinhas em caso de falhas operacionais.

4.2. Coreia do Sul

Em janeiro de 2019, o Ministério do Comércio, Indústria e Energia da Coreia do Sul lançou o "*Hydrogen Economy Roadmap of Korea*", estabelecendo metas ambiciosas para posicionar o hidrogênio como um pilar central da transição energética e do crescimento econômico sustentável do país. A partir dessa estratégia, o governo passou a estruturar um dos marcos legais mais avançados do mundo para o hidrogênio, com foco nos setores de transporte e energia elétrica, e forte incentivo à produção e uso de tecnologias baseadas nesse vetor energético.

Para garantir a implementação da estratégia, em 2020 foi aprovada a *Hydrogen Economy Promotion and Hydrogen Safety Act* (HEPHSA). Essa norma estabelece padrões técnicos e regulatórios para a produção, distribuição e uso do hidrogênio, além de mecanismos de licenciamento, certificação e fiscalização.

Em 2022, a Coreia do Sul consolidou sua posição como líder global na produção de veículos elétricos com célula de combustível (FCEVs), sendo responsável por mais da metade das vendas globais desses veículos. O país também detinha quase metade da capacidade instalada mundial de células de combustível estacionárias em escala de utilidade pública. No entanto, o rápido crescimento da frota de FCEVs revelou desafios estruturais importantes. A principal vantagem dos veículos a hidrogênio — o reabastecimento rápido — tem sido limitada por gargalos logísticos e regulatórios.

A produção de hidrogênio está sujeita a um sistema de licenciamento e certificação técnica, coordenado por diferentes órgãos. A *Korea Gas Safety Corporation* (KGSC) é responsável pela certificação de equipamentos de produção de hidrogênio (como reformadores, compressores e tanques de armazenamento), aplicando provisoriamente a *High-Pressure Gas Safety Law* (HPGSA) até a entrada em vigor do novo *Hydrogen Safety Act*. Equipamentos com pressão de projeto superior a 10 bar são classificados como de alta pressão e devem ser certificados pela KGS. Equipamentos abaixo desse limite são regulados pela *Korea Occupational Safety and Health Agency* (KOSHA). A *Korea Standards Association* (KSA) certifica produtos finais como células a combustível.

A emissão de licença de fabricação para instalações de produção de hidrogênio exige inspeção técnica e de fábrica pela KGSC, seguida de registro oficial pelo Ministério de Comércio, Indústria e Energia (MOTIE).

A legislação coreana estabelece um sistema de segurança em quatro camadas:



1. Lei de Controle de Segurança de Gases de Alta Pressão (HPGSCA) – define escopo e terminologia;
2. Decreto de Execução da HPGSCA – detalha os procedimentos de aprovação;
3. Regra de Execução da HPGSCA – estabelece e revisa padrões técnicos;
4. Códigos Técnicos da KGS (*KGS Codes*) – normas específicas de segurança (não disponíveis publicamente, devem ser adquiridas conforme o tema).

Além disso, a *Hydrogen Economy Promotion and Hydrogen Safety Act* (HEPHSA) exige inspeções de segurança periódicas, planos de manutenção e operação, cobertura obrigatória de seguros e sanções em caso de não conformidade.

Antes da construção e operação de instalações de produção ou armazenamento de hidrogênio, é obrigatório passar por um processo de licenciamento e autorização, conduzido pela *Korea Gas Safety Corporation* (KGSC). Esse processo inclui avaliação técnica do projeto, inspeções de segurança, monitoramento contínuo durante a operação, nomeação obrigatória de um Gerente de Segurança na instalação e treinamento em segurança para todos os envolvidos na produção.

As exigências técnicas para instalações de produção e armazenamento de hidrogênio estão detalhadas nos Códigos Técnicos da KGS (*KGS Codes*), que abrangem padrões de *layout* (distâncias mínimas de segurança), materiais e espessura de tubulações e tanques e sistemas de prevenção de acidentes e controle de danos.

