

H2BRASIL



Coleção 2: **APLICAÇÃO DO H2VERDE NO MERCADO**



VOLUME 3

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do hidrogênio não convencionais

**SAYONARA ANDRADE ELIZIÁRIO, DAVI GABRIEL LOPES,
JÚLIA TEIXEIRA FERNANDES, AURÉLIO LAMARE SOARES MURTA**



Por meio da:

giz Energie-Gesellschaft
für Information und
Sustainable (EIG) GmbH

H2BRASIL Expansão do
Hidrogênio Verde

**MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA**



Apoio:

intec INTEGRATION

Organização:

Quali-A

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do hidrogênio não convencionais

Projeto H2Brasil – Expansão do Hidrogênio Verde

Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável (Componente 03 – Capacitação)

Implementação: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

- Diretor: Markus Francke
- Coordenador: Martin Studte

Coordenação Geral: INTEGRATION / GOPA_INTEC

- Coordenação: Klaus-Peter Albrechtsen
- Especialista: Lothar Hoppe
- Especialista: Rosana Z. Domingues
- Revisão: Victor N. Bistritzki

Coordenação dos Cursos: Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética

- Coordenação Geral dos cursos: Júlia Teixeira Fernandes
- Coordenação Acadêmica: Aurélio Lamare Soares Murta
- Coordenação Operacional: Roney Ramaiano de Souza Silva
- Coordenação Pedagógica: Ariane Louzada Sasso Ferrão
- Tutoria acadêmica e pedagógica: Bianca Zorzetto Carniel Furquim
- Tutoria acadêmica e pedagógica: Isabelle Freire Sousa

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do hidrogênio não convencionais

Ficha catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do hidrogênio não convencionais [livro eletrônico]: volume 3 / Sayonara Andrade Eliziário... [et al.]. -- Brasília, DF : LaSUS FAU, 2023. -- (Coleção 2 : aplicação do H2 verde no mercado) PDF

Outros autores: Davi Gabriel Lopes, Júlia Teixeira Fernandes, Aurélio Lamare Soares Murta.

ISBN 978-65-84854-32-1

1. Energia - Fontes alternativas 2. Hidrogênio Verde
3. Normas e Regulamentação. 4. Sustentabilidade ambiental I. Série.

23-178241

CDD-333.794

Índices para catálogo sistemático:

1. Brasil : Energias renováveis : Desenvolvimento sustentável : Economia 333.794

Tábata Alves da Silva - Bibliotecária - CRB-8/9253

Dados editoriais:

Editora: LaSUS FAU UnB

Equipe editorial:

- Professor Dr. Caio Frederico e Silva (ed)
- Professora Dra. Marta Bustos Romero(ed)
- Coordenador Técnico: Valmor Cerqueira Pazos



 **UnB** Estante digital: <https://livros.unb.br/>

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do hidrogênio não convencionais



Volume 1

Hidrogênio Verde (H2 Pt-X) e Mobilidade



Volume 2

Hidrogênio Verde (H2 Pt-X) e outras aplicações



Volume 3

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do H2 não convencionais



Volume 4

Oportunidades de mercados: Nacional e Internacional

**Esse livro tem como referência a transcrição e adaptação das aulas do Curso 2-Módulos 4, H2Brasil, 2023.*

Conteúdo das aulas:

SAYONARA ANDRADE ELIZIÁRIO

DAVI GABRIEL LOPES

Adaptação para livro:

JÚLIA TEIXEIRA FERNANDES

AURÉLIO LAMARE SOARES MURTA

Organização do livro:

KLAUS-PETER ALBRECHTSEN

LOTHAR HOPPE

ROSANA ZACARIAS DOMINGUES

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do H2 não convencionais

Dra. Sayonara Andrade Eliziário

Universidade Federal da Paraíba (UFPB) | sayonara@cear.ufpb.br

Professora da UFPB em Engenharia de Energias Renováveis. Foi pesquisadora do Instituto Nacional do Semiárido (INSA); Pós-doc na Universidade Federal de São Carlos, no Departamento de Engenharia de Materiais; Foi pesquisadora no Durham University (UK), Université Paris-Sud 11- França; Doutorado sintetizando materiais nanoestruturados multifuncionais (UNESP); Especialista em Direito da Energia, focado no arcabouço regulatório do regulação do hidrogênio renovável; Consultora de projetos de hidrogênio verde. Tem experiência na área de materiais para energia, catalíticos, fotossensibilizados, síntese química inorgânica, conversão de biocombustíveis, físico-química de materiais, microscopia e eletrocerâmicas.

Dr. Davi Gabriel Lopes

Universidade Estadual de Campinas (FEEC/UNICAMP) | InvestSP | engdavi.lopes@gmail.com

Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos pela ; Mestre em Planejamento de Sistemas de Energéticos pela UNICAMP e Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Ceará. Coordenador de Investimentos na INVESTSP, Consultor especialista em hidrogênio na Dglopes-Consultoria e pesquisador em hidrogênio e energia solar fotovoltaica na FEEC/UNICAMP . Atua na áreas: energia solar fotovoltaica, energia eólica, sistemas híbridos, aproveitamento da geração de hidrogênio e posterior utilização em células à combustível a partir da reforma de etanol e eletrólise, para geração distribuída e na eletromobilidade.

Dra. Júlia Teixeira Fernandes

Universidade de Brasília (UnB) | Quali-A Conforto Ambiental e Eficiência Energética | julia@quali-a.com

Arquiteta e Urbanista; Doutora pela FAU-UnB, pesquisadora no LaSUS, LACAM e SiCAC, em Sustentabilidade, Bioclimatismo, Conforto Ambiental, Desempenho Térmico e Lumínio, Eficiência Energética, Qualidade Ambiental e Simulação. Professora e Consultora em diversas áreas, como Etiquetagem de Eficiência Energética das Edificações (PROCEL-EDIFICA/MME), Normas, Certificações, Neroarquitetura e Biofilia. Professora de pós do IPOG e sócia da Quali-A, do Impact Hub-Brasília.

Dr. Aurélio Lamare Soares Murta

Universidade Federal Fluminense (UFF) | aureliomurta@id.uff.br

Graduado em Eng. Civil, Mestrado em Transportes (IME), Doutorado e Pós-doc em transporte e Planejamento Energético e Ambiental UFRJ. É Professor da UFF em Administração, Coordenador do MBA em Logística Empresarial, Pesquisador do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais/UFRJ. Membro Imortal da Academia Brasileira de Ciências, Artes, História e Literatura (ABRASCI). Áreas de atuação: Eng. de Transportes, Planejamento e Operação Logística, Gerenciamento de Projetos, Pesquisa Operacional e Simulação.

Legislação e normas de segurança, para produção e usos do hidrogênio não convencionais

Me. Klaus-Peter Albrechtsen

Integration – International Management Consultants GmbH / GIZ | klausalbrechtsen@yahoo.de

Mestrado em Eletrotécnica de Potência e em Educação Profissional pela Universidade de Hamburgo/Alemanha. Especialista nas áreas de energias renováveis, eficiência energética, gestão de projetos, desenvolvimento organizacional, gestão e desenvolvimento de recursos humanos. Mais de 30 anos de experiência na prestação de respectivos serviços de consultoria em mais de 20 países.

Esp. Lothar Hoppe

Integration / Gopa_Intec / GIZ | lotharhoppe@outlook.com

Engenheiro eletricista com pós-graduação em eficiência energética e gestão de energia pela PUCRS. Com vasta experiência em: consultoria e auditoria nas áreas de eficiência energética, gerenciamento de energia, economia de energia e sistemas de energia renovável, instrutor e professor em energia renovável em empresas e instituições de ensino com SENAI, PUCRS e outras. Atua nas áreas de Solar térmica, fotovoltaica, eólica, biomassa e hidrogênio.

Dra. Rosana Zacarias Domingues

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Integration/GIZ | dominguesrz@gmail.com

Doutorado pelo Institut National Polytechnique de Grenoble-França- INPG; Bacharel, Licenciada e Mestre em Química pela UFMG. Especialista no projeto H2Brasil BR-AL (GIZ-MME) de cursos de capacitação, coordena projetos para criação de ação de novos produtos e serviços com equipes multidisciplinares em empresas (CEMIG, EMBRAER, Magnesita etc.) nas áreas de células a combustível, biomateriais e eletroquímica. Participa dos programas de Pós-Graduação -PPGIT/UFMG.

Dr. Victor Nikolaus Bistrizki

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) | bistrizki@ufmg.br

Doutorado em Inovação Tecnológica e Biofarmacêutica pela UFMG, experiência em energia renovável, inovação de biotecnologias, tecnologias de hidrogênio, panorama de patentes.

Me. Francisco Polatscheck

WordWise tradução simultânea e escrita | wordwisebh@gmail.com

Mestrado em Língua Inglesa pela UFMG; Certificate of Proficiency in English (Cambridge); Coordenador de Interpretes de Conferências (Port < > Ingl; Esp > Port/Ingl).



Por meio da:



Legislação e Normas de Segurança, para produção e uso do H2 em aplicações não convencionais

SAYONARA ELIZIÁRIO, DAVI LOPES,
JÚLIA FERNANDES, AURÉLIO MURTA

Brasília-DF, 2023

Objetivo do livro e proteção aos direitos autorais

Ressaltamos que o conteúdo do livro, segue uma estrutura textual de transcrição de aulas online, com formato didático e informal. A linguagem é acessível, para todos os profissionais, que estão tendo a primeira aproximação com o tema Hidrogênio Verde por meio dos cursos.

Como foram inúmeras solicitações para novas turmas, a coordenação geral dos cursos, avaliou a relevância de todo o conteúdo gerado no projeto, encarando a confecção dos 10 livros como uma oportunidade de democratizar esse conhecimento no Brasil.

Assim, a leitura desse livro, também deve ser feita com esse propósito: uma oportunidade de “ler/ouvir” esses grandes especialistas, durante uma aula sobre H₂Verde. Por isso, o objetivo do livro é ter um caráter técnico, com uma abordagem didática das informações, conteúdos e exemplos ilustrativos, de fácil compreensão, com o propósito de garantir a aprendizagem.

O livro não substitui as publicações e referências acadêmicas sobre o assunto. Para isso, sugerimos conhecer o currículo lattes, a biografia, as publicações (livros e artigos), pesquisas e trabalhos técnicos (de universidades, laboratórios e empresas), desenvolvidos pelos professores conteudistas e especialistas, que são grandes referências no tema no Brasil e mundo.

Lembramos que todo o conteúdo reunido foi fruto de uma iniciativa inédita no país. Reforçamos que todo criador de uma obra intelectual tem seu direito autoral garantido sobre a sua criação. Esse direito é exclusivo dos autores (art. 5.º, XXVII, da Constituição Federal), constitui-se de um direito moral (criação) e um direito patrimonial (pecuniário). Segundo a Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, este material está protegido pela lei de direito autoral.

Solicitamos que qualquer reprodução, parcial ou integral, seja referenciada com a devida autoria e solicitada uma autorização dos autores.

Quanto às imagens utilizadas, suas fontes estão especificadas, e alertamos que o livro não é, e não pode, ser comercializado. O conteúdo é fruto da transcrição das aulas dos professores no Projeto H₂Brasil, que tem o intuito de disseminar o conhecimento no Brasil. Seu uso é exclusivamente didático, utilizando as imagens para fins de estudo ou crítica sobre o assunto em questão.

Apresentação

O contexto mundial de transição energética para uma economia com zero emissões de carbono prioriza o uso de energias renováveis como a solar, a eólica e a hídrica em oposição as oriundas de fontes fósseis. Entretanto, um dos desafios do uso de tais fontes surge pelo fato delas serem intermitentes e não armazenáveis e, portanto, devem ser utilizados localmente ou enviadas para uma rede de distribuição.

No Brasil, a capacidade de produção de energia a partir das fontes renováveis é enorme, podendo gerar, em certos momentos, um excedente de energia. O hidrogênio, H₂, surge então como uma forma de armazenar estas energias. O H₂, que é um vetor energético, pode ser obtido através de diferentes rotas, com baixa ou nula emissão de carbono. Caso, a energia usada seja renovável, o H₂ produzido via eletrólise é denominado H₂ Verde.

Em uma de suas ações, o **Projeto H₂ Brasil Power-to-X** previu a capacitação dos futuros profissionais brasileiros que atuarão na cadeia do H₂ Verde. Como foco da “**Componente 3 do Projeto**” (**Educação Profissional e Superior para o Hidrogênio Verde**), foram desenvolvidos cursos teóricos e práticos, desde a produção de H₂ até seu uso final.

O objetivo dos cursos foi abordar desde o conhecimento básico fundamental até detalhar temas mais relevantes para contexto brasileiro. O intuito é a formação de um grande grupo capacitado, que será o futuro corpo docente do tema H₂ Verde no Brasil. (Rede H₂ Brasil). O público-alvo era professores (mestres e doutores) e instrutores nas áreas correlatas ao H₂ Verde, tais como engenharia elétrica, civil, eletrotécnica, mecânica, mecatrônica, química, economia, gestão, TI, economia ou direito com experiência e conhecimento em energias renováveis ou afins.

Foram 1.176 participantes que tiveram a oportunidade de se capacitar, divididos em 11 turmas, num total de 120h de carga horária. As etapas EAD (online) abordaram desde a introdução até a aplicabilidade do H₂ Verde no mercado. Já a etapa presencial focou nos cenários regionais para implantação de tecnologias relacionadas ao H₂ Verde, por meio de visitas técnicas orientadas. Também foram ministrados 8 cursos, denominados *masterclasses*, com mais de 495 inscritos, com carga horária de 20h a 30h, no formato EAD (online).

Esse livro é produto dessas capacitações, que reuniu 23 professores doutores, em temas relacionados ao H₂ Verde. Foi uma ação, inovadora e colaborativa, na criação de conteúdos, do Brasil e Alemanha. Assim todo o material didático dos cursos (transcrição de aulas, slides e apostilas) foi compilado, resultando no desenvolvimento de 2 coleções, com total de 10 livros didáticos do projeto H₂ Brasil Power-to-X.

Expressamos nosso reconhecimento aos autores e toda equipe envolvida, pelo trabalho árduo e inédito. Esperamos que os livros possam contribuir e ampliar ações efetivas para o crescimento do H₂ Power-to-X no Brasil.

Klaus P. Albrechtsen

H₂Brasil Power to X - Programa de Parceria Alemã-Brasileira
Componente: Formação Profissional e Superior para Hidrogênio Verde

Sumário

1. Legislação e normas de segurança, para produção e usos do H2 não convencionais	5
1.1. Regulação	5
1.2. Regulamentação	6
1.3. Normatização	7
1.4. Governança	9
2. Contexto Internacional	10
2.1. O caso europeu	15
3. Normas internacionais	24
4. Arcabouço Regulatório	26
4.1. Europa	26
4.2. Estados Unidos	28
4.2.1 Produção nos EUA	35
4.3. Japão	41
4.4. China	44
4.5. Alemanha	49
5. Esquemas de Certificação	50
5.1. TUV	55
5.2. GH2	58
5.3. CertifHy	60
5.4. Certificação – Austrália	64
5.5. HyXchange	68
6. Aplicação da ACV	70
6.1. Normas específicas – ACV	72
6.2. Fases – ACV	74
6.3. Definição do objetivo e escopo – ACV	75
6.4. Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) – ACV	77
6.5. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) – ACV	78
6.6. Análise de Melhorias/Interpretação – ACV	79

1. Legislação e normas de segurança, para produção e usos do H2 não convencionais

Vamos iniciar nossa discussão pensando sobre o motivo pelo qual o tema do hidrogênio possui tanta relevância?

No âmbito da transição energética, em direção a uma economia de baixo carbono, o uso do hidrogênio de baixo carbono em substituição aos combustíveis fósseis, passa a ocupar um local de destaque no setor global energético, em função das perspectivas de mudanças econômicas e geopolíticas. Sendo assim, a atuação dos poderes públicos e o interesse do setor privado se voltam a estruturar um arcabouço regulatório que permita alcançar as metas econômicas e ambientais, ao mesmo tempo que elimina gargalos e barreiras de mercado e respeita os dos interesses das diversas forças sociais presentes, de forma equilibrada. Para tal, a regulação deve envolver uma série de ações que envolvem: leis, regulamentos e atos jurídicos; padronização de atos administrativos normativos; diretrizes, planos e governança. Inicialmente, vamos identificar esses elementos.

1.1. Regulação

A Legislação desenvolvida para a transição energética não é específica, pois abrange diversas áreas relacionadas à necessidade de redução de emissões de gases de efeito estufa e de mitigação de mudanças climáticas, bem como uma série de regulamentos voltados a cadeia de valor do hidrogênio.

Paralelamente, quando uma legislação se dedica a desenvolver e conduzir uma atividade econômica, torna-se uma regulação. Considerando as diversas dificuldades de se respeitar os interesses das partes em um setor econômico, o Estado passa a organizar juridicamente a atividade econômica através da sua intervenção, através da concessão de serviço público ou o exercício do poder de polícia, segundo Salomão, 2001. Sendo assim, o Estado utiliza da coerção para determinação de um regime jurídico.

De acordo com o termo inglês, ‘Regulation’ é o uso do poder que tem por finalidade limitar as decisões dos agentes econômicos. A regulação engloba todas as formas de organização da atividade econômica através do Estado, intervindo de forma indireta sobre a conduta dos sujeitos públicos e privados, de modo permanente e sistemático, para implementar as políticas de governo e a realização dos direitos fundamentais” (Magro e Morong, 2018).

São atos normativos as leis, os decretos, as resoluções, as portarias, os regulamentos, as instruções normativas e demais atos mandatórios emanados das entidades públicas que detêm competência para editá-los.

O objetivo geral dos reguladores é facilitar o desenvolvimento e o funcionamento do mercado doméstico, bem como o do comércio transfronteiriço. Para este fim, os reguladores esperam auxiliar o setor público na implementação de mecanismos de apoio e incentivos, e ao setor privado nos setores para investimentos, através do desenvolvimento de uma definição viável de hidrogênio limpo, que traga confiança no mercado, o que é necessário, por exemplo, para o estabelecimento de um regime de licenciamento.

1.2. Regulamentação

Portanto, define-se a regulação como atos normativos por meio dos quais os órgãos governamentais estabelecem exigências relacionadas ao desenvolvimento de um mercado, que devem ser cumpridas pelos agentes econômicos e/ou cidadãos.

A regulamentação suplente e atribui legitimidade às normas, fornecendo amparo jurídico e, portanto, mandatório. O regulamento enuncia as características de um produto ou os processos e métodos de produção a ele relacionados, incluídas as disposições administrativas aplicáveis, cujo cumprimento é obrigatório. Pode tratar parcial ou exclusivamente de terminologia, símbolos e requisitos de embalagem, marcação ou rotulagem aplicáveis a um produto, serviço, bens, pessoas, processo ou método de produção.

Segundo Neto, 2004, sob o aspecto material, a regulamentação é uma função política, no exercício de uma prerrogativa do poder político de impor regras secundárias, em complementação às normas legais. A função regulatória é distinta da função regulamentar porque esta, é uma função administrativa, enquanto a regulamentação é função política, que explicita conceitos jurídicos indeterminados, implícitos na lei (Magro e Morong, 2018).

Além disso, um regulamento técnico pode ser complementado por diretrizes técnicas, estabelecendo alguns meios para obtenção da conformidade com os requisitos do regulamento, isto é, alguma prescrição julgada satisfatória para obter conformidade e experiência, visando à otimização de benefícios para a sociedade.

1.3. Normatização

As fornecem informações necessárias para produzir, armazenar e utilizar um produto, bem como operar equipamentos e instalações com segurança, garantindo uma qualidade esperada. As normas auxiliam a garantir uniformidade de condições de segurança e fornecem informações necessárias para que a produção de equipamentos e as instalações sejam aprovadas. As normas tem caráter voluntário e não são leis, mas podem alcançar força de lei se amparadas por regulamentos específicos. Embora não sejam regulamentações, as normas alcançam um status de regulamentação quando são mencionadas em códigos ou por meio de outras regulamentações governamentais.

Enquanto os regulamentos são documentos juridicamente vinculativos, emitidos por autoridades nacionais ou internacionais, as normas são orientadas pela indústria e de adoção voluntária. Os códigos encontram, em geral, um lugar entre os regulamentos e normas, e seus papéis e funções específicos dependem do país e da região de adoção (Moretto, 2022).

No Brasil, os códigos reúnem, em uma única Lei, normas de um mesmo ramo do direito (Ex: Código de Trânsito). Por sua vez, as normas também

se referem ou invocam padrões para conceituar algo, quando estão relacionados a padrões de equipamentos ou métodos de fabricação.

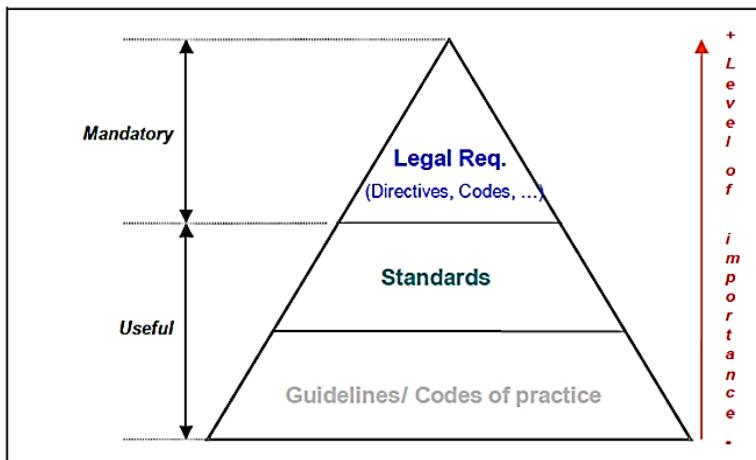
Regulamentos, Códigos e Normas visam compartilhar informações, lições aprendidas e melhores práticas com foco na segurança do uso de hidrogênio e sua qualidade, bem como como a harmonização de códigos e normas desenvolvidos, relevante para organizações e para indústria e desenvolvimento de padrões de equipamentos. O compartilhamento de boas práticas deve auxiliar a comunidade global no desenvolvimento de normas nacionais e padronização de metodologias e equipamentos como eletrolisadores e de células a combustível.

Sendo assim, regulamentações, códigos e padrões não são equivalentes, nem com relação ao que abrangem, nem de acordo como são construídos. As normas são desenvolvidas por organizações privadas de padronização, por meio de processos minuciosos, envolvendo grupos de trabalho reunidos por várias partes interessadas, incluindo do setor público. Os códigos devem estar alinhados às leis e podem ser desenvolvidos por empresas ou associações em alguns países, mas também envolvem o poder decisório do poder público, na maioria das vezes. Os padrões e códigos, ao contrário dos regulamentos, não são documentos legais, mas podem se tornar juridicamente vinculativos, se incluídos ou mencionados em regulamentos. Nesse caso, dizemos que a norma está harmonizada com o regulamento. Ainda assim, o uso dessas normas continua sendo voluntário, sendo os operadores econômicos livres para escolher outra solução técnica e demonstrar conformidade com os requisitos legais obrigatórios para os organismos de avaliação de conformidade.

A União Europeia o CEN – CENELEC (European Committee for Standardization) descreve sua estrutura jurídica e normativa em níveis, como mostrado na Figura 1.

O Brasil possui, como órgão certificador o INMETRO e homologa e revisita normas através da ABNT, um órgão privado, no sentido de seguir a padronização internacional, baseadas nas normas ISO e IEC.

Figura 1- Estrutura regulatória europeia



Fonte: ELY4OFF, 2018

As normas internacionais ISO e IEC desempenham um papel balizador para toda a cadeia de valor, incluindo produção, terminologias internacionais, segurança, medição, calibração, análise, controle de qualidade e conservação ambiental. De particular importância é o sistema de unidades SI. A padronização internacional é compartilhada entre a Organização Internacional de Padronização (ISO), para todos os assuntos não elétricos (normas específicas para uso de petróleo, carvão, energia nuclear e hidroelétrica, energia solar, energia eólica, hidrogênio e eletricidade) e a muito mais antiga Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC), ambas com sede em Genebra, na Suíça. A ISO 13600, por exemplo, é uma série de normas energéticas que permite a caracterização, análise e comparação de todos os sistemas energéticos (Grob, 2003).

1.4. Governança

A governança partilha, junto ao conceito de regulação, o interesse pela dimensão institucional de direcionar uma atividade econômico-social e política. A governança em si, traduz o modo de coordenação dos diferentes tipos de arranjos institucionais presentes num dado sistema social de produção – mercados, hierarquias, Estado, redes, associações

e comunidades, cujas ordens relacionais, diversas e parciais, configuram uma dada forma institucional dominante ou prevalecente (reis, 2013). O modelo atual de governança incorpora a governança, a gestão de riscos e a integridade (GRC) às práticas das agências públicas. A nova governança pública exige do setor público maior confiança e capacidade de coordenação social, baseada na colaboração entre os diversos setores do Estado, em favor do alcance de objetivos comuns de desenvolvimento.

Sendo assim, a governança pública deve atender às partes interessadas na resolução dos problemas públicos (stakeholders). Os agentes públicos governamentais, por sua vez, devem responder aos cidadãos (financiadores do governo), aos usuários dos programas (beneficiários), aos órgãos de direção (Presidência da República e Congresso Nacional, governador e assembleias legislativas), aos órgãos de controle interno e externo, aos partidos políticos (interessados em ocupar o governo), às organizações parceiras da sociedade civil (colaboradores) e demais interessados na resolução dos problemas públicos. A boa governança alia o atingimento de critérios satisfatórios de desempenho à promoção das exigências de conformidade (Vieira, 2019).

2. Contexto Internacional

Para impulsionar o mercado do Hidrogênio Verde de forma adequada, é importante que os tomadores de decisão considerem tanto a regulamentação como parte da regulação, buscando equilibrar a qualidade do mercado com o desenvolvimento. Não se pode separar esses elementos, pois eles são complementares e essenciais para garantir a qualidade e a competitividade do mercado.

Segundo o WEC, 2021 entre as ações identificadas como estratégicas, comum nas Estratégias Nacionais dos países, estão as medidas regulatórias e legislativas. Normas e regulamentos estão sendo revisados ou desenvolvidos para alcançar esse mercado que evolui a cada dia, e devem abarcar desde a produção até o transporte e o armazenamento do hidrogênio; bem como usos finais, entrando nos aspectos de segurança de estações de abastecimento; fabricação de

veículos, interfaces, detectores, etc. Uma série de códigos e padrões internacionais tem sido compartilhada como forma de harmonizar conceitos e métodos, uma vez que o comércio de hidrogênio deve alcançar um mercado global.

Embora alguns códigos e normas para H2 e sistemas relacionados já estejam disponíveis, em muitos casos não abordam totalmente as novas questões relacionadas à futura “economia de energia limpa”. Todavia, de forma geral, os países têm avançado na pesquisa e desenvolvimento de projetos para promover produção e uso do hidrogênio de baixo carbono e compartilhado as boas práticas entre si. O objetivo principal é identificar e abordar as lacunas regulatórias, clarificar e consolidar regulamentos, validar resultados de testes desatualizados e, desenvolver novos códigos e normas mais apropriados que permitirão a utilização segura deste vetor.

Antes mesmo do desenvolvimento e implementação de uma regulação específica para o hidrogênio de baixo carbono, a utilização do gás pode ser correlacionada e inserida dentro do escopo de outras leis existentes (por exemplo, aquelas aplicáveis ao gás natural). Mesmo assim, embora o hidrogênio seja utilizado na indústria há décadas, seu uso como combustível para veículos ou geração de energia estacionária em ambientes convencionais é relativamente novo e precisa ser revisado. Por isso, os códigos e padrões de hidrogênio e células a combustível estão em vários estágios de desenvolvimento.

Juntamente com o uso das leis já existentes, os reguladores estão elaborando um arcabouço regulatório abrangente, específico para uma economia de energia limpa, que regerá a produção, armazenamento, transporte, distribuição e infraestrutura associada de hidrogênio verde e de baixo carbono. O setor privado, líderes do setor industrial e outros especialistas estão trabalhando alinhados aos órgãos governamentais e às diversas organizações no desenvolvimento de códigos e padrões que garantam o uso de tecnologias de baixo carbono, atreladas a sistemas de hidrogênio e células a combustível, de forma segura e com qualidade.

Os próximos regulamentos devem também estabelecer regras relativas ao uso, compra e venda desse tipo de hidrogênio. A certificação do hidrogênio, quanto às emissões associadas, é uma prioridade para países que pretendem comercializar o H₂, trazendo transparência aos compradores e melhor acesso a informações, facilitando o comércio de H₂ limpo e permitindo uma comparação precisa.

Entende-se, portanto, que há urgência em estabelecer normas comuns a nível nacional e dar-lhes respaldo jurídico através de regulamentos nacionais.

No contexto do Hidrogênio Verde, é importante observar as boas práticas utilizadas por outros países. Uma forma de acessar essas informações é através de documentos como o publicado pelo WEC em 2021, que apresenta os principais pontos encontrados nas estratégias nacionais. Ao identificar as práticas comuns, é possível adotá-las e evitar caminhar na direção oposta.

Figura 2- Metas dos diferentes países

CATEGORY	ASIA			EU	France	Germany	Hungary	EUROPE				LAC Chile	NORTH AMERICA Canada
	Australia	Japan	South Korea					Netherlands	Norway	Portugal	Spain		
Strategy contains timeline for market development with targets	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●
Strategy contains hydrogen cost targets	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
Strategy includes measures to support H2 development	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Direct investments	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Other economic and financial mechanisms	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Legislative and regulatory measures	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Standardisation strategy and priorities	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Research & development initiatives	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
International strategy	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Strategy addresses social issues for H2 development	●	●	●	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●
Strategy includes review and update	●	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○
Strategy's H2 target source by 2030	Clean	Fossil based with CCS	From natural gas	Low carbon	Low carbon & fossil based	Carbon free	Low carbon & fossil based	Blue & Green	Clean	Green	Renewable	Green	Low carbon intensity
Strategy's H2 target source by 2050	Clean	CO ₂ free	Eco-friendly CO ₂ free	Cleanly generated	Low carbon	Renewable	Low carbon & carbon free	Green	Clean	Green	Renewable	Green	Low carbon intensity
Import / Self-reliance / Export	Export, Self-reliance	Import	Import, Export, both	Export	Export	Import, Export, both	Import to support H2 (EU H2)	Self-reliance	Self-reliance	Self-reliance/ Export	Self-reliance/ Export	Self-reliance/ Export	Self-reliance/ Export

Fonte: WEC, 2021

Dentre esses pontos, podemos destacar a importância das medidas legislativas e regulatórias, bem como a padronização e definição de requisitos e padrões de uso. Em todas as políticas de desenvolvimento de mercado, é comum estabelecer metas de redução de emissões e custos do hidrogênio, bem como definir os investimentos necessários e medidas de incentivo para o mercado.

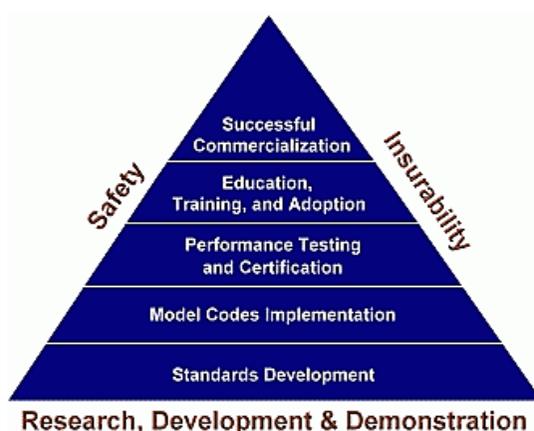
As medidas regulatórias e legislativas devem ser estabelecidas em conjunto com a definição de requisitos e padrões de uso, para garantir a qualidade e segurança do produto. Além disso, é importante definir os setores estratégicos para a implementação do Hidrogênio Verde. Adotar

as boas práticas de outros países pode ajudar a acelerar o desenvolvimento do mercado e alcançar as metas de redução de emissão.

Para entendermos melhor as boas práticas relacionadas ao Hidrogênio Verde, é importante analisarmos a situação em outros países e observar quais estratégias foram utilizadas. O documento do WEC, 2021 pode nos ajudar nesse sentido, trazendo um resumo dos pontos mais importantes encontrados nas estratégias nacionais e servindo como referência para boas práticas. Ao analisarmos as categorias presentes nesse documento, podemos observar a definição de metas e reduções de custos, investimentos necessários para o mercado, medidas de incentivo e padronização e definição de requisitos e padrões de uso.

Ao definirmos os setores estratégicos para a utilização do hidrogênio, conseguimos saber quais setores precisaremos olhar com mais atenção e definir os requisitos e padrões de uso. O setor de produção é um alvo-chave para a definição desses requisitos, bem como para a criação de medidas regulatórias que garantam o cumprimento desses requisitos.

Figura 3 - Metas dos diferentes países



Fonte: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/current-approaches-safety-codes-and-standards>

Além disso, outros setores estratégicos incluem o de energia, transporte, petroquímico e indústria de compostos químicos. Todos esses setores que podem se beneficiar do uso do hidrogênio verde e de

baixo carbono precisa ser normatizados para que seja possível seguir um padrão de produto que seja seguro e eficiente. O objetivo é garantir que o Hidrogênio Verde seja utilizado como insumo na produção sustentável de outros bens e contribua para a redução das emissões de gases do efeito estufa.

Segundo o WEC, 2021 entre as ações identificadas como estratégicas, comum nas Estratégias Nacionais dos países, estão as medidas regulatórias e legislativas. Normas e regulamentos estão sendo revisados ou desenvolvidos para alcançar esse mercado que evolui a cada dia, e devem abarcar desde a produção até o transporte e o armazenamento do hidrogênio; bem como usos finais, entrando nos aspectos de segurança de estações de abastecimento; fabricação de veículos, interfaces, detectores etc. Uma série de códigos e padrões internacionais tem sido compartilhada como forma de harmonizar conceitos e métodos, uma vez que o comércio de hidrogênio deve alcançar um mercado global.