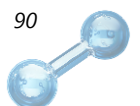
As diretrizes da KOSHA (Agência de Segurança e Saúde Ocupacional da Coreia) também estabelecem normas específicas para o armazenamento de hidrogênio, incluindo o uso obrigatório de aço carbono do tipo "*killed steel*" (aço desoxidado, que reduz o risco de fragilização por hidrogênio) para tanques e tubulações e proibição de materiais como ferro fundido, prioridade para instalações ao ar livre, seguidas por edifícios independentes com ventilação adequada e limites de capacidade para instalações internas (até 425 m³ em salas especiais e até 85 m³ em edifícios comuns), além de distâncias mínimas de segurança, que variam conforme a capacidade de armazenamento e a proximidade de outras instalações.

Embora a produção de hidrogênio por eletrólise ainda não esteja amplamente desenvolvida no país, a legislação vigente — especialmente o HEPHSA e o HPGSCA — já prevê dispositivos legais que permitem a inclusão futura de eletrolisadores como equipamentos especificados.

4.3. China

A China é atualmente o maior produtor de hidrogênio do mundo, com uma produção anual de aproximadamente 33 milhões de toneladas, representando cerca de um terço da produção global. Embora a China ainda não possua um arcabouço legislativo bem definido para o hidrogênio, seu Comitê Técnico Nacional 309154 elaborou e publicou 31 normas nacionais sobre o tema, abrangendo todo o ciclo de vida do hidrogênio.

O hidrogênio tem sido tradicionalmente definido como um produto químico perigoso e, portanto, é regulamentado como tal (lei de segurança do trabalho de 2020). A lei enfatiza o planejamento de segurança, o treinamento de pessoal e o manuseio seguro de produtos químicos perigosos. Ela também exige conformidade com uma série de Normas Nacionais legalmente vinculativas.





De acordo com o relatório *Risk-based Regulatory Design for the Safe Use of Hydrogen* [8] da OCDE, a China apresenta boas práticas no desenvolvimento de um conjunto de regulamentações e normas técnicas voltadas ao hidrogênio. O país possui regulamentações técnicas específicas e juridicamente vinculativas para quatro dos seis cenários da cadeia de valor do hidrogênio analisados neste estudo, incluindo o de produção de hidrogênio. A China também desenvolveu um conjunto de normas nacionais não vinculativas, que refletem os aprendizados obtidos com a prática no setor.

Especificamente em relação à produção de hidrogênio, a norma nacional legalmente vinculativa “GB 50177-2005 Código de projeto para estação de hidrogênio” especifica os critérios a serem atendidos no projeto e na manutenção de estações de produção e fornecimento de hidrogênio. A norma GB 4962-2008 – Regulamento técnico de segurança para uso de hidrogênio gasoso – fornece informações adicionais sobre como o hidrogênio deve ser manuseado nos locais de produção. A norma estabelece requisitos relativos a analisadores de concentração de hidrogênio automáticos e manuais para oxigênio, detectores de hidrogênio em locais com possibilidade de acúmulo com alarme de detecção, intertravamento de compressores, ventilação, requisitos sobre materiais para evitar fragilização por hidrogênio, barreiras de segurança contra fogo e distâncias mínimas de segurança, entre outros requisitos.

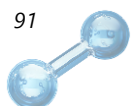
4.4. Austrália

Na Austrália, o desenvolvimento do marco regulatório para hidrogênio tem ocorrido majoritariamente por meio da adaptação da legislação e das práticas de segurança já consolidadas no setor de óleo e gás. Essa escolha reflete uma estratégia de aproveitar estruturas regulatórias maduras, ajustando-as às propriedades e aos riscos específicos do hidrogênio.

O processo de autorização de uma nova instalação é rigoroso e pode levar no mínimo um ano, refletindo a complexidade da análise técnica e regulatória. Um elemento central desse processo é o *Safety Case*, documento que demonstra como o operador identifica, avalia e controla os riscos de acidentes graves. Na Austrália, o *safety case* deve ser revisado e ressubmetido a cada cinco anos.

A legislação define como incidente grave qualquer evento em que ocorra ou possa ocorrer uma fatalidade ou lesão grave, e acidentes com vítimas fatais têm sido usados como insumos importantes para o aprendizado regulatório. Para novas unidades, o regulador analisa principalmente o *safety case*, que deve conter: identificação de acidentes graves, descrição do sistema de gestão da segurança e arranjos de resposta a emergências. Já nos processos de relicenciamento, são considerados adicionalmente o desempenho operacional histórico e o registro de incidentes.