Embora alguns códigos e normas para H2 e sistemas relacionados já estejam disponíveis, em muitos casos não abordam totalmente as novas questões relacionadas à futura “economia de energia limpa”. Todavia, de forma geral, os países têm avançado na pesquisa e desenvolvimento de projetos para promover produção e uso do hidrogênio de baixo carbono e compartilhado as boas práticas entre si. O objetivo principal é identificar e abordar as lacunas regulatórias, clarificar e consolidar regulamentos, validar resultados de testes desatualizados e, desenvolver novos códigos e normas mais apropriados que permitirão a utilização segura deste vetor.

Antes mesmo do desenvolvimento e implementação de uma regulação específica para o hidrogênio de baixo carbono, a utilização do gás pode ser correlacionada e inserida dentro do escopo de outras leis existentes (por exemplo, aquelas aplicáveis ao gás natural). Mesmo assim, embora o hidrogênio seja utilizado na indústria há décadas, seu uso como combustível para veículos ou geração de energia estacionária em ambientes convencionais é relativamente novo e precisa ser

revisado. Por isso, os códigos e padrões de hidrogênio e células a combustível estão em vários estágios de desenvolvimento.

Juntamente com o uso das leis já existentes, os reguladores estão elaborando um arcabouço regulatório abrangente, específico para uma economia de energia limpa, que regerá a produção, armazenamento, transporte, distribuição e infraestrutura associada de hidrogênio verde e de baixo carbono. O setor privado, líderes do setor industrial e outros especialistas estão trabalhando alinhados aos órgãos governamentais e às diversas organizações no desenvolvimento de códigos e padrões que garantam o uso de tecnologias de baixo carbono, atreladas a sistemas de hidrogênio e células a combustível, de forma segura e com qualidade.

Os próximos regulamentos devem também estabelecer regras relativas ao uso, compra e venda desse tipo de hidrogênio. A certificação do hidrogênio, quanto às emissões associadas, é uma prioridade para países que pretendem comercializar o H₂, trazendo transparência aos compradores e melhor acesso a informações, facilitando o comércio de H₂ limpo e permitindo uma comparação precisa.

Entende-se, portanto, que há urgência em estabelecer normas comuns a nível nacional e dar-lhes respaldo jurídico através de regulamentos nacionais.

2.1. O caso europeu

De forma geral, as políticas que se tornaram a base de apoio do mercado de hidrogênio foram: a European Climate Law (Regulation (EU) 2018/199), 2030 Climate and Energy Framework EUCO 169/14, EU Hydrogen Strategy, FitFor55 package, Renewable Energy Directive, Hydrogen, Decarbonised Gas Market package, REPowerEU Plan, o European Green Deal e Hydrogen Accelerator. A Lei Europeia em matéria de Clima constitui um dos elementos do Pacto Ecológico Europeu, que determina a meta a ser alcançada para um impacto neutro no clima até 2050. Em dezembro de 2020, uma nova meta de redução líquida das emissões de gases com efeito de estufa da UE foi incluída, de pelo menos 55 % até 2030, em comparação com os valores de 1990.

Adicionalmente na Tabela 1 podemos destacar algumas iniciativas regulatórias importantes.

Tabela 1 – Regulamentos e leis relacionadas ao mercado de hidrogênio de baixo carbono na UE

Revisão	Criação
Esquema de Comércio de Emissões (ETS)	Regulamento sobre Mecanismo de Ajuste de Fronteiras de Carbono (CBAM)
Regulamento de Partilha de Esforços	Regulamento (UE) 2023/1805 para Combustível Marítimo
Regulamento LULUCF	Regulamento (UE) 2023/2405 de Aviação (ReFuel)
Diretiva de Energias Renováveis	Regulamento para criação do Fundo Climático Social
Diretiva de Eficiência Energética	Regulamento sobre redução de emissões de metano no setor de energia
Regulamento sobre Infraestrutura de Combustíveis Alternativos (substituindo AFID)	
Regulamento para redução das emissões de CO ₂ de automóveis de passageiros e veículos comerciais novos	
Regulamento que estabelece os padrões de emissão de CO ₂ para carros e vans	
Diretiva de Tributação da Energia	
Diretiva e Regulamento do mercado de gás	
Revisão da legislação “Trans-European transport network”	

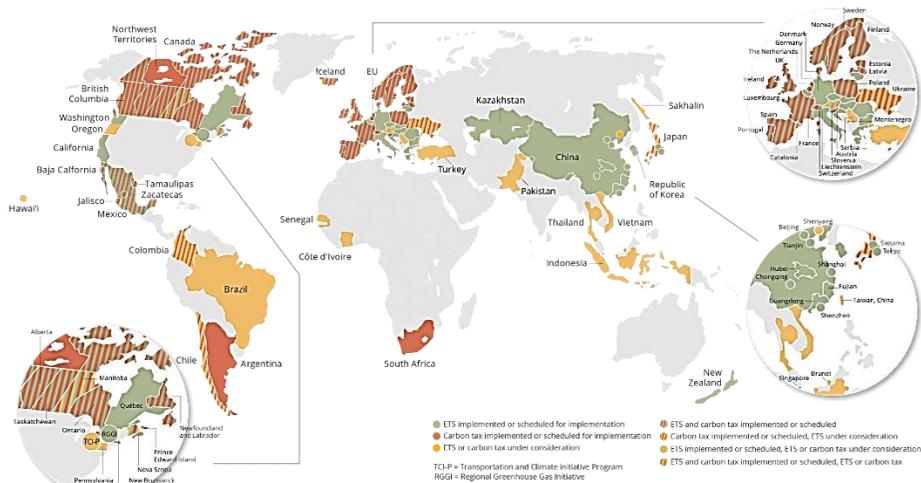
Fonte: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>

A Diretiva 2003/87/EC, que trata do sistema de comércio de emissões da UE (EU ETS), é a principal política da UE para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. Aplica-se a todos os países da UE, mais Islândia, Liechtenstein e Noruega e abrange instalações de uso intensivo de energia (centrais elétricas e plantas industriais) e companhias aéreas que operam entre esses países. O sistema abrange os seguintes setores: (i) geração de energia e calor; (ii) setores da indústria de uso intensivo de energia, incluindo refinarias de petróleo, siderurgia e produção de ferro, alumínio, metais, cimento, cal, vidro, cerâmica, celulose, papel, papelão, ácidos e produtos químicos orgânicos e (iii) aviação comercial. Um limite é definido na quantidade total de CO₂ que pode ser

emitida pelas instalações cobertas pelo sistema. Dentro do limite, as empresas recebem ou compram licenças de emissão que podem negociar umas com as outras conforme necessário.

Esse esquema, em muitos países, é apoiado pelo mecanismo de precificação de carbono, baseado em um imposto a partir da ultrapassagem de emissões permitidas, como punição ao poluidor. O imposto sobre carbono é um complemento importante do sistema de limite e comércio de créditos de carbono no mercado regulado. O governo estabelece um preço que os emissores devem pagar por cada tonelada de gases de efeito estufa que emitem com o objetivo de incentivar as empresas, os consumidores e outros intervenientes a reduzir as suas emissões para evitar o pagamento do imposto. A Figura 4 mostra os países com suas políticas de ETS e carbon tax.

Figura 4 – Políticas de ETS e carbon tax em diferentes países no mundo



Fonte: Wang, 2022

As políticas fiscais de carbono são divididas em dois tipos: imposto sobre emissões e imposto sobre mercadorias. Na política fiscal sobre bens cria-se uma intensidade de emissão em cada indústria. As entidades que produzem bens com maior intensidade de carbono podem

cumprir a sua obrigação ou pagar um imposto sobre emissões superiores às determinadas pelo governo que irá adquirir o bem.

O Mecanismo de Ajuste de Fronteiras de Carbono (CBAM) faz parte das propostas do pacote Fit for 55, apresentado em 14 de julho de 2021 pela Comissão Europeia. O objetivo é estabelecer um mecanismo compatível com a OMC que equalize o preço do carbono entre produtos domésticos e importações em setores selecionados, evitando os riscos de fuga de carbono na UE.

O vazamento ou a fuga de carbono refere-se ao risco de empresas transferirem a produção para outros países onde não existam ou os limites para as emissões de GEEs sejam menores do que na UE. O risco de fuga de carbono pode ser maior em certas indústrias de uso intensivo de energia. A cobrança de uma taxa de importação (border adjustment tax) para os setores mais intensivos em carbono deve começar a partir de 2026 envolvendo os seguintes setores: ferro e aço, alumínio, cimento, eletricidade e fertilizantes (Dias, 2023).

O Green Deal é um conjunto de atos legislativos e não legislativos que estabelecem uma estrutura para a União Europeia alcançar os objetivos do Acordo de Paris de 2015 e alcançar a “neutralidade climática” líquida até 2050. Dentro dele, a Estratégia de Integração do Sistema Energético (Energy System Integration Strategy) propõe integrar todo o sistema de energia, baseando-se em 3 princípios: Economia circular e eficiência energética; eletrificação de setores de uso final; e o uso complementar de combustíveis renováveis e de baixo carbono (onde o hidrogênio é amplamente promovido).

É definida como 'o planejamento e operação coordenados do sistema de energia 'como um todo', através de múltiplos transportadores de energia, infraestruturas e setores de consumo'.

A Estratégia Europeia considera o hidrogênio como 'essencial para apoiar o compromisso da UE de alcançar a neutralidade de carbono até 2050 e para o esforço global para implementar o Acordo de Paris enquanto trabalha para zero poluição'. Também o coloca o hidrogênio

como “uma prioridade fundamental para alcançar o Pacto Ecológico Europeu e a transição para energias limpas da Europa”.

No âmbito do Green Deal e do pacote Fit for 55, em 2021, a Comissão divulgou também propostas que as propostas visam preparar a transição do setor do gás para os gases hipocarbônicos e renováveis, em especial o biometano e o hidrogênio. O pacote foi revisto, juntamente com uma proposta revisão para a Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios e uma proposta sobre a redução das emissões de metano no setor de energia da UE.

Nas revisões da Diretiva do Gás e do Regulamento do Gás, que estabelecem as regras comuns para o mercado interno do gás natural, foi orientada uma mistura até um máximo de 2 % em volume (em vez de 5 %) de hidrogênio no sistema de gás natural para assegurar uma abordagem harmonizada da qualidade do gás. Foi criada uma nova rede europeia dos operadores das redes de hidrogênio (REORH) para promover uma infraestrutura dedicada, a coordenação transfronteiriça e a construção de uma rede de interligação, além de desenvolver regras técnicas específicas. O EHB, European Hydrogen Backbone é um grupo de trinta e três operadores de infraestruturas energéticas, que se reuniu para acelerar esse processo e trazer resultados à luz do Mercado de Gás.

A CE também pretende que a política industrial contribua para o desenvolvimento e a integração de soluções hipocarbônicas através de políticas de redução de emissões e instrumentos financeiros a nível da UE e nacional, bem como através do setor privado. Aqueles que se movimentarem primeiro e mais rápido terão a maior vantagem competitiva. A mais recente Estratégia Industrial Europeia enfatiza as duas prioridades verdes e digitais e o reforço da soberania da Europa.

A Estratégia Industrial 2021 foi apresentada e publicada com a intenção de reafirmar os valores e princípios delineados na estratégia 2020, tirando lições da crise pandêmica, e visando reforçar a 'autonomia estratégica aberta da UE'. Em termos gerais, a autonomia estratégica é a redução das dependências externas em domínios "estratégicos", como foi o caso do gás Russo.

As novas Diretrizes sobre auxílios estatais para o clima, proteção ambiental e energia entraram em vigor em 2022. Elas funcionam em conjunto com os outros dois documentos sobre medidas de auxílio relacionados a projetos de hidrogênio, adicionando um novo nível complementar aplicável a projetos europeus integrados e de grande porte, projetos transfronteiriços de hidrogênio em toda a cadeia de valor.

O Regulamento Geral de Isenção por Categoria (RGIC) define as condições de compatibilidade para concessão de auxílios através do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia (TFUE). As medidas de auxílio são consideradas compatíveis com as regras relativas aos auxílios estatais, sem a necessidade dos Estados-Membros seguirem o procedimento específico, visando “Acelerar o acesso ao financiamento” do Plano Industrial do Pacto Ecológico, concedendo aos Estados-Membros maior flexibilidade na conceção e na aplicação de medidas de apoio em setores fundamentais para a transição.

A Comunicação sobre Projetos de Interesse Comum (IPCEI) também foi revista no âmbito da revisão geral da política de concorrência pela Comissão Europeia. A revisão publicada em 2021 serve para dar suporte financeiro proveniente do meio público ao abrigo das regras em matéria de auxílios estatais. Os Estados-Membros podem usar IPCEIs para reunir recursos financeiros, agir rapidamente e conectar os atores certos ao longo das principais cadeias de valor.

A Comissão Europeia publicou também sua Estratégia de Renováveis Offshore em 19 de novembro de 2020, com o objetivo de:

- Atingir 300 GW de capacidade instalada eólica offshore até 2050 e 40 GW para energias oceânicas;
- Estimativas de investimentos de cerca de € 800 bilhões (2/3 para infraestrutura de rede, 1/3 para geração);
- Impulsionar a cooperação transfronteiriça por meio de projetos híbridos
- Planos para criar uma zona de licitação offshore para projetos híbridos

- Principais esquemas de financiamento para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura e produção de energia.

Alguns mecanismos de financiamento dão suporte às políticas citadas

- InvestEU (garantias) –financiamento privado para apoiar investimentos que contribuem para a cumprir as metas do REPowerEU
- Mecanismo de Recuperação e Resiliência (RRF) (doações e empréstimos)
- Mecanismo Interligar a Europa (CEF) (subvenções e garantias) – criação de infraestruturas e geração transfronteiriça de energias renováveis
- Mecanismo de Financiamento de Energias Renováveis
- Europe Horizon, Fundos de Inovação e Modernização.
- Sustainable Finance

Através do Sustainable Finance, a Comissão Europeia direcionou os fluxos financeiros para investimentos verdes, compatíveis com o objetivo de alcançar a neutralidade climática e evitar ativos ociosos, através do aumento dos fundos disponíveis para investimento sustentável, usando a taxonomia (revisada).

A estratégia para financiar a transição para uma economia sustentável propõe seis categorias podendo abranger quatro áreas: financiamento de transição energética, inclusão e contribuição para resiliência do sistema financeiro e alcance da ambição climática.

O Regulamento Delegado (UE) 2021/2139 da Comissão completa o Regulamento (UE) 2020/852:

- Critérios técnicos de avaliação para: determinar em que condições uma atividade econômica é qualificada como contribuindo substancialmente para a mitigação das alterações climáticas ou para a adaptação às alterações climáticas; estabelecer se essa atividade econômica não prejudica

significativamente o cumprimento de nenhum dos outros objetivos ambientais

- Uso da taxonomia EU como ferramenta para os investidores entenderem se um investimento é considerado ambientalmente sustentável ou não. Estabelece uma linguagem comum para investidores, emissores e formuladores de políticas.

Com isso, em 2021 foi publicado o Regulamento Delegado (UE) 2021/2178 que complementa o Regulamento (UE) 2020/852, especificando o teor e a apresentação das informações a serem divulgadas pelas empresas do Art. 19 (grandes empresas que sejam entidades de interesse público) ou Art. 29 (grandes grupos) da Diretiva 2013/34/EU, relativas às atividades econômicas sustentáveis do ponto de vista ambiental, bem como a metodologia para dar cumprimento à obrigação.

A regra mais importante que afeta o hidrogênio na taxonomia da UE é a exigência de que, para que as atividades relativas à produção de hidrogênio estejam alinhadas com os objetivos de mitigação das mudanças climáticas, a pegada de carbono do hidrogênio produzido não pode exceder 3 toneladas de CO₂ por tonelada de hidrogênio (numa base de cálculo de Análise de Ciclo de Vida).

É possível ler mais sobre o tema em: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

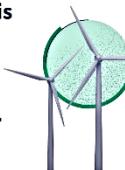
Por último, a **Diretiva de Energias Renováveis (RED)** sofreu reformulação da Diretiva de Energias Renováveis 2018/2001/UE. Em 2018, a RED impôs aos Estados-Membros a obrigação de garantir que a **quota de energia proveniente de fontes renováveis (FER)** no consumo final bruto de energia até 2030, de pelo menos 32%.

A utilização de energia de fontes renováveis (RED II) atualmente tem trabalhado com novas regras, após um longo período de negociações entre os Estados-Membros. O acordo político provisório destinou-se a aumentar a quota de energias renováveis no consumo global de energia para 42,5 % até 2030, com um complemento de 2,5 % que permitirá atingir os 45 %.

Figura 5 – Revisão da RED II

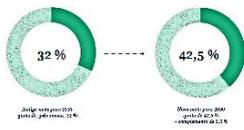
A revisão da Diretiva Energias Renováveis em síntese

A atual diretiva revisa as energias renováveis tem de ser atualizado para **alargar as metas energéticas da UE** com o compromisso de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em, pelo menos, 55 % até 2030. As novas metas surgem devido a quatro fatores: energias renováveis na matriz energética da UE.



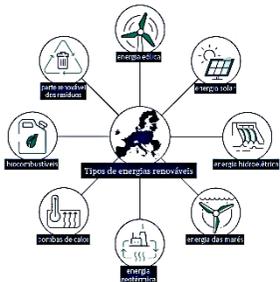
O que mudará com a nova diretiva?

Um dos metas da UE mais ambiciosas para 2030



Porquê impulsionar as energias renováveis?

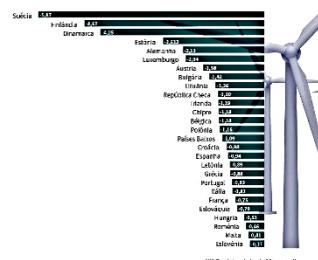
As energias renováveis **reduzem as emissões de carbono** da que as convencionais. Isso é da produção a partir de recursos naturais abundantes e não poluentes.



Aumentar a quota de energias renováveis utilizadas na UE é essencial para:

- reduzir as emissões de gases com efeito de estufa de **sete em dez** até 2050, reduzindo-as para 25% do total das emissões da UE
- reduzir **sete a dez** das importações de combustíveis fósseis, em especial, provenientes da Rússia

Quantidade de emissões evitadas graças às energias renováveis (2021)



A Diretiva necessitará ainda ser transposta para os ordenamentos jurídicos de cada Estado-Membro até 21 de maio de 2025. As alterações seguem: o reforço das metas de descarbonização para 2030, a previsão de zonas de aceleração da implantação de energias renováveis, o reequipamento e armazenamento co-localizado, a integração de hidrogênio renovável em setores de uso final, especificamente indústria e transporte.

A REDII é o suporte para o mecanismo de certificação do hidrogênio que deve seguir os preceitos do RNFBO. A Figura 3 mostra um infográfico da revisão da RED.

3. Normas internacionais

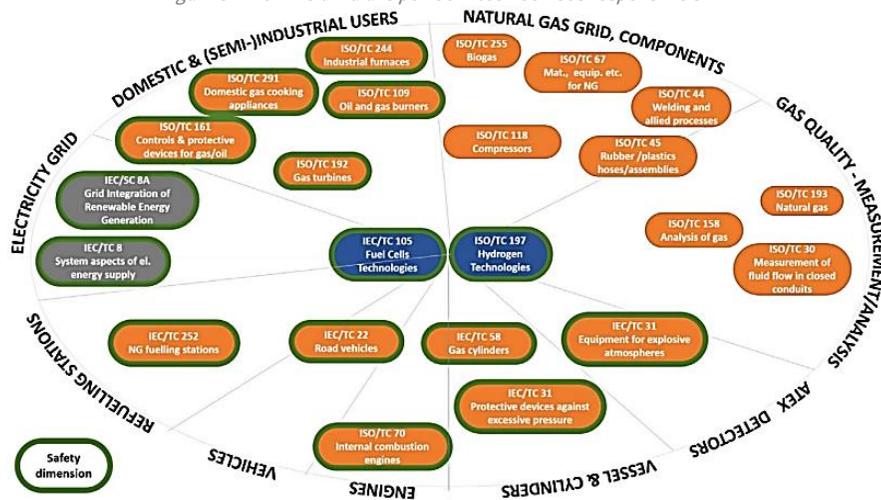
Quase todos os regulamentos relevantes na legislação europeia que são aplicáveis ao hidrogênio e células a combustível estão harmonizados às normas internacionais (ISO, IEC) ou europeias (EN). Deve-se considerar que:

- Novas normas são essencialmente desenvolvidas apenas no âmbito das ISO, IEC ou CEN -CENELEC.
- Em 2017, aproximadamente 75% das novas normas relevantes para a Europa estavam harmonizadas com as internacionais e apenas 20% são normas europeias.
- O único país onde existem normas com relevância jurídica imediata e que são de aplicação obrigatória é a China - normas GB
- Na maioria dos outros países ou regiões a norma pode adquirir relevância legal quando referenciada na legislação (UE - quando referenciada em um regulamento ou diretiva)
- Os organismos nacionais de normalização dos países da UE e da EFTA são responsáveis pelo desenvolvimento do consenso europeu.
- A representação de pequenas e médias empresas é reforçada pela organização sem fins lucrativos, Small Business Standards (SBS)

O Sistema Europeu de Normalização assegura, através do Regulamento (UE) n.º 1025/2012, o uso e a participação direta em normas dos Comitês Técnicos (TC) do CEN, CENELEC, ETSI e ISSO. As normas podem ser observadas a partir da cadeia de valor do hidrogênio, desde a produção

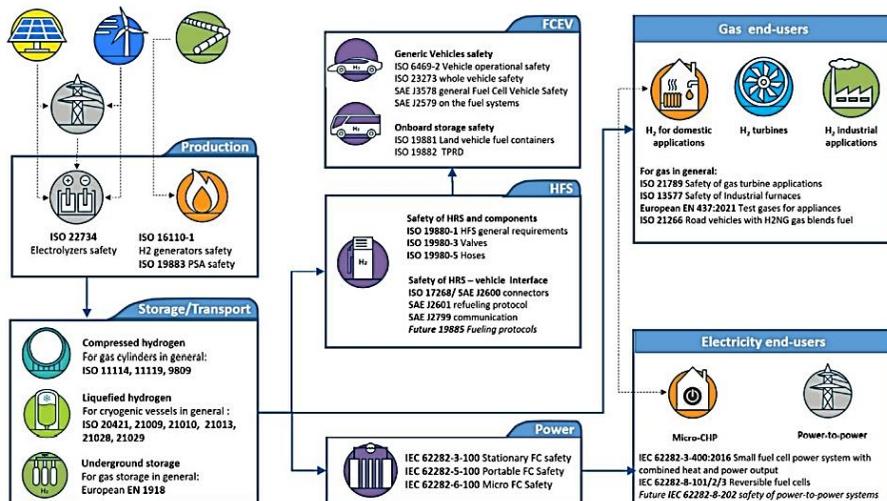
até o uso final, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5. Muitas delas foram construídas para garantir segurança nas instalações e operações.

Figura 6 – Normas divididas por Comitês Técnicos responsáveis



Fonte: Moretto, 2022

Figura 7 – Normas na Cadeias de valor e relacionadas a segurança do hidrogênio



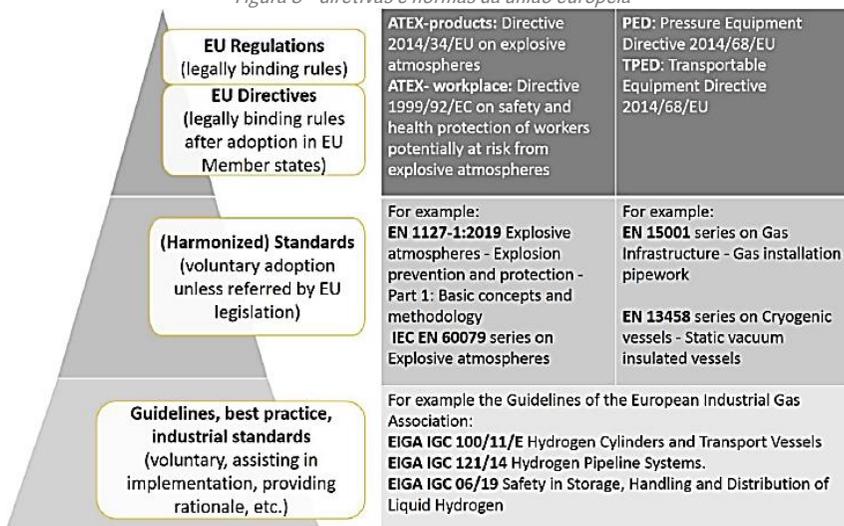
Fonte: Moretto, 2022.

4. Arcabouço Regulatório

4.1. Europa

O pacote de regulamentos, diretivas e normas da união europeia seguem uma que estão muito ligados ao que vem sendo já trazido através das diretivas.

Figura 8 - diretivas e normas da união europeia



Fonte: Notas de Aulas, 2023.

Para simplificar e harmonizar o processo regulatório, alguns governos adotaram a prática de redigir documentos legais com base em padrões amplamente harmonizados já existentes.

Pontos de destaque:

- Introdução de um sistema de certificação harmonizado para as tecnologias e combustíveis de baixo carbono;
- Revisão da *Alternative Fuel Infrastructures* (AFID) e revisão das normas (ISO/TS 20100, ISO 14687-2, ISO 17268) e diretivas relacionadas: *Clean Vehicle Directive* (CVD); *Renewable Energy Directive* (RED II); *CO2 emission standards for light-duty vehicles* (LDVs); e *Heavy-duty vehicles* (HDVs).

- Apoio às estações de abastecimento de hidrogênio (HRSs): 60 Km para estações elétricas e 100 km para estações de abastecimento a H₂
- Acordo Europeu relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR)
- Revisão das regulações *Trans-European Networks for Energy* (TEN-E), *Trans-European Transport Network* (TEN-T)
- Revisão do escopo da *Ten-Year Network Development Plan* (TYNDP) e da legislação interna do mercado de gás para garantir uma coordenação no planejamento da infraestrutura;
- Regulamentos sobre veículos a FC: GTR nº 13 para veículos movidos a hidrogênio; UN ECE R134 - homologação de veículos FC de hidrogênio na Europa, acordo de 1958

Regulamentos para veículos a células a combustível/mobilidade:

- Regulamento CE 79/2009 sobre homologação de veículos a motor movidos a hidrogênio
- Regulamento da UE 406/2010 que implementa o Regulamento EC 79/2009 - contém os requisitos para componentes e sistemas de hidrogênio projetados para uso de hidrogênio líquido e comprimido e componentes de instalação em veículos movidos a hidrogênio;
- UNECE GTR13 e da UN R134

Normas europeias harmonizadas do grupo EN 60079, dedicado à atmosferas explosivas, medidas de segurança e equipamentos de proteção relacionados, incluindo detecção. Exemplos:

- IEC 60079-0:2015 Atmosferas explosivas—Parte 0: Equipamento—Requisitos gerais é o
- IEC 60079-10-1:2015 Atmosferas explosivas—Parte 10 1: Classificação de áreas—Atmosferas de gases explosivos é dedicada à classificação de áreas de atmosferas explosivas
- ISO 17840-3:2019 Veículos rodoviários - Informações para primeiros e segundos socorristas - Parte 3: Emergência

Existem regulamentos específicos da União Europeia para sistemas de gás e transporte, que são os principais focos de atuação. A criação de

infraestrutura é um ponto importante dentro desse arcabouço, com destaque para o apoio às estações de abastecimento de combustíveis elétricos e de hidrogênio, que devem estar distribuídas por distâncias determinadas, conforme a AFIR.

Além disso, existem regulamentações para as redes de gás que devem estar interligadas dentro da rede e para o transporte, incluindo os chamados Corredores Verdes que estão sendo mapeados.

Por fim, destacamos a **Diretiva de Energias Renováveis II, que através do Art 27 afirma que a rede elétrica pode fornecer eletricidade renovável para eletrolisadores, desde que e, como tal, haja garantia que o hidrogênio produzido esteja usando eletricidade renovável para ser considerado RFNBO.**

4 critérios para ser considerado 100% RFNBO:

- “Origem renovável”: A eletricidade comprada deve ser gerada a partir de fontes de energia renováveis.
- “Correlação geográfica”: A unidade de geração de energia (via PPA) deve ser geograficamente correlacionada com a produção de combustível, na mesma zona de licitação;
- “Correlação/Janela temporal”: A produção da usina e a eletricidade consumida pelo eletrolisador precisa corresponder ao mesmo período de tempo (de 15 minutos para uma base anual);
- “Adicionalidade”: O produtor do combustível precisa garantir que a eletricidade usada pelo eletrolisador seja renovável e que não desvie a produção atual de eletricidade renovável de outros usos.

4.2. Estados Unidos

Cada país e região têm suas próprias diretrizes e regulamentações, as quais desempenham um papel crucial na promoção de tecnologias sustentáveis. Após discutirmos a situação na União Europeia, é relevante abordar a realidade nos Estados Unidos. Enquanto a regulamentação da União Europeia oferece uma riqueza de informações, não podemos desconsiderar a importância das

regulamentações nos Estados Unidos, que também incluem várias normas pertinentes ao contexto do Hidrogênio Verde. Todavia, é importante ressaltar que o país já vem desenvolvendo esse mercado doméstico, sem necessariamente enfatizar um esquema de certificação com foco no mercado global.

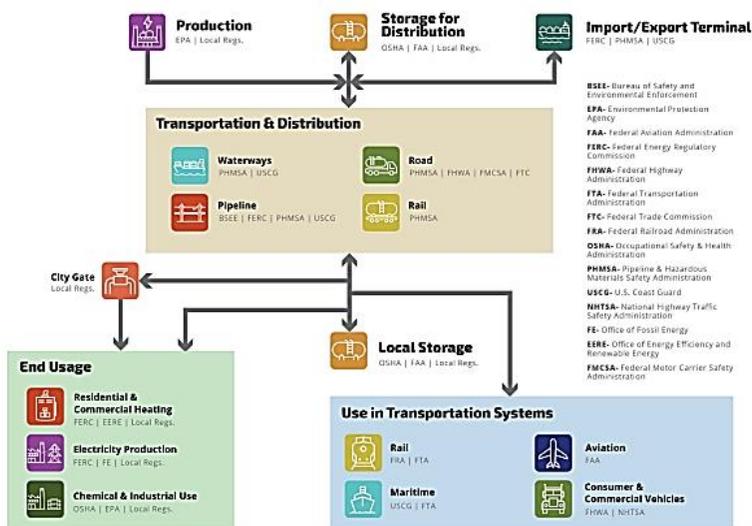
As regulamentações e normas específicas de cada local devem assegurar a conformidade e eficácia das tecnologias relacionadas à cadeia de valor do hidrogênio. Sendo assim, os EUA têm desenvolvido há algum tempo regulamentos, códigos e padrões específicos para o uso do hidrogênio como combustível limpo.

Por isso, os regulamentos referem-se principalmente ao uso de veículos e transporte de materiais perigosos e são gerenciados pelo Departamento de Transportes. Além disso, a NHTSA (Administração Nacional de Segurança Rodoviária) participa de atividades de harmonização internacional no âmbito do Fórum Mundial das Nações Unidas para Harmonização das Regulamentações de Veículos (WP.29), para adoção – Regulamento Técnico Global 13 da UNECE. Os Regulamentos Técnicos Globais (GTRs), do qual fazem parte 30 contratantes, são orientados por três princípios de governança: dados e com base científica; baseado no desempenho; transparência.

O Laboratório da Sandia tem revisado uma série de normas, já antes dispostas e utilizadas no uso de hidrogênio nos Estados Unidos. A normatização é realizada por diferentes órgãos relacionados ao setor de uso final ou à National Fire Protection Association (NFPA), uma organização americana que tem o objetivo de estabelecer normas e padrões para prevenção contra incêndios.

Na cadeia de valor do hidrogênio nos Estados Unidos, existem regulamentos e órgãos reguladores que se aplicam em cada etapa. Para facilitar a compreensão, foi criada uma tabela que resume os regulamentos e órgãos reguladores aplicáveis.

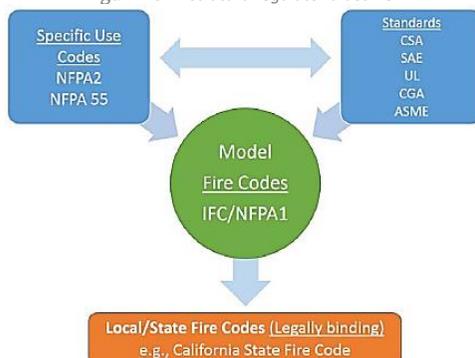
Figura 9 - Mapa regulatório dos Estados Unidos



Fonte: BAIRD, 2021

Um aspecto destacado é que, ao contrário do Brasil, nos Estados Unidos, os códigos consistem em um conjunto de padrões que respaldam o arcabouço regulatório, não se limitando apenas às leis. Esses códigos abrangem diversas áreas, incluindo medidas de segurança contra incêndios, e são estabelecidos de acordo com diretrizes determinadas por entidades privadas, como a NFPA (Associação Nacional de Proteção contra Incêndio).

Figura 10 - Estrutura regulatória dos EUA



Fonte: BAIRD, 2021

Por outro lado, em função da oferta está muito próximo da demanda, os regimes regulamentares associados ao hidrogênio nos Estados Unidos são, muitas vezes limitados no seu âmbito ou abordados apenas indiretamente. Muitos regulamentos, como pode ser visto no documento do Sandia, referem-se ao uso de gases inflamáveis de forma geral.

Podemos perceber na figura a seguir uma visão da estrutura de regulamentação e padronização ao longo da cadeia de valor do hidrogênio nos Estados Unidos, ilustrando as conexões entre diferentes órgãos e entidades reguladoras. A figura apresentada é datada de 2021 e pode servir como uma ferramenta útil para compreender as normas que devem ser observadas na produção e utilização do Hidrogênio Verde nos Estados Unidos.