Um aspecto distintivo do modelo australiano é que o regulador não prescreve metodologias específicas de análise de risco (como LOPA). Em vez disso, avalia a adequação dos critérios, métodos e referências utilizados pelo operador, especialmente para a determinação das frequências iniciadoras de acidentes. Também é dada atenção aos chamados efeitos *knock-on*, isto é, às interações com outras unidades vizinhas de alto risco.





A experiência australiana também destaca riscos associados à operação intermitente, comum em plantas de hidrogênio integradas a fontes renováveis como solar e eólica. Nessas condições, partidas e paradas frequentes aumentam a probabilidade de perda de contenção primária (LOPC), identificada como o perigo mais recorrente, além de elevações nas emissões gasosas durante partidas, o que reforça a necessidade de que essas fases sejam explicitamente consideradas nas análises de risco.

Atualmente, não existe um arcabouço legal na Austrália voltado especificamente para a produção, o transporte ou o uso doméstico do hidrogênio. Contudo, a Austrália já desenvolveu diversos projetos relacionados às etapas do ciclo de vida do hidrogênio. Esses projetos estão fornecendo informações para os formuladores de políticas, com o objetivo de apoiar, complementar e fortalecer o caminho para concretizar o considerável potencial do país no setor de hidrogênio. O país vem revisando sua legislação a esse respeito, sujeita aos processos e aprovações dos governos federal e territoriais, a fim de melhor incorporar e esclarecer os requisitos relacionados ao hidrogênio, incluindo a formalização de normas técnicas. Os projetos em operação e em fase de desenvolvimento seguem marcos regulatórios já existentes nos setores de energia, óleo e gás, meio ambiente e substâncias perigosas, sendo avaliados caso a caso pelas autoridades competentes nos estados ou territórios onde se localizam.

A estratégia nacional da Austrália é consolidada na *National Hydrogen Strategy 2024* [41], que estabelece metas claras de crescimento, produção e exportação, ancoradas em forte apoio político e incentivos financeiros. Um dos principais mecanismos de estímulo previstos é a concessão de subsídios de US\$ 2 por quilograma de hidrogênio renovável produzido por empresas residentes, aplicável por até 10 anos entre 2027 e 2040.

Além disso, o país tem direcionado mais de US\$ 500 milhões à formação de hubs de hidrogênio, que integrarão produtores, consumidores e exportadores, e criou o fundo *Future Made in Australia Innovation Fund*, com orçamento de AUD 1,7 bilhão, para fomentar tecnologias de baixo carbono. Esses esforços são complementados por aportes da Agência Australiana de Energia Renovável, que já comprometeu AUD 300 milhões para projetos de pesquisa e inovação no setor.

Para enfrentar essa lacuna normativa, o governo federal, em conjunto com os governos estaduais e territoriais, conduz a *National Hydrogen Regulatory Review* [42], cujo objetivo é estabelecer códigos nacionais de melhores práticas para atividades como produção e reabastecimento de hidrogênio. O processo de revisão já passou por três fases de consulta pública e workshops técnicos, e prevê futuras rodadas de contribuição antes da adoção oficial dos códigos. Como parte dessa iniciativa, foram elaborados mapeamentos técnicos e matrizes regulatórias de segurança e meio ambiente, identificando as legislações aplicáveis e os órgãos reguladores relevantes em cada jurisdição.

Complementando esse esforço normativo, a organização independente Standards Australia [43] lidera a padronização técnica por meio do comitê ME-093 (*Hydrogen Technologies*) [44], que atua em coordenação com os comitês internacionais da ISO e IEC. O trabalho do ME-093 busca garantir que os padrões técnicos desenvolvidos para a indústria de hidrogênio atendam a requisitos de segurança, proteção ambiental e interoperabilidade comercial. A padronização também visa facilitar o comércio internacional e posicionar a indústria australiana de hidrogênio de forma competitiva no mercado global. Até o momento, já foram publicados 14 padrões técnicos aplicáveis ao setor. Destes, cinco são aplicáveis ao setor de produção de hidrogênio, a saber:





- AS 22734 *Hydrogen generators using water electrolysis – Industrial, commercial, and residential applications* (ISSO 22734:2019, MOD)
- AS 16110.1 *Hydrogen generators using fuel processing technologies, Part 1: Safety* (ISO 16110-1:2007, MOD)
- AS ISO 16110.2 *Hydrogen generators using fuel processing technologies, Part 2: Test methods for performance*
- SA TS 19883 *Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification* (ISO/TS 19883:2017, MOD)
- AS ISO 14687 *Hydrogen fuel quality – Product specification*

Para ilustrar como os projetos são avaliados no contexto atual, foram consultados alguns projetos listados no site da ARENA [45]. Como exemplo, foi analisado o caso do *Western Sydney Green Gas Project*, desenvolvido pela empresa Jemena no estado de New South Wales. O projeto visava converter eletricidade renovável em hidrogênio por meio da tecnologia *Power-to-Gas*, injetando o gás resultante em uma rede secundária de distribuição. A aprovação do projeto foi conduzida de acordo com a legislação estadual, especificamente a *Environmental Planning and Assessment Act 1979*, e concedida por meio de um *Development Consent* classificado como *State Significant Development* (SSD).

A partir desse estudo de caso, é possível observar que a avaliação regulatória se dá prioritariamente no âmbito estadual, com exigência de documentação técnica rigorosa previamente à implementação. Não há uma norma nacional que padronize prazos, requisitos ou critérios de aprovação, sendo as exigências definidas pelas autoridades locais de acordo com as legislações aplicáveis. No caso específico de New South Wales, o órgão responsável é o Ministério do Planejamento e Espaços Públicos, ou autoridade por ele delegada.

Conclui-se, portanto, que a Austrália ainda não possui uma regulamentação específica e unificada para o setor de hidrogênio. Contudo, os mecanismos regulatórios existentes já permitem a aprovação e operação de projetos em diferentes fases, inclusive com plantas em operação comercial. O movimento atual de revisão regulatória e desenvolvimento de normas técnicas representa um avanço importante no sentido de criar um arcabouço nacional mais estruturado, que proporcione segurança jurídica, eficiência nos processos de licenciamento e alinhamento com padrões internacionais.

A tabela a seguir sumariza e compara os resultados da pesquisa relativa ao arcabouço regulatório de autorização e segurança operacional nas instalações de produção de hidrogênio de cada um dos países pesquisados.



**Tabela 8** – Comparação do arcabouço regulatório de autorização e segurança operacional nas instalações de produção de hidrogênio de cada um dos países pesquisados

País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Alemanha	Sim	Autoridades de construção dos <i>Länder</i> (estados federados), segundo a Lei Federal de Controle de Emissões.	Regulamentos relacionados a substâncias perigosas e nocivas: - Regulamento de Acidentes com Substâncias Perigosas - Regulamento de Segurança e Saúde Ocupacional Industrial Requisitos regulatórios dependem do estado federado.	Prescritiva, especialmente em proteção contra explosões (ATEX), normas técnicas detalhadas (DIN, VDI) e regras construtivas. A segurança do hidrogênio é estruturada em camadas técnicas bem definidas (prevenção, controle de ignição, mitigação). Há elementos de performance em grandes instalações (avaliação de riscos), mas a ênfase principal está no cumprimento de requisitos técnicos normatizados.	Sim Seveso (<i>Störfall-Verordnung</i>) Lower tier: ≥ 5 toneladas de H ₂ Upper tier: ≥ 50 toneladas de H ₂





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Austrália	Sim	Reguladores estaduais/territoriais de segurança industrial (ex.: <i>WorkSafe</i> , <i>NOPSEMA</i> em contextos offshore)	Austrália ainda não possui uma regulamentação específica e unificada para o setor de hidrogênio. O governo federal, em conjunto com os governos estaduais e territoriais, conduz a <i>National Hydrogen Regulatory Review</i> , cujo objetivo é estabelecer códigos nacionais de melhores práticas para atividades como produção e reabastecimento de hidrogênio.	Baseada em performance A Austrália utiliza um modelo clássico de <i>safety case</i> , herdado do setor de óleo e gás. O operador deve demonstrar que todos os riscos de acidentes maiores foram identificados e adequadamente controlados, sem imposição de metodologias específicas. O regulador avalia a robustez do argumento de segurança, não o cumprimento de soluções pré-definidas.	Não aplicável. Enquadramento como <i>Major Hazard Facility</i> (MHF) quando há potencial de fatalidade ou ferimento grave fora da planta. Não há valor fixo nacional de toneladas; estados usam avaliações de consequências.