Figura 11 - Tabela elaborada pelo Laboratório Nacional Sandia do DOE

System	Oversight	Reference	Summary	H ₂ Ready?
Production	EPA	40 CFR Part 98	Defines source categories and emissions thresholds for a hydrogen production facility	Yes - production of gaseous hydrogen is specifically regulated through reporting thresholds
Storage	OSHA	29 CFR Part 1910	Dictates the safety of the structural components and operations of gaseous and liquid hydrogen storage and delivery	Yes - specifies requirements for and quantities for gaseous hydrogen storage
	FAA	14 CFR Part 420	Dictates the separation distance requirements for storage of liquid hydrogen and any incompatible energetic liquids	Yes - provides criteria for liquid hydrogen storage separation distances
Transportation by Pipeline	BSEE	43 USC Part 29	Manage compliance programs governing oil, gas, and mineral operations on the OCS	No - requirements for facilities and operations specifically for development and production of oil and gas
	FERC	18 CFR Part 153	Regulation of the siting, routing, and overall construction of the pipeline system, as well as the distribution and interstate and intrastate sale of natural gas	No - authorizes construction, operation, and modification for import and export facilities for natural gas only
		18 CFR Part 284	Filing requirements of the siting, construction, and operation of facilities used for the import or export of natural gas	
	PHMSA	49 CFR Part 192	Prescribes minimum safety requirements for pipeline facilities and the transportation of gas, including pipeline facilities and the transportation of gas within the limits of the outer continental shelf	Yes - sets requirements for natural gas transported via pipeline but other flammable gases are included in scope and definition
		49 CFR Part 193	Prescribes safety standards used for LNG facilities that are used to transport gas via pipeline	
		49 CFR Part 195	Prescribes safety standards for pipeline facilities that transport hazardous liquids	
	USCG	33 CFR Part 154	Regulations for facilities transferring hazardous materials back and forth from a vessel to a facility	Yes - sets requirements for transferring bulk hazardous materials in a vessel

Fonte: BAIRD, 2021

Nessa tabela, são utilizadas cores para identificar a relação entre a regulação já adotada e aquela que pode ser aplicada ao hidrogênio. Regulamentos diretamente ligados ao hidrogênio são identificados como "verde". Regulamentos que abrangem gases ou líquidos inflamáveis ou perigosos, mais geral, são identificados como "verde-oliva". Já os regulamentos específicos para algum outro material (como o gás natural) que precisam ser revisados para incluir hidrogênio, são identificados como "rosa". É importante ressaltar que a tabela pode ser acessada no site do governo americano para aqueles que desejam se aprofundar no tema.

No que diz respeito ao transporte de hidrogênio na rede de gás, é importante destacar que algumas regulamentações ainda não estão totalmente adaptadas para essa finalidade, especialmente aquelas relacionadas à importação e exportação. Muitas delas estão direcionadas para a rede de gás natural e precisam ser analisadas com mais cuidado para verificar se também se aplicam ao hidrogênio.

Por exemplo, para o transporte de gás natural liquefeito, existem regulamentações que incluem o hidrogênio, enquanto outras não. É necessário avaliar cada caso com atenção para garantir a segurança e a conformidade com as normas.

Enfatizamos a crucial importância das normas e regulamentações relacionadas ao transporte de veículos movidos a hidrogênio, como os veículos utilizados em estradas. Existem regulamentos específicos que definem os requisitos de uma estrutura física segura desses veículos, tanto para o transporte em vias férreas como para o transporte em estradas, bem como normas relacionadas a materiais perigosos ou inflamáveis que também se aplicam ao hidrogênio.

Entretanto, é essencial notar que ainda há áreas que requerem especificações adicionais, como as normas relacionadas ao transporte em túneis e pontes. A criação dessas normas é fundamental para assegurar a segurança e eficiência no transporte de hidrogênio em todas as fases da cadeia de valor.

A produção de hidrogênio nos Estados Unidos é dividida em categorias, e existem normas estabelecidas para cada uma delas. Apesar de não haver um sistema especificamente de certificação, os Estados Unidos têm definições de normas para produção que também se baseiam nas emissões de CO₂.

Podemos observar que há diversas normas e regulações específicas para o transporte e distribuição de hidrogênio em rotas marítimas. São determinados métodos de transporte, normas para materiais de cilindros, inspeções e testes de segurança que devem ser aplicados. É importante destacar que essas normas se aplicam tanto ao transporte de hidrogênio liquefeito quanto ao comprimido. Toda essa regulamentação é fundamental para garantir a segurança na cadeia de valor do Hidrogênio Verde.

Também foram abordadas normas para o uso do hidrogênio na área residencial, especificamente para aquecimento e produção de energia elétrica. A regulação para o uso de hidrogênio na área residencial ainda não está totalmente estabelecida em nenhum país.

No entanto, no Japão, há um programa governamental de apoio às células reformadoras de pequeno porte, onde o governo oferece subsídios para quem quer consumir. Este sistema consiste em dois módulos: um para a reforma do gás natural e sua conversão em hidrogênio e outro para direcionar o hidrogênio gerado para uma célula a combustível, que produz eletricidade.

No Brasil, existe um projeto de reforma em pequena escala para fornecimento de hidrogênio aprovado na UFPB, no entanto, ainda enfrenta diversos desafios relacionados à eficiência e ao gerenciamento de resíduos. No Reino Unido, há o projeto HyDeploy, no qual as residências são alimentadas com uma mistura com hidrogênio, após teste de desempenho de seus aparelhos a gás, embora o país ainda careça de uma regulamentação completa. Atualmente, o uso de hidrogênio permanece predominantemente restrito ao setor industrial.

Lembrem-se que foi mencionado que nos Estados Unidos há 3.000 km de dutos para transporte de hidrogênio, mas que é destinado ao uso industrial no setor químico.

A infraestrutura atual está sob a autoridade da Administração de Segurança de Oleodutos e Materiais Perigosos (PHMSA), que opera dentro do Departamento de Transportes (DOT). Desde 1970, a PHMSA regulamenta gasodutos de hidrogênio através do CFR 49 Parte 192. A premissa do órgão é definir “requisitos mínimos de segurança para instalações de gasodutos e transporte de gás”.

Além disso, já existem algumas normas nos Estados Unidos para o uso do hidrogênio na geração de energia auxiliar. Essas normas abrangem inclusive o uso em navios, alguns outros modais de transporte, motos e veículos de passeio.

Figura 12 - Tabela com partes relacionadas ao uso do hidrogênio em transportes

System	Oversight	Reference	Summary	H ₂ Ready?
Use in Rail	FRA	49 CFR Part 229	Locomotive safety design and crashworthiness requirements	Yes - includes requirements for alternative designs which would likely be part of alternative fueled locomotives
		49 CFR Part 238	Safety requirements for passenger locomotives	
	FTA	49 CFR Part 659	Provides guidance for rail fixed guideway systems and the oversight of safety, including hazard management and safety and security plans and review	Yes - general requirements for safety and security assessments, not fuel-specific
		49 CFR Part 674	Mandates state safety oversight of fixed guideway public transportation systems	
Use in Maritime	USCG	46 CFR Parts 24-196	Regulation of vessel construction for both passenger and cargo applications as well as general fuel requirements based on the flash point of the fuel	Yes – these requirements include specific requirements for vessels based on the fuel properties the vessel uses
	FTA	49 USC Chapter 53	Requirements for National Public Transportation Safety Plan for public transportation that receives federal funding	Yes – alternative fuels are noted, but hydrogen is not specifically mentioned
Use in Aviation	FAA	14 CFR Part 23	Provides requirements and airworthiness standards for normal category airplanes	Yes - there are requirements to analyze flammable gases, but hydrogen is not specifically listed
		14 CFR Part 25	Provides requirements and airworthiness standards for transport category airplanes	
		14 CFR Part 26	Provides requirements and airworthiness standards for transport category airplanes	
		14 CFR Part 27	Provides requirements and airworthiness standards for normal category rotorcraft	
		14 CFR Part 29	Provides requirements and airworthiness standards for transport category rotorcraft	
		14 CFR Part 33	Provides requirements and airworthiness standards for aircraft engines	

Fonte: BAIRD, 2021

As partes destacadas em verde-oliva representam as que idealmente deveriam passar por uma revisão, enquanto as destacadas em rosa representam as que idealmente deveriam ser criadas novamente.

É importante lembrar que, tanto para o uso marítimo quanto para o uso na aviação, a Europa propôs novas diretrizes, uma vez que não existem regulamentações específicas para o hidrogênio.

4.2.1 Produção nos EUA

No momento, nos Estados Unidos, a certificação e regulamentação mais atual está relacionada a um contexto voltado ao financiamento e auxílio governamental para produtores de hidrogênio limpo. Os EUA possuem um programa para estabelecer hubs de produção de Hidrogênio Verde. A Lei de Redução da Inflação (IRA) introduziu o Crédito Fiscal de Produção de Hidrogênio 45V, que concede até US\$ 3/ kg de hidrogênio produzido para projetos com intensidade de emissões de gases de efeito estufa inferior a 0,45 quilograma por quilograma de hidrogênio (kg CO₂e/kg H₂). Mesmo assim, é importante destacar que a regulamentação do processo de produção já determinava o atendimento de requisitos com relação as emissões de GEE de acordo com a parte 98 do título 40.

O código para calcular e relatar as emissões anuais de CO₂ de cada unidade de processo de produção de hidrogênio estipula que a quantidade de CO₂ emitida durante o processo de produção deve ser quantificada por meio de cálculos ou pelo monitoramento contínuo das emissões. Adicionalmente, é possível aplicar uma abordagem de equilíbrio de massa para calcular o teor de hidrogênio produzido.

Baseado na Lei do Ar Limpo

§ 98.160 Definição da categoria da fonte.

- (a) Consiste em instalações que produzem gás hidrogênio vendido como produto a outras entidades.
- (b) Compreende unidades de processo que produzem hidrogênio por reforma, gaseificação, oxidação, reação ou outras transformações de matérias-primas.
- (c) Inclui instalações comerciais de produção de hidrogênio localizadas em outra instalação se não forem de propriedade ou sob controle direto do proprietário e operador da outra instalação.

§ 98.162 Sobre GEEs:

Você deve informar:

- (a) Emissões de CO₂ de cada unidade de processo de produção de hidrogênio.
- (b) [Reservado]
- (c) Emissões de CO₂, CH₄ e N₂O de cada unidade de combustão estacionária, exceto unidades de processo de produção de hidrogênio. Deve-se calcular e relatar as emissões de acordo com a subparte C (Fontes de Combustão de Combustíveis Estacionárias Gerais) seguindo os requisitos.
- (d) Para CO₂ capturado e transferido para fora do local, deve-se seguir os requisitos da subparte PP.

§ 98.163 Cálculo das emissões de GEE.

Calcular e relatar as emissões anuais de CO₂ de cada unidade de processo de produção de hidrogênio usando os procedimentos específicos:

(a) Sistemas de Monitoramento Contínuo de Emissões (CEMS). Calcular e relatar sob esta subparte as emissões de CO₂, operando e mantendo o CEMS de acordo com a Metodologia de Cálculo especificada no § 98.33(a)(4) e todos os requisitos associados na subparte C (Fontes de Combustão Estacionárias).

(b) Abordagem de equilíbrio de combustível e matéria-prima. Calcular e relatar as emissões de CO₂ como a soma das emissões anuais associadas a cada combustível e matéria-prima usados para a produção de hidrogênio seguindo os parágrafos (b)(1) a (3). O teor de carbono e o peso molecular devem ser obtidos a partir das análises realizadas de acordo com § 98.164(b)(2), (b)(3) ou (b)(4), conforme aplicável, ou dos procedimentos de dados ausentes em § 98.165. Caso as análises sejam realizadas anualmente, o valor anual deve ser utilizado como média mensal. Se as análises forem realizadas com mais frequência do que mensalmente, utilizar como média mensal a média aritmética dos valores obtidos durante o mês.

A norma determina três tipos de cálculos para combustíveis diferentes, sendo um deles para produção de combustível gasoso a partir da quantidade de matéria-prima utilizada. O site com uma série de equações fornece todos os códigos e regulações federal: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-C/part-98/subpart-P#>

- **Combustível gasoso e matéria-prima.** Deve-se calcular as emissões anuais de CO₂ do combustível gasoso e matéria-prima de acordo com a Equação:

$$CO_2 = \left(\sum_{n=1}^k \frac{44}{12} * Fdstk_n * CC_n * \frac{MW}{MVC} \right) * 0.001 \quad (\text{Eq. P-1})$$

Onde:

CO₂ = Emissões anuais de CO₂ do processo decorrentes do consumo de combustível e matéria-prima (toneladas/ano).

$Fdstk_n$ = Volume ou massa do combustível gasoso ou matéria-prima utilizada no mês (em condições padrão de 68 °F e pressão atmosférica, ou kg de combustível ou matéria-prima).

CC_n = teor médio de carbono do combustível gasoso ou matéria-prima para o mês n (kg de carbono por kg de combustível ou matéria-prima).

MW_n = Peso molecular médio do combustível gasoso ou matéria-prima para o mês n (kg/kg-mol). Se você medir massa, o termo " MW_n/MVC " é substituído por "1".

MVC = Fator de conversão de volume molar (849,5 scf por kg-mol em condições padrão).

k = Meses do ano.

$44/12$ = Razão de pesos moleculares, CO_2 para carbono. 0,001 = Fator de conversão de kg para toneladas métricas.

- **Combustível líquido e matéria-prima.** Você deve calcular as emissões anuais de CO_2 de cada combustível líquido e matéria-prima de acordo com a Equação

$$CO_2 = \left(\sum_{n=1}^k \frac{44}{12} * Fdstk_n * CC_n \right) * 0.001 \quad (\text{Eq. P-2})$$

Onde:

CO_2 = Emissões anuais de CO_2 decorrentes do consumo de combustível e matéria-prima (toneladas/ano).

$Fdstk_n$ = Volume ou massa do combustível líquido ou matéria-prima utilizada no mês n (galões ou kg de combustível ou matéria-prima).

CC_n = teor médio de carbono do combustível líquido ou matéria-prima, para o mês n (kg de carbono por galão ou kg de combustível ou matéria-prima).

k = Meses do ano.

$44/12$ = Razão de pesos moleculares, CO_2 para carbono.

0,001 = Fator de conversão de kg para toneladas métricas.

- **Combustível sólido e matéria-prima.** Deve-se calcular as emissões anuais de CO_2 de cada combustível sólido e matéria-prima de acordo com a Equação

$$CO_2 = \left(\sum_{n=1}^k \frac{44}{12} * Fdstk_n * CC_n \right) * 0.001 \quad (\text{Eq. P-2})$$

Onde:

CO_2 = Emissões anuais de CO_2 do consumo de combustível e matéria-prima (toneladas/ano).

$Fdstk_n$ = Massa de combustível sólido ou matéria-prima utilizada no mês n (kg de combustível ou matéria-prima).

CC_n = teor médio de carbono do combustível sólido ou matéria-prima, para o mês n (kg de carbono por kg de combustível ou matéria-prima).

k = Meses do ano.

$44/12$ = Razão de pesos moleculares, CO_2 para carbono.

0,001 = Fator de conversão de kg para toneladas métricas.

É relevante observar que, se as emissões forem liberadas através da mesma chaminé, a metodologia de cálculo não é aplicável. Além disso, diferentes abordagens são adotadas para combustíveis gasosos, líquidos e sólidos.

No caso de combustíveis gasosos e líquidos, a metodologia é relativamente mais simples, envolvendo a utilização da quantidade de matéria-prima e a concentração média de carbono para calcular as emissões por unidade de produção. Entretanto, quando se trata de combustíveis sólidos, é necessário possuir informações sobre a fórmula molecular e a massa molar para estabelecer uma relação com a quantidade de massa produzida.

Por fim, é crucial ressaltar que, se as emissões estiverem sendo capturadas, esse processo precisa ser levado em consideração no cálculo das emissões, sendo fundamental comprovar que o sistema de captura está funcionando de maneira adequada.

Os Estados Unidos propõem um método para calcular as emissões de gases de efeito estufa, o qual pode ser realizado por meio do monitoramento da qualidade do ar, desde que os equipamentos estejam devidamente calibrados. No caso de combustíveis líquidos, as medições devem ser efetuadas nos tanques e calibradas em relação ao peso. Além disso, o país implementou um programa de garantia e controle de qualidade, conhecido como QA e QC, para supervisionar a qualidade e a precisão dos resultados obtidos.

§ 98.164 Requisitos de monitoramento e QA/QC.

Os dados de emissões de GEE para unidades de processo de produção de hidrogênio devem ter qualidade garantida para cada unidade de processo:

(a) Se um CEMS for usado para medir as emissões de GEE, a instalação deve cumprir os procedimentos de monitoramento e QA/QC especificados no § 98.34.

(b) Se um CEMS não for usado para medir as emissões de GEE:

(1) Calibrar todos os medidores de vazão de óleo e gás usados para medir volumes de combustível líquido e gasoso e de matéria-prima (exceto medidores de faturamento de gás) de acordo com os requisitos de monitoramento e QA/QC (§ 98.34(b)). Realizar medições de queda do tanque de óleo (se usado para quantificar o consumo de combustível líquido ou matéria-prima). Calibrar todos os equipamentos de pesagem de sólidos de acordo com os procedimentos do § 98.3(i).

A fim de determinar o teor de carbono e o peso molecular de combustíveis e matérias-primas, é necessário realizar análises de forma regular, com uma frequência não inferior a semanal para combustíveis

gasosos e matérias-primas, e pelo menos mensalmente para combustíveis líquidos e sólidos, bem como matérias-primas.

É viável empregar métodos de análise cromatográfica, desde que o cromatógrafo seja operado, mantido e calibrado de acordo com as instruções do fabricante, e que os métodos estejam devidamente documentados no plano de monitoramento estabelecido para a unidade. É crucial destacar que essa determinação do teor de carbono é um requisito indispensável da própria regulamentação, ou seja, constitui um elemento essencial para a regulamentação em si.

Existem diversos métodos aprovados de acordo com as normas ASTM, que são amplamente utilizadas em laboratórios para controle de qualidade e devem ser rigorosamente seguidas. Embora nossa situação não se enquadre nesse contexto, é fundamental aplicar essas diretrizes, especialmente quando se trata da determinação de gases, principalmente na produção de biogás. Nesse contexto, são adotadas a metodologia editadas conforme as diretrizes estabelecidas pela ASTM.

- ASTM D1945-03 Método de Teste Padrão para Análise de Gás Natural por Cromatografia Gasosa (incorporado por referência, ver § 98.7).
- ASTM D1946-90 (Reaprovado em 2006), Prática Padrão para Análise de Gás Reformado por Cromatografia Gasosa (incorporado por referência, ver § 98.7).
- ASTM D2013-07 Prática Padrão de Preparação de Amostras de Carvão para Análise (incorporada por referência, consulte § 98.7).
- ASTM D2234/D2234M-07 Prática Padrão para Coleta de Amostra Bruta de Carvão (incorporado por referência, ver § 98.7).
- ASTM D2597-94 (Reaprovado em 2004) Método de Teste Padrão para Análise de Misturas Líquidas de Hidrocarboneto Desmetanizado Contendo Nitrogênio e Dióxido de Carbono por Cromatografia Gasosa (incorporado por referência, veja § 98.7).
- ASTM D3176-89 (Reaprovado em 2002), Prática Padrão para Análise Final de Carvão e Coque (incorporado por referência, ver § 98.7).
- ASTM D3238-95 (Reaprovado em 2005), Método de Teste Padrão para Cálculo de Distribuição de Carbono e Análise de Grupo Estrutural de Óleos de Petróleo pelo Método ndM (incorporado por referência, ver § 98.7).
- ASTM D4057-06 Prática Padrão para Amostragem Manual de Petróleo e Produtos Petrolíferos (ver § 98.7).
- ASTM D4177-95 (Reaprovado em 2005) Prática Padrão para Amostragem Automática de Petróleo e Produtos Petrolíferos (ver § 98.7).
- ASTM D5291-02 (Reaprovado em 2007), Métodos de Teste Padrão para Determinação Instrumental de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio em Produtos Petrolíferos e Lubrificantes (consulte § 98.7).

ASTM D5373-08 Métodos de Teste Padrão para Determinação Instrumental de Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio em Amostras Laboratoriais de Carvão (ver § 98.7).

ASTM D6609-08 Guia Padrão para Amostragem Part- Fluxo de Carvão (veja § 98.7).

ASTM D6883-04 Prática Padrão para Amostragem Manual de Carvão Estacionário de Vagões, Barcaças, Caminhões ou Estoques (veja § 98.7).

ASTM D7430-08 Prática Padrão para Amostragem Mecânica de Carvão (veja § 98.7).

ASTM UOP539-97 Análise de Gás de Refinaria por Cromatografia Gasosa (ver § 98.7).

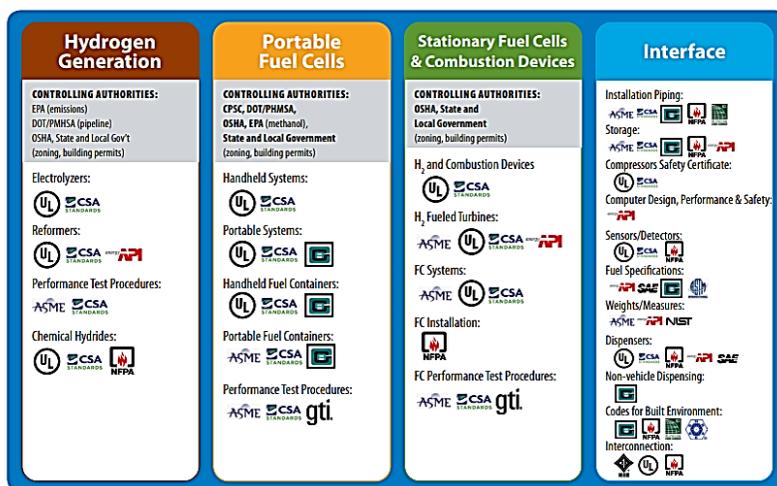
GPA 2261-00 Análise para Gás Natural e Misturas Gasosas Semelhantes por Cromatografia Gasosa (ver § 98.7).

ISO 3170: Líquidos de Petróleo - Amostragem Manual - Terceira Edição (ver § 98.7).

ISO 3171: Líquidos de Petróleo - Amostragem Automática de Oleodutos - Segunda Edição (ver § 98.7).

No processo de produção de hidrogênio, é imprescindível atender a critérios específicos para assegurar a qualidade do ar. Se optarmos por seguir a metodologia de cálculo proposta pelos Estados Unidos, é necessário fornecer informações essenciais, como o número de identificação, a quantidade anual de hidrogênio produzido e, quando aplicável, a quantidade de amônia produzida. Caso não utilizemos o método CEMS, devemos disponibilizar outros dados e registros que estejam em conformidade com as medições estabelecidas pela norma ASTM.

Figura 13 - Instituições normalizadoras na cadeia de valor - EUA.



Fonte: <https://hydrogen-portal.com/safety-codes-standards/>

É fundamental destacar que a Lei do Ar Limpo nos Estados Unidos é uma medida voltada para garantir a qualidade do ar, e embora não tenha como foco primordial a certificação para importação e exportação de hidrogênio, a quantificação de CO₂ produzido durante a produção de hidrogênio desempenha um papel crucial no cálculo de emissões.

Figura 14 - Nome das Instituições normalizadoras nos EUA.

Organization Name		Standards Development Areas
	AGA American Gas Association	Materials testing standards
	API American Petroleum Institute	Equipment standards for petroleum production, storage and handling
	ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers	Promoting sustainability through research, standards writing, publishing, and education
	ASME American Society of Mechanical Engineers	Mechanical and multidisciplinary engineering, design codes and standards
	ASTM American Society for Testing and Materials	Technical test standards for materials, products, systems
	CGA Compressed Gas Association	Equipment design and performance standards for compressed gas systems and components
	CSA CSA Standards	US and Canadian equipment standards
	DOT Department of Transportation	Federal transportation regulatory agency
	FERC Federal Energy Regulatory Commission	Regulates interstate transmission of electricity, gas, and oil
	GTI Gas Technology Institute	Supplies technical support and training for the energy industry
	ICC International Code Council	Family of model building codes, including the International Fire Code
	IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers	Electrical standards
	NERC North American Electric Reliability Corporation	Produces standards for electric grid operation
	NFPA National Fire Protection Association	Model codes and standards, including the National Electric Code
	NIST National Institute of Standards and Technology	Measurement standards
	SAE Society of Automotive Engineers	Vehicle standards
	NARUC National Association of Regulatory Utility Commissioners	Represents state public service commissions
	UL Underwriters Laboratory	Equipment and performance testing standards

Fonte: NREL: <https://hydrogen-portal.com/safety-codes-standards/>

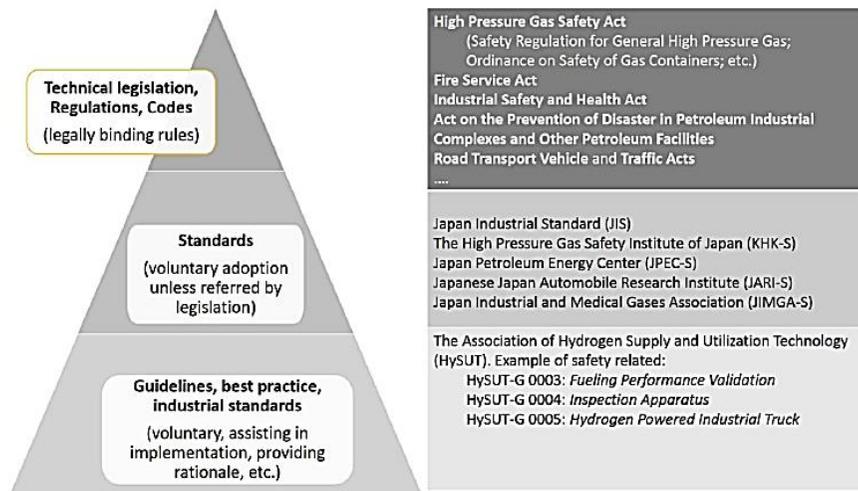
4.3. Japão

No Japão, a utilização de hidrogênio é permitida em função do alto nível de desenvolvimento tecnológico do país. Diferente dos Estados Unidos, não há muitas regulações obrigatórias ou incentivos para a produção e uso de Hidrogênio Verde.

No entanto, existem normas voluntárias que as empresas podem seguir para garantir a qualidade e segurança na produção e utilização do gás. É importante ressaltar que o Japão tem investido fortemente em tecnologias de hidrogênio, devido principalmente a sua falta de recursos energéticos limpos, além do interesse em tornar-se líder em tecnologias para esse mercado emergente.

O país ocupa a posição de principal importador global de gás natural liquefeito e está incluído entre os quatro maiores importadores de carvão, petróleo e outros combustíveis, bem como seus derivados.

Figura 15 – Legislação do Japão



Fonte: Notas de Aulas

A legislação relacionada ao hidrogênio é da competência do Ministério da Economia, Comércio e Indústria e da METI, Agency for Natural Resources and Energy. Além disso, desde 1980 o Japão conta com a ajuda da Organização de Desenvolvimento de Nova Energia e Tecnologia Industrial (NEDO) que atua como um acelerador de inovação para contribuir com o desenvolvimento tecnológico mais sustentável.

Embora não haja leis específicas para produção de hidrogênio, existem leis com olhar para segurança, determinando requisitos que permitem seu uso, como a Lei de Segurança de Gás e Serviço de Incêndio e a Lei de Veículos Rodoviários. Elas são aplicadas tanto para pequenos quanto para grandes portes. Em 2022, o governo instituiu um Grupo de Estudo para uma Estratégia de Segurança do Hidrogênio.

O uso de hidrogênio liquefeito é regulamentado pela Lei de Segurança de Gás de Alta Pressão, adotada de forma urgente após um projeto de P&D com a Austrália para transportar hidrogênio liquefeito no ano

passado. No entanto, essa lei não é ideal porque criogênico não significa necessariamente que ele atingiu alta pressão antes de se tornar liquefeito, o que é diferente do gás liquefeito.

No Japão, existem dois comitês que determinam as normas: o Comitê Japonês de Padrões Industriais e a Associação Japonesa de Padrões (JIS). Um destaque da regulação japonesa é a dedicação em modificar as normas para novos equipamentos, como motocicletas a hidrogênio e especificamente o transporte marítimo de LH2, motivado por um projeto do país para o transporte de hidrogênio liquefeito entre a Austrália e o Japão.

Em 2020, um consórcio japonês conquistou a primeira certificação para um navio-tanque de LH2, visando facilitar o comércio global de hidrogênio. No entanto, é importante observar que o hidrogênio não está atualmente incluído na lista de produtos regulados pelo código IGC da IMO.

Órgãos relevantes para o arcabouço regulatório do país:

Comitê Japonês de Padrões Industriais (JISC) coordena o processo de padronização. O JISC é um órgão vinculado ao METI e é responsável pelo levantamento e deliberação sobre padrões industriais

Associação Japonesa de Padrões (JSA) é a organização de desenvolvimento de padrões industriais japoneses. A JSA publica os padrões JIS e promove a padronização e o sistema de gerenciamento no Japão;

A série JIS C 88xx é dedicada a células a combustível do tipo PEM e a JIS C 8831 para Testes de Avaliação de Segurança para Células Poliméricas Estacionárias.

Para obter a certificação de transporte de LH2, foram estabelecidos requisitos específicos de acordo com um processo alternativo descrito pelo código IGC. Isso foi possível graças a um acordo tripartite envolvendo administrações e autoridades portuárias. Essa iniciativa desempenha um papel crucial ao viabilizar o transporte seguro e eficiente de LH2 em todo o mundo, contribuindo para o desenvolvimento da indústria de Hidrogênio Verde.

As motocicletas movidas a célula a combustível com hidrogênio começaram a ser regulamentadas no ano de 2017 e foram incluídas no novo Regulamento da ONU R146 em 2019. Isso aconteceu porque os

regulamentos GTR13 e UN R134 são limitados apenas para veículos de quatro rodas.

As motocicletas têm um peso mais leve, um corpo menor e um sistema de armazenamento de hidrogênio menor, o que exige uma abordagem diferente para o projeto de segurança e adaptação dos testes de aprovação. O novo regulamento inclui características específicas, como a direção de liberação fixa para baixo do dispositivo de liberação de pressão (PRD), disposições específicas para a proteção do tanque de bordo e testes de colisão alternativos com outros valores de aceleração, para garantir a segurança desses veículos.

O Japão adota uma abordagem mais flexível em relação à regulamentação do hidrogênio motivado pelo seu alto grau de dependência energética. Isso leva o país a preferir critérios menos restritivos no que diz respeito à entrada de hidrogênio, visto que ele pode representar uma alternativa crucial para o setor energético japonês.

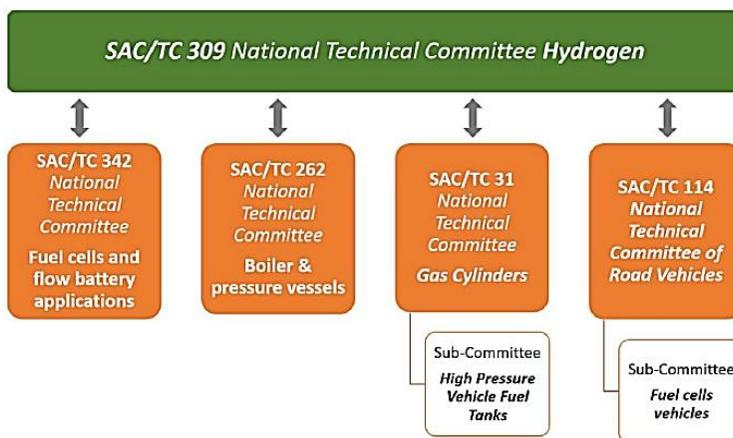
4.4. China

A China implementou um sistema rigoroso e normas obrigatórias para a regulamentação do uso de hidrogênio, supervisionado pelo Comitê Técnico Nacional de Hidrogênio, que por sua vez possui quatro comitês menores dedicados a setores específicos.

Esses setores englobam células a combustível, cilindros de gás, recipientes tipo boiler e recipientes de alta pressão, além de veículos equipados com células a combustível que circulam em estradas. A principal responsabilidade desses comitês é estabelecer e atualizar as normas técnicas relacionadas a cada um desses setores.

Vale ressaltar que o sistema de governança na China não opera de forma hierárquica, e as normas estabelecidas são de caráter obrigatório, tendo como principal objetivo assegurar a segurança e a qualidade dos produtos relacionados ao hidrogênio.

Figura 16 - Estrutura organizacional inicial dos comitês chineses

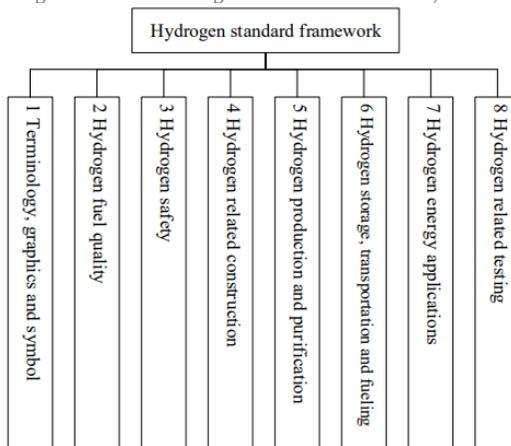


Fonte: Moretto, 2022

O Comitê Técnico Nacional trata do tema hidrogênio como relevante e diretamente relacionado com a segurança. O Comitê SAC/TC 309 trata sobre produção, armazenamento, transporte e abastecimento de hidrogênio, aplicações, testes e segurança.

Mais atualmente, o SAC/TC 309 dividiu-se em comitês em 8 temáticas conforme Figura abaixo.