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Canadá	Sim	No Canadá, a regulação da segurança para instalações de hidrogênio é compartilhada entre o governo federal e as jurisdições provinciais, com destaque para o papel ativo das províncias na implementação de normas específicas, adaptadas às suas realidades energéticas. A falta de harmonização entre regulações provinciais é um desafio. A ausência de um arcabouço regulatório interprovincial cria barreiras operacionais para projetos que cruzam jurisdições e dificulta a padronização técnica	O Canadá não possui uma lei dedicada ao hidrogênio. As instalações são reguladas como plantas industriais/químicas, com aplicação de códigos CSA, normas de gás e legislação ambiental e de segurança ocupacional, definidas majoritariamente em nível provincial.	Híbrida, com predominância de performance O Canadá combina códigos prescritivos (CSA, normas elétricas e de gás) com exigências de avaliação de riscos baseada em desempenho, especialmente em projetos novos e inovadores de hidrogênio. Há flexibilidade regulatória, desde que a segurança seja tecnicamente demonstrada.	Na Colúmbia Britânica, o novo regulamento que entrou em vigência em 2025 simplifica exigências para instalações com capacidade inferior a 100.000 toneladas anuais e que não estão colocalizadas com unidades de amônia ou metanol. As instalações são classificadas em duas categorias: Classe 1 (menos de 4,5 toneladas agregadas de hidrogênio) e Classe 2 (igual ou superior a 4,5 toneladas, mas abaixo de 100.000 t/ano).
Chile	Sim	<i>Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)</i>	Sim Em 2022, foi promulgado o Decreto Supremo nº 13, publicado em 24 de junho de 2024 pelo Ministério de Energia do Chile, que estabelece o Regulamento de Segurança para Instalações de Hidrogênio, aplicando-se a todas as instalações que realizem atividades de produção, acondicionamento, armazenamento, transferência e consumo de hidrogênio como recurso energético.	Prescritiva O Chile estrutura sua regulação do hidrogênio fortemente a partir de normas técnicas e códigos herdados de gases industriais e combustíveis, com foco em licenciamento e requisitos mínimos.	Instalações com capacidade de armazenamento superior a 2,35 kg devem manter um Manual de Segurança (MS) e um Plano de Emergência e Acidentes (PEA). Já aquelas com capacidade superior a 5.000 kg devem implementar também um Sistema de Gestão de Segurança e Riscos (SGSR).





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
China	Sim	Ministérios e autoridades locais (ex.: Ministério da Gestão de Emergências, autoridades industriais e de planejamento)	A China mantém o hidrogênio sob controle estatal e possui normas técnicas nacionais específicas para produção, armazenamento e transporte. Contudo, juridicamente, a produção de H ₂ ainda está integrada ao regime geral de segurança industrial e gestão de riscos químicos, não como um setor legal totalmente separado.	Fortemente prescritiva A China adota um modelo regulatório centralizado, baseado em padrões nacionais obrigatórios, com requisitos técnicos detalhados. A segurança do hidrogênio é tratada por meio de normas técnicas, com pouco espaço formal para abordagens baseadas em <i>safety case</i> .	Varia por província, mas tipicamente: Plantas > 1–5 t/dia → autorização reforçada Sistemas com pressão ≥ 10 MPa → fiscalização especial
Colômbia	Sim	ANLA (ambiental), Ministério de Minas e Energia, autoridades regionais	Não A Colômbia se encontra no processo de construção do arcabouço regulatório específico para a atividade de produção de hidrogênio de baixo carbono no país. Atualmente, os projetos de hidrogênio na Colômbia são tratados como atividades industriais de risco e sujeitos ao processo de licenciamento ambiental.	Predominantemente prescritiva (em desenvolvimento) A Colômbia ainda se apoia em regulação de caráter geral e normas técnicas existentes para gases e processos industriais. O arcabouço específico para hidrogênio está em construção, e a abordagem atual privilegia requisitos normativos fixos, com limitada aplicação de avaliação de risco avançada.	Necessidade de licença ambiental conforme: Porte da planta (industrial vs piloto) Potencial de impacto ambiental Não há valores numéricos específicos de H ₂ .