Figura 17 - Estrutura organizacional atual do SAC/TC 309



Fonte: Yang, 2019

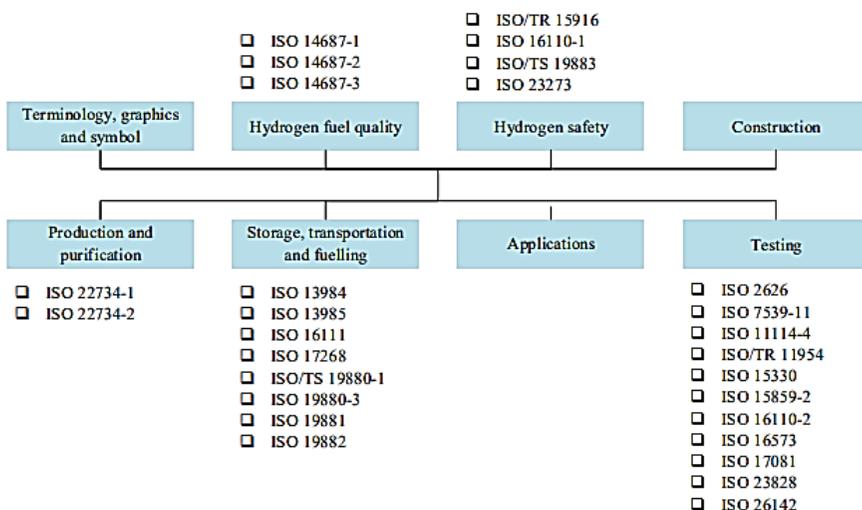
No entanto, até o ano de 2020, a China ainda não havia estabelecido um processo de padronização sólido para os Sistemas de Abastecimento de Hidrogênio (HFS). Uma característica importante é que a pressão máxima permitida para o transporte rodoviário de hidrogênio gasoso foi limitada a 20 MPa.

Além disso, a China adotou parcialmente o Regulamento UN R134 de 2015, com a exclusão de tanques de hidrogênio comprimido do tipo 4 e recipientes não metálicos para armazenamento de hidrogênio com pressão de ruptura (NWP) de 70 MPa. Um foco estratégico significativo foi direcionado para a aplicação do hidrogênio como fonte de energia no transporte público.

Outro gargalo é a classificação do hidrogênio como muito perigoso, o que dificulta a permissão de produção de hidrogênio in loco junto às estações de abastecimento.

Atualmente, a estrutura normativa está baseada nas normas internacionais, conforme Figura abaixo.

Figura 18 - Estrutura normativa da China



Fonte: Yang, 2019

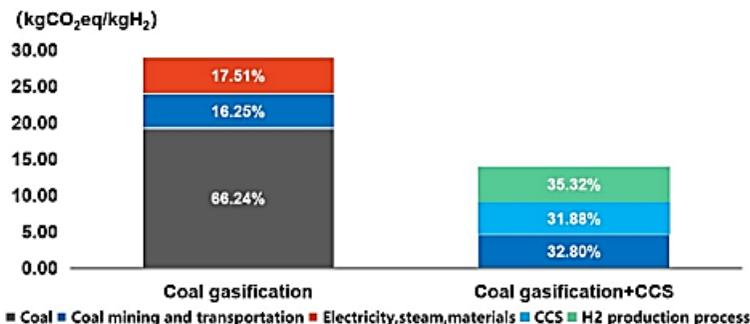
No entanto, é importante notar que o quadro de normalização chinês não está completamente alinhado com os padrões internacionais. Os padrões estabelecidos pela SAC tendem a abranger faixas operacionais mais restritas do que aquelas aceitas em outros países, o que pode dificultar a implantação completa da tecnologia.

Além disso, é crucial mencionar que, na China, o hidrogênio é classificado como um Produto Químico Perigoso, o que pode criar desafios adicionais e burocracia na obtenção de autorizações para a produção de hidrogênio no local (in loco).

A China emitiu também um documento do 'Padrão e Avaliação de Hidrogênio de Baixo Carbono, Limpo e Renovável' em dezembro de 2020.

As emissões de GEE da produção de hidrogênio da gaseificação do carvão e da produção da gaseificação do carvão com CCS são 29,02 kgCO₂e/kgH₂ e 13,99 kgCO₂e/kgH₂, respectivamente. Para o H2V o limite de emissões de GEE é inferior a 4,90 kgCO₂e/kgH₂

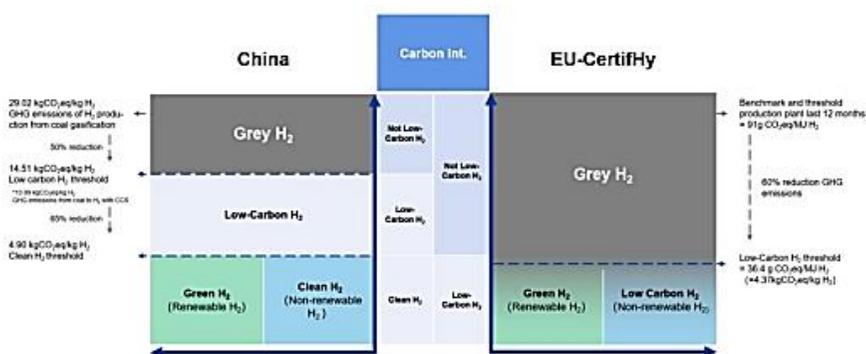
Figura 19 - Emissões estabelecidas em processos produção de hidrogênio chineses



Fonte: Liu, 2021

Quando comparado ao modelo proposto pelo Certifhy, no qual leva-se em conta as diretrizes da REDII, o modelo chinês é bastante flexível no que diz respeito a definição de baixo carbono.

Figura 20 - Emissões estabelecidas em processos produção de hidrogênio chineses comparadas ao CertifHy



Fonte: Liu, 2021

Apesar de considerar e se basear em normas internacionais, o sistema de normas na China difere do sistema europeu e alemão uma vez que muitas vezes se baseiam em normas nacionais (GB) juridicamente vinculativas – além de normas nacionais recomendadas (GB/T) e especificações técnicas (GB/Z).

O Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação (MIIT) chinês é responsável pela padronização na indústria automotiva. O Comitê Técnico Nacional de Normalização Automóvel (NTCAS), que também é o nome do órgão de padronização SAC/TC114, trabalha sob a liderança do MIIT. A sua tarefa é estabelecer e desenvolver normas aplicáveis aos NEV, incluindo FCEV, bem como às peças e componentes relevantes. Além destas, existem também normas adequadas à indústria ou de grupos adotadas regional ou localmente que não são válidas a nível nacional.

Por fim, o método de cálculo das emissões de carbono na China, a qualidade do hidrogênio e o limite do sistema são consistentes, mas os principais processos locais de produção de hidrogênio e as metas de neutralidade de carbono são totalmente alinhados à realidade chinesa, acelerando ainda mais o ritmo de unificação dos indicadores globais de hidrogênio limpo e de baixo carbono.

4.5. Alemanha

A Alemanha é um dos países que mais investe em tecnologias de Hidrogênio Verde na Europa. Para regulamentar a área, a União Europeia criou um quadro que direciona as normas e regras para os países membros, incluindo a Alemanha.

No entanto, além de contar com todo arcabouço regulatório estabelecido no âmbito da União Europeia, a Alemanha tem um objetivo específico de criar regulamentos para facilitar o comércio e melhorar a infraestrutura na área de veículos elétricos movidos a hidrogênio. Essa é uma iniciativa importante para estimular o uso de tecnologias mais limpas e reduzir a dependência de combustíveis fósseis no país.

De forma geral, a União Europeia tem estabelecido um quadro de regulamentos e padrões simples que se propõem a ser práticos e fáceis de implementar.

Figura 21 - Quadro de regulamentos e padrões europeus



Fonte: Wurster, 2021

No contexto da Alemanha, há um objetivo específico em relação à infraestrutura de veículos elétricos. Nesse sentido, a diretiva e regulamento AFID e AFIR estão voltadas para veículos elétricos e a Alemanha faz parte do grupo da ONU que trata da homologação de veículos a hidrogênio.

Figura 22 - A integração topológica da legislação alemã no quadro regulamentar europeu



Fonte: Wurster, 2021

Como a Alemanha trabalha em conjunto com as diretivas da União Europeia AFID, ATEX, PED e TPED, suas normas estão alinhadas com as normas de qualidade de hidrogênio e veículos elétricos.

5. Esquemas de Certificação

A harmonização global é um elemento-chave no contexto da certificação de sistemas relacionados ao hidrogênio verde. Os sistemas de certificação são projetados para refletir e estar em conformidade com os quadros legislativos dos mercados nacionais, criando assim um ambiente regulatório global coeso e padronizado.

A certificação desempenha um papel crucial ao demonstrar a conformidade de produtos e processos com os requisitos estabelecidos nos regulamentos. Ela não apenas garante a qualidade e a segurança, mas também desempenha um papel importante ao facilitar a obtenção de assistências estatais, como subsídios e isenções de impostos ou taxas, que muitas vezes são oferecidas para apoiar o desenvolvimento de tecnologias e projetos relacionados ao hidrogênio verde.

Além disso, a certificação desempenha um papel fundamental na contabilização dos volumes de hidrogênio produzidos, armazenados e transportados. Isso é essencial para atender às metas nacionais relacionadas à energia renovável, uma vez que o hidrogênio verde é uma das principais fontes de energia limpa e renovável que pode contribuir para a descarbonização e a transição para um futuro mais sustentável.

Harmonizar globalmente é importante uma vez que:

- Os sistemas de certificação espelham o quadro legislativo dos mercados nacionais
- A certificação é uma ferramenta essencial para demonstrar a conformidade com o quadro regulamentar;
- Auxilia na concessão de assistências estatais na forma de subsídios, isenções de impostos/taxas;
- Serve para contabilizar os volumes de hidrogênio para as metas nacionais de energia renovável.

É preciso também refletir:

- Atualmente, há uma variedade de certificações no mundo;
- Isso significa menos flexibilidade para os produtores abordarem diferentes mercados internacionais e mercados menos uniformes, levando a ineficiências e possivelmente a um aumento de mercado mais lento
- Requisitos harmonizados permitem um sistema de certificação global
- O que seria necessário para harmonizar os requisitos?
- Qual o “denominador comum” que permite ao produtor abordar diferentes mercados?

Se o produtor quiser se beneficiar, por exemplo, da cota de gases de efeito estufa (gera certificados de CO₂) a certificação precisa estar atrelada a um mecanismo de crédito de carbono.

- Os requisitos de sustentabilidade mais harmonizados são o uso de insumos de eletricidade renovável, o balanceamento de massa como modelo de rastreamento, a elegibilidade de todas as fontes de carbono, desde que não sejam produzidas deliberadamente para a produção de combustível.
- Atualmente, um esquema de certificação global harmonizado parece fora de alcance, porque para alguns regulamentos/normas isso significaria desistir dos requisitos mais ambiciosos, como os critérios de eletricidade renovável de acordo com o RED II Art.27.
- Pode-se propor um conceito de planta que atenda a todos os onze regulamentos/normas de hidrogênio: conexão direta com

a usina de eletricidade renovável, redução de 70% de GEE em relação ao valor de referência e carbono do DAC.

- A cadeia de valor deve ser rastreada via balanceamento de massa e acv como previsto no Art. 28 da RED II

Considerando que os países com abundância de recursos pretendem produzir o hidrogênio e comercializar em mercado internacional, a certificação a nível nacional deve demonstrar conformidade com outros esquemas para contabilizar os volumes de hidrogênio renovável necessários para alcançar as metas globais. Além disso, a nível nacional essa estimativa pode auxiliar a prever as quantidades de ER que devem ser inseridas na matriz energética dos países ou até mesmo prever subsídios. Sendo assim, como pensar algo com foco nacional?

Os volumes de hidrogênio que serão exportados do Brasil para EU devem demonstrar conformidade com a certificação e estrutura regulatória da EU. Atualmente existe um modelo sendo proposto pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, no Brasil.

A instituição alemã DENA realizou um levantamento de todas as certificadoras existentes e avaliou as mais importantes. O documento do Global Harmonisation of Hydrogen Certification, relata que a certificação é crucial para países que buscam desenvolver uma indústria de Hidrogênio Verde.

Entre os países que possuem um modelo de certificação, estão a China, União Europeia, Reino Unido e Estados Unidos, que também possuem um arcabouço regulatório desenvolvido.

Atualmente, há uma variedade de certificações no mundo. Isso significa menos flexibilidade para os produtores abordarem diferentes mercados internacionais e mercados menos uniformes, levando a ineficiências e possivelmente a um aumento de mercado mais lento;

O documento analisa vários modelos regulatórios, incluindo o ISCC e CertifHy da UE, TUV, China, Japão e Austrália.

Há também modelos regulatórios para combustíveis renováveis, como o LCFS nos EUA, o RED 2 da UE e o RTFO do Reino Unido, que obrigam o

produtor a comprovar que o combustível foi produzido por meio de energia renovável. A maioria desses modelos considera o processo do berço da produção até a saída ou uso final do combustível, seja na roda ou no portão da planta.

Figura 23 - Tabela com esquemas de certificação

Sustainability criteria for powerfuels	Schemes							Funding Programme	Regulations		
Regulation/standard	ISCC PLUS	Certify	dena Biogas-register	TÜV Süd CMS 70	China Hydrogen Alliance' s Standard	Certification Scheme	Zero Carbon Certification Scheme	H2 Global	LCFS	RED II	RTFO
Market	EU	EU	DE	DE	CN	JP	AU	DE	USA/CA	EU	UK
Purpose	v	v	r	v	n/a	v	v	r	r	r	r
Renewable electricity	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Tracking models	MB	B&C	MB	MB; B&C	n/a	B&C	MB	MB	B&C	MB	MB

Fonte: Sailer, 2022

A maioria dos métodos citados é orientada pela demanda específica do país. Os demais métodos seguem uma abordagem Well-to-Wheel porque estão centrados em uso do hidrogênio como combustível.

Figura 24 - Métodos de contabilização das emissões de carbono



Fonte: <https://evquotient.com/articles/electric-vehicle-safety>

O conceito de Well-to-Wheel é a contabilização das emissões de carbono desde a produção até a utilização do combustível nos veículos. Isso inclui todo o processo produtivo, transporte e distribuição até a roda do automóvel, levando em conta o consumo de água, uso da terra e impactos sociais. Alguns modelos, como o usado no H2Global e o da Califórnia, consideram também os impactos sociais, enquanto outros não.

Os requisitos de sustentabilidade mais harmonizados são o uso de insumos de eletricidade renovável, balanceamento de massa como modelo de rastreamento e elegibilidade de todas as fontes de carbono, desde que não sejam produzidas deliberadamente para a produção de combustível.

No entanto, um esquema de certificação global harmonizado parece difícil de alcançar, pois alguns regulamentos exigem critérios mais ambiciosos, como a eletricidade renovável de acordo com o RED II Art.27.

Para atender a todos os onze regulamentos/normas de hidrogênio, propõe-se um conceito de planta que atenda aos requisitos de conexão direta com a usina de eletricidade renovável, redução de 70% de GEE em relação ao valor de referência e carbono do DAC. Além disso, a cadeia de valor deve ser rastreada por meio do balanceamento de massa ou ACV.

Aqui estão outros pontos cruciais a serem considerados:

- **Reconhecimento Global de Organismos de Certificação:** É fundamental estabelecer o reconhecimento internacional de organismos de certificação, permitindo que eles conduzam auditorias e avaliações consistentes em todo o mundo.
- **Confiabilidade e Confiança em Padrões e Certificação:** A confiabilidade e a confiança devem ser cultivadas em relação aos padrões de hidrogênio, esquemas de certificação e os próprios organismos de certificação, abrangendo diferentes mercados e setores da indústria.

- **Mecanismos para Evitar Dupla Contagem/Reivindicações:** É necessário implementar mecanismos robustos para prevenir a dupla contagem de certificados ou reivindicações enganosas, garantindo a integridade do sistema de certificação.
- **Comparabilidade e Reconhecimento Global de Certificados:** Os certificados emitidos por diferentes esquemas de certificação devem ser comparáveis e internacionalmente reconhecidos, simplificando a transação de hidrogênio certificado em diversos mercados.
- **Harmonização por Governança de Certificação:** Para promover a consistência e a eficiência, é crucial estabelecer uma governança de certificação que promova a harmonização de padrões e práticas em toda a indústria do hidrogênio.

Além disso, a conexão direta entre fontes de energia renovável e eletrolisadores é fundamental para garantir a origem sustentável do hidrogênio. Isso contribui para uma redução significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE), alcançando até 70% de redução em comparação com fontes fósseis.

A fonte de carbono atmosférico (DAC) também pode ser utilizada, desde que seja fornecida a prova do balanço de massa ao longo de toda a cadeia de valor do hidrogênio. Esses elementos são essenciais para promover a certificação e a adoção do hidrogênio verde como uma fonte de energia sustentável.

Vamos citar alguns modelos e órgãos privados, aceitos na União Europeia.

5.1. TUV

A TUV e a CertifHy são duas organizações de certificação europeias amplamente respeitadas no contexto do hidrogênio.

A TUV, inicialmente, buscou alinhar-se com a taxonomia da União Europeia (UE) quando começou a abordar a certificação de hidrogênio. Na época, ainda não havia um regulamento específico para certificação

de hidrogênio verde a ser importado. A TUV já certificava regularmente veículos elétricos e, posteriormente, células a combustível.

A organização de certificação considera um valor de referência de 3 kg de CO₂ por unidade de hidrogênio produzida. Assim, qualquer instalação que busque sua certificação precisa demonstrar uma capacidade de redução de pelo menos 70% em comparação com a produção de energia a partir de combustíveis fósseis, ou seja, do valor comparativo (94g CO₂ eq/MJ) e diferencia entre duas classificações principais: renovável e de baixo carbono.