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Coreia do Sul	Sim	Antes da construção e operação de instalações de produção ou armazenamento de hidrogênio, é obrigatório passar por um processo de licenciamento e autorização, conduzido pela <i>Korea Gas Safety Corporation (KGSC)</i> .	Sim Lei de Gestão de Segurança do Hidrogênio (<i>Hydrogen Economy Promotion and Hydrogen Safety Act (HEPHSA)</i>), promulgada em 2020	Prescritiva Após acidentes industriais, a Coreia do Sul reforçou um modelo prescritivo, com exigências técnicas detalhadas, inspeções frequentes e certificações obrigatórias. O hidrogênio é tratado como setor estratégico, com pouca discricionariedade técnica para os operadores.	Não, apenas critérios de pressão de equipamentos para fins de necessidade de certificação.





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Dinamarca	Sim	Autorização: a Agência Dinamarquesa de Energia (<i>Energistyrelsen</i>) é o órgão centralizador responsável por coordenar todas as permissões necessárias para instalações de produção de hidrogênio no país. A fiscalização é exercida por dois órgãos com atribuições distintas: A Autoridade Dinamarquesa de Segurança no Trabalho (<i>Arbejdstilsynet</i>) foca na segurança do trabalhador e nas condições de operação. A <i>Sikkerhedsstyrelsen</i> (Autoridade Dinamarquesa de Segurança), também conhecida como <i>Danish Safety Technology Authority</i> , garante a segurança técnica das instalações e equipamentos utilizados nas plantas de produção de hidrogênio.	Não Aplicam-se a Lei do Ambiente de Trabalho e a <i>Executive Order on resilience and preparedness in the energy sector</i>	Baseada em performance A Dinamarca adota uma abordagem baseada em performance, típica dos países nórdicos. Os operadores devem demonstrar que os riscos foram reduzidos a um nível aceitável, com liberdade para escolher soluções técnicas, desde que os objetivos de segurança sejam atendidos, especialmente em projetos ligados à transição energética.	Critérios de corte baseados em avaliação de risco proporcional à quantidade armazenada e proximidade de áreas sensíveis Não há limiar nacional fixo, a decisão é caso a caso.





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Estados Unidos	Não foram encontradas licenças ou aprovações em nível federal aplicáveis às instalações de hidrogênio. Em nível local ou estadual, existem várias licenças e autorizações aplicáveis, tanto de construção quanto de operação, dependendo do tipo de produção e da localização da instalação.	Não aplicável	O arcabouço atual de segurança para o hidrogênio nos EUA é baseado em práticas herdadas da aplicação do hidrogênio nas indústrias química e aeroespacial. O Departamento de Energia está trabalhando com entidades normativas para atualizar, consolidar e criar códigos que garantam o uso seguro do hidrogênio em contextos futuros.	Prescritiva Os EUA combinam um grande volume de normas prescritivas (NFPA, OSHA, códigos estaduais e municipais) com avaliações de risco em projetos específicos. Na prática, a segurança do hidrogênio é amplamente guiada por códigos técnicos detalhados, o que caracteriza uma abordagem mais prescritiva, apesar de existirem exceções em grandes projetos industriais.	Não aplicável





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
França	Sim, para instalações de armazenamento superior a 1.000 kg	Prefeituras e Estado central (regime ICPE/Seveso), com apoio técnico do INERIS	Não As instalações de produção de hidrogênio seguem a regulamentação ambiental das Instalações Classificadas para a Proteção do Meio Ambiente (ICPE).	Híbrida A França integra o hidrogênio ao regime Seveso, exigindo Sistema de Gestão da Segurança, análise formal de riscos e prevenção de acidentes graves. Ao mesmo tempo, impõe estruturas regulatórias padronizadas (matrizes de risco, critérios definidos pelo Estado). Assim, combina exigências de resultado (performance) com forte padronização institucional.	Sim - 100 kg - 1.000 kg
Holanda	Sim	A fiscalização dessas instalações é realizada por diversos órgãos, entre eles o Ministério de Assuntos Econômicos e Política Climática, o Ministério da Infraestrutura e Gestão da Água, o Ministério da Justiça e Segurança, os serviços ambientais regionais, o Instituto Holandês de Segurança Pública (NIPV) e as regiões de segurança locais	Não Está em curso o desenvolvimento de normas, regulamentos e boas práticas voltadas à segurança no uso do hidrogênio	A abordagem regulatória adotada é baseada em performance, com foco na identificação, avaliação e controle de perigos específicos associados ao hidrogênio.	Critérios de corte não são puramente quantitativos. Enquadramento depende se o QRA excede o risco individual típico de 10 ⁻⁶ /ano.





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Itália	Sim	Autoridades regionais; fiscalização técnica com forte atuação do ISPRA	Não. A Itália trata a produção de hidrogênio dentro do Decreto Legislativo 105/2015 (Seveso). O foco está no MAPP, no Sistema de Gestão da Segurança e nas inspeções, sem diferenciação legal formal entre H ₂ e outros produtos perigosos, embora o H ₂ seja reconhecido como substância crítica.		Sim Seveso (DL 105/2015): Lower tier: ≥ 5 t de H ₂ Upper tier: ≥ 50 t de H ₂





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/ produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Japão	Sim	Autorização do governador da província quando a quantidade produzida atinge ou excede 100 Nm ³ por dia, ou quando o armazenamento ultrapassa 1000 Nm ³ por dia.	Sim O Japão possui leis e regulamentos específicos para hidrogênio, incluindo requisitos técnicos detalhados para produção, equipamentos e operação.	Prescritiva O Japão adota um modelo detalhado, com requisitos técnicos específicos, cultura de certificação e regras rígidas para equipamentos e instalações de hidrogênio. A segurança é garantida prioritariamente por conformidade técnica.	A produção de hidrogênio requer autorização do governador da província quando a quantidade produzida atinge ou excede 100 Nm ³ por dia, ou quando o armazenamento ultrapassa 1000 Nm ³ por dia.





País	É requerida autorização para instalações de produção de hidrogênio?	Qual órgão autoriza e fiscaliza a operação de instalações de produção de hidrogênio?	Há legislação específica para instalação de produção de H ₂ ou segue critérios para indústrias químicas/produtos perigosos ou outro tipo de instalações?	Abordagem regulatória (prescritiva, baseada em performance ou híbrida)	Há critério de corte para necessidade de autorização ou para categoria de autorização?
Noruega	Sim	Autoridade municipal competente Acima de 5 ton, é requerida autorização especial da DSB (Diretoria Norueguesa de Proteção Civil).	Não Na Noruega, a produção de hidrogênio segue o modelo geral de regulação por objetivos de segurança, herdado do setor de petróleo e gás. O hidrogênio não possui um regime jurídico próprio; o operador deve demonstrar que os riscos foram adequadamente controlados.	Fortemente baseada em performance A Noruega é um dos exemplos mais maduros de regulação baseada em performance, herdada do setor offshore de petróleo e gás. O operador é responsável por demonstrar que atingiu um nível adequado de segurança, com ampla liberdade técnica e forte responsabilização legal.	5 ton Acima desse limite, aplica-se o Regulamento de Acidentes Graves (<i>Major Accidents Regulation</i>), exigindo autorização especial da DSB (Diretoria Norueguesa de Proteção Civil).
Reino Unido	Sim	Autorização pelo Ofgem (<i>Office of Gas and Electricity Markets</i>) Fiscalização pelo <i>Health and Safety Executive</i> (HSE)	Não. O Reino Unido trata a produção de hidrogênio dentro do arcabouço geral de saúde e segurança, com aplicação de <i>safety cases</i> e controle de riscos. Recentemente, regras específicas foram estendidas ao hidrogênio offshore, mas sem criar um regime legal totalmente separado.	Fortemente baseada em performance. O Reino Unido utiliza o modelo de <i>safety case</i> como eixo central da regulação, recentemente estendido à produção offshore de hidrogênio.	Critérios de corte do COMAH: Lower tier: ≥ 5 t de H ₂ Upper tier: ≥ 50 t de H ₂





anp