No caso específico do hidrogênio, a TUV estabeleceu algumas regras particulares, para estar em conformidade com a modificação na Diretiva de Energias Renováveis RED 2 mais atual. O hidrogênio é classificado de acordo com os critérios estabelecidos em uma subcategoria: Hidrogênio renovável, RFNBO e hidrogênio verde.

Além disso, a TUV promove requisitos adicionais com base na expansão das energias renováveis, a fim de evitar possíveis obstáculos técnicos, temporais e geográficos. É importante destacar a importância da adicionalidade, um critério considerado pela certificadora.

A TÜV SÜD é especialista em Testes, Inspeção e Certificação (TIC) e se tornou membro do consórcio CertifHy™ desde o início em 2014/2015. A organização emite certificados para empresas, sendo a menor unidade certificável equivalente a 1 MWh com base no poder calorífico inferior.

A certificadora não estabelece restrições quanto às tecnologias aplicáveis para a produção de Hidrogênio Verde. Isso significa que vários métodos podem ser utilizados, incluindo eletrólise da água, reforma a vapor, pirólise, gaseificação, eletrólise de soluções aquosas de cloreto de hidrogênio, entre outras, desde que os requisitos básicos da norma sejam atendidos. Tecnologias para a produção de hidrogênio como subproduto também são aplicáveis.

A certificação da TUV para Hidrogênio Verde tem requisitos para diversos usos finais, incluindo mobilidade, produção de aço, hidrogenação de óleos, produção de fertilizantes e armazenamento de energia.

No contexto da produção de gás para fins de aquecimento ou resfriamento, também é requerido que o hidrogênio alcance uma redução de 70% nas emissões de gases de efeito estufa em comparação com um combustível fóssil de referência. Os critérios se aplicam a todo o sistema, desde a planta de produção, incluindo unidades auxiliares, tratamento de água, fornecimento de energia, purificação do hidrogênio, até o ponto de injeção na rede de gás, ou o ponto de transferência na tubulação.

Além disso, é especificado que a pureza do hidrogênio deve ser de pelo menos 99,9% e a pressão mínima deve ser de 3,0 MPa. Esses requisitos são fundamentais para garantir a eficiência e a conformidade ambiental da produção de hidrogênio em comparação com combustíveis fósseis.

A TUV também considera a aplicação de Carbon Capture and Storage (CCS) para emissões de CO₂ remanescentes, desde que comprovada a captura permanente de carbono e monitoramento adequado. Já a Captura e Utilização de Carbono (CCU) e emissões negativas de CO₂ derivadas só podem ser aplicadas se comprovado que o carbono totalmente fóssil é substituído em quantidades equivalentes e a dupla contagem pode ser excluída.

A certificação da TUV tem validade de 1 ano e é necessário renová-la caso haja qualquer modificação no processo.

As bases legais para essa certificação estão definidas nas normas ISO 14040, 14042 e 14047, que abordam a análise de ciclo de vida. É importante destacar que o certificado da TUV SUD Green Hydrogen não especifica os tipos de hidrogênio que estão sendo certificados, mas sim a redução de emissão de gases de efeito estufa alcançada.

DIRETIVA (EU) 2018/2001

Regulamento (EU) 2018/1999 que revoga a Diretiva (EU) 2015/652 e a Diretiva 98/70/EC, que diz respeito à promoção da energia proveniente de fontes renováveis
EN ISO 14067:2018- Gases de efeito estufa - Pegada de carbono dos produtos - Requisitos e orientações para quantificação (ISO 14067:2018);
DIN EN ISO 14040 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e enquadramento
DIN EN ISO 14044 Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações

DIRETIVA 2009/31/EC - relativa ao armazenamento geológico de dióxido de carbono e que altera a Diretiva 85/337/ CEE e as Diretivas 2000/60/CE, 2001/80/ CE, 2004/35/CE, 2006/12/ CE e de 2008/1/ CE e o Regulamento n.º 1013/2006;

5.2. GH2

A GH2 também segue um padrão de certificação baseado na norma europeia. A definição do GH2 baseia-se nas tecnologias que são as principais candidatas à expansão da produção de hidrogénio verde: energia hidroelétrica, eólica, solar, geotérmica, das marés, das ondas e outras fontes de energia oceânicas. A norma refere-se a “energia quase 100% renovável”, havendo espaço para alguma flexibilidade (por exemplo, para sistemas de reserva), desde que o limite máximo de emissões de gases com efeito de estufa não seja excedido.

O GH2 possui certificação própria, baseada em medição das emissões para cada etapa da cadeia de valor, de acordo com a metodologia proposta pela Parceria Internacional para o Hidrogénio e as Células a Combustível na Economia (IPHE).

A metodologia GH2, que aborda emissões do escopo 1 e 2 para medição de emissões de GEE, de forma separada, segue abaixo na figura.



Fonte: <https://gh2.org/our-initiatives/gh2-green-hydrogen-standard>

É importante ressaltar que o GH2 é o sistema mais antigo de certificação para hidrogênio e que está estreitamente alinhado às políticas da União Europeia, especificamente às Diretivas de Energias Renováveis (RED I e II) (UE, 2018).

No contexto de certificação de Hidrogênio Verde, existem requisitos importantes que precisam ser atendidos para garantir a qualidade e a sustentabilidade do produto.

O organismo responsável pela certificação deve ter uma acreditação oficial e estar de acordo com as normas ISO/EIC 17065 e 17029, além de ter um sistema de gestão de competências para o pessoal envolvido no processo de certificação. Os auditores devem ser formados no setor de certificação e ter pelo menos três auditorias de estágio antes de serem nomeados auditores.

O balanço de gases de efeito estufa deve ser avaliado de acordo com as normas ISO 14040 e 14044, bem como os anexos V e VI da REDII, para garantir a sustentabilidade da produção. Os limites do sistema devem incluir todas as fases do ciclo de vida, desde a extração e o processamento de matérias-primas até a produção e entrega do produto final.

Além disso, para a produção de hidrogênio a partir de glicerina ou outras biomassas, é necessário provar a sustentabilidade do balanço de massa. A certificadora também deve ser certificada para certificar outros gases renováveis, como biogás e biometano.

O balanço de gases de efeito estufa para hidrogênio deve atender aos requisitos de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de acordo com a ISO 14040 e ISO 14044, bem como o Anexo V (biocombustíveis, biolíquidos e seus comparadores de combustíveis fósseis) e Anexo VI (combustíveis de biomassa e seus comparadores de combustíveis fósseis) da REDII.

Os requisitos de ACV são considerados cumpridos se o balanço tiver sido realizado de acordo com o GHG Protocol, ISO 14067 ou PAS 2050

O limite do sistema considerado para determinar o impacto dos gases de efeito estufa do hidrogênio produzido deve incluir todas as fases do

ciclo de vida, extração e processamento de matérias-primas até a produção e entrega de um produto comercializável do berço ao portão.

5.3. CertifHy

O Esquema CertifHy (2019) é o sistema de certificação mais antigo da Europa, que teve início pouco após a implementação da RED 1, em 2018, tornando-o um dos primeiros esquemas desse tipo a ser desenvolvido. O sistema de certificação passou por três fases: planejamento e elaboração do esquema, criação de infraestrutura de governança e aplicação de quatro projetos pilotos na Europa para basear-se no projeto prático e, finalmente, implantação em toda a União Europeia a partir de 2020. O CertifHy inclui amplas formas de produção de H2 e abrange diversos setores.

O órgão é privado e trabalha em um modelo específico para o hidrogênio verde, baseado na RED II. Atualmente um consórcio de grande porte com apoio da Comissão Europeia, junto à CertifHy, desenvolvem um projeto para um mecanismo mais uniforme e robusto. Um consórcio constituído por HINICIO, Association of Issuing Bodies (AIB), Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Grexel, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST) e TÜV SÜD foi nomeado pela Fuel Empresa Comum de Células e Hidrogênio (FCH 2 JU) para liderar a fase III do CertifHy, que deve durar 3 anos. Após lições aprendidas, o esquema tem se direcionado e alinhado às políticas da União Europeia, especificamente as Diretivas de Energias Renováveis (RED I e II) (UE, 2018).

O sistema pode ser aplicado a todos os tipos de usos de H2, incluindo energia, mobilidade, conversão química, dentre outros.

O CertifHy possui:

- Uma plataforma das partes interessadas, CertifHy Stakeholder Platform, estabelecida no Contrato FCH 190 da Fuel Cells and H2 Joint Undertaking (FCH JU) - responsável pelas diretrizes do esquema e pela nomeação de organismos de Certificação de Emissão;

- Organismo de Certificação, responsável pela verificação (auditoria) da elegibilidade de instalações de produção e de lotes de produção;
- Órgão Emissor, responsável pela supervisão da emissão, transferência e cancelamento do Certificado GO (CertifHy Guarantee of Origin)
- Emissões de emite GO (CertifHy Guarantee of Origin), um documento eletrônico (GO) que atesta que uma determinada quantidade de H₂ (lote de produção) foi produzida por uma instalação de produção registrada, com qualidade e método de produção específicos atendendo a critérios de classificação CertifHy.
- A utilização de um GO confere ao usuário do H₂ as características do H₂ que deram origem ao GO

Vale salientar que o CertifHy é neutro em relação à tecnologia de produção de Hidrogênio. A produção de H₂ pode ser certificada com GO de H₂ verde ou H₂ de baixo carbono. Os GO são relacionados a quantidades de H₂ (em MWh) e podem ser transferidos a usuários de H₂, de acordo com sua demanda. Quando isso ocorre, os registros desses GO são cancelados na plataforma, evitando uma dupla utilização do atestado.

O registro é feito em um banco de dados operado pela Plataforma CertifHy, onde são armazenadas as contas e as diversas fases dos processos. O Titular da conta (Account Holder) tem em suas contas o Registro de Certificação de Dispositivos de produção e/ou GO CertifHy e é responsável por cancelar GO quando do consumo de H₂ relativo ao GO especificado.

Existem pré-condições para a certificação:

- Somente instalações que produzem H₂ com emissões de GEE menores que o valor de referência de 91,0 gCO₂eq/MJ (95% das emissões do hidrogênio obtido por meio da reforma a vapor do metano) desde a sua inscrição na plataforma ou nos 12 meses anteriores (a duração que for mais curta) são elegíveis;

- As emissões associadas ao CertifHy Green H2 e Low carbon H2 devem ser inferiores ao limite de baixas emissões, definido em 36,4 gCO₂eq/MJ, ou seja, valor de referência menos 60%.

Além disso, a CertifHy está envolvida nas discussões regulatórias do processo liderado pelo Comitê Técnico Conjunto CEN-CENELEC de Gestão de Energia (CEN-CLC/TC 14). Os requisitos impostos relativamente às GO cumprem a norma EN 16325. O CEN CLC/JTC 6 - Hydrogen in energy systems - solicitou conjuntamente a criação de um Grupo de Trabalho Conjunto do CEN CLC, que teria a tarefa de revisar a EN 16325 (Garantias de origem relacionadas à energia - Garantias de origem para Eletricidade) e alargar o seu âmbito para abranger todos os tipos de energias (Veum, 2019).

Os requisitos de energia e emissões de GEE resultantes da construção e desativação de fábricas, instalações e aplicações (por exemplo, veículos) que consomem o H2 não são considerados.

O CertifHy também fornece informações para a International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE) para garantir a harmonização entre a UE e a metodologia internacional em formação, com treinamento de entidades para fornecer certificações harmonizadas e procedimentos de auditoria de acordo com os requisitos do esquema.

Além disso, o CertifHy adota o esquema voluntário da UE para a certificação de H2 como Combustível Renovável de Origem Não Biológica (RFNBO) de acordo com a Diretiva Europeia de Energia Renovável REDII.

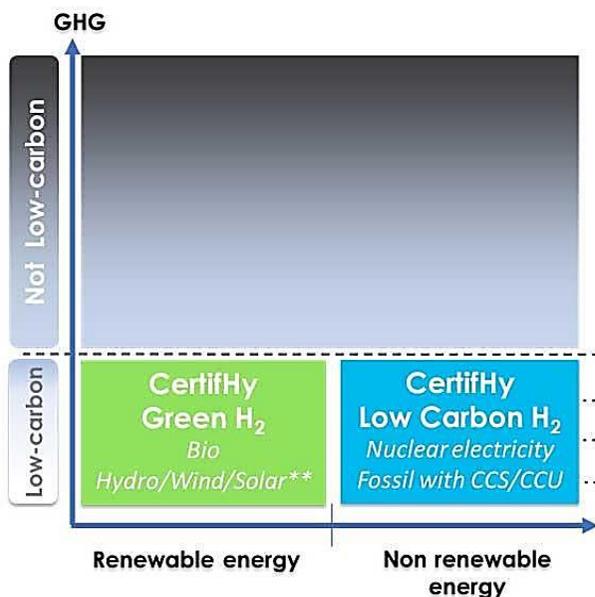
O foco do CertifHy é trazer informações para a União Europeia e incentivar todos os setores a estabelecer uma espécie de certificado mostrando quanto eles contribuem para a certificação. Além do Hidrogênio Verde, a CertifHy também certifica biometano e outros combustíveis reciclados.

A proposta de certificação está baseada em diretivas e regulamentações, e pode ser construída para outros países.

Os Lotes de Produção poderão ser certificados conforme a Figura 26, como:

- Certificado de baixo carbono H2 (CertifHy Low carbon H2);
- Certificado de H2 Verde (CertifHy Green H2), na proporção da participação de energia renovável na energia total utilizada, considerando os limites estabelecidos.

Figura 26 - Reduções aceitas no esquema do CertifHy e tipos de hidrogênio certificados



Fonte: Barth, 2019

As instalações de H2 que emitem menos de 71g/MJ podem entrar no processo de certificação. Além disso, as emissões associadas devem ficar abaixo de 36,4 gCO2eq/MJ, o que representa uma redução de 60% em relação ao valor de referência, que é 91 gCO2eq/MJ.

Para obter a certificação, o produtor deve alimentar a plataforma do CertifHy com as informações sobre a produção, e a auditoria deve ser realizada periodicamente. Se os limites estabelecidos forem atendidos, o produtor receberá a certificação correspondente.

A IPHE propõe em seus documentos, uma metodologia a ser adotada por diversos países. Dessa forma, há uma abordagem mais uniforme de contabilizar as emissões através de um mecanismo robusto, para evitar dupla contagem/reivindicações. Assim, os certificados de diferentes esquemas devem ser comparáveis e reconhecidos em diferentes mercados.

5.4. Certificação – Austrália

A Austrália, por exemplo, é um dos países pioneiros no desenvolvimento de um esquema baseado no CertifHy. O objetivo é emitir um documento que rotula a origem do produto, chamado GO (Garantia de Origem), e fornece informações aos clientes sobre a origem do hidrogênio, garantindo a qualidade e fazendo uma análise da pegada de carbono.

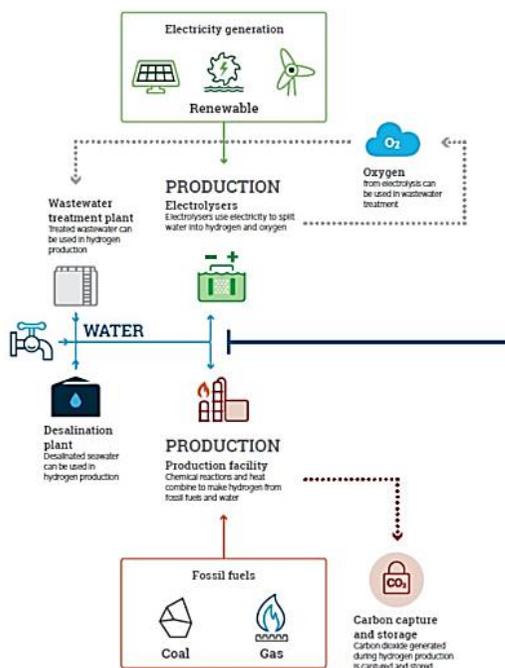
A Austrália desenvolveu um modelo de certificação interessante e inclusivo, que considera diversas fontes de produção de hidrogênio, não apenas a eletrólise, e que pode ser moldado ao longo dos anos para projetos de exportação. O alinhamento entre as diretivas RED I e II, CertifHy e IPHE tem como objetivo garantir a rastreabilidade e qualidade do hidrogênio produzido.

Nesse contexto, o GO (Garantia de Origem) é um instrumento que identifica a origem do produto e fornece informações sobre sua pegada de carbono, o que garante a transparência e confiança para os consumidores.

O esquema GO é importante porque fornece informações aos consumidores sobre o impacto ambiental do hidrogênio que está sendo comprado e usado, o que é essencial para fomentar o uso de Hidrogênio Verde e de baixo carbono.

A proposta da Austrália é estar em operação em 2024 e a análise da tecnologia de produção, as emissões de carbono, as fontes de produção e a localização da produção devem ser levadas em consideração. As três principais tecnologias de produção relevantes para a Austrália são a eletrólise, a gaseificação de carvão com CCS e o SMR de gás natural com CCS.

Figura 27 - Esquema de certificação de Hidrogênio Verde da Austrália



Fonte: COAG, 2019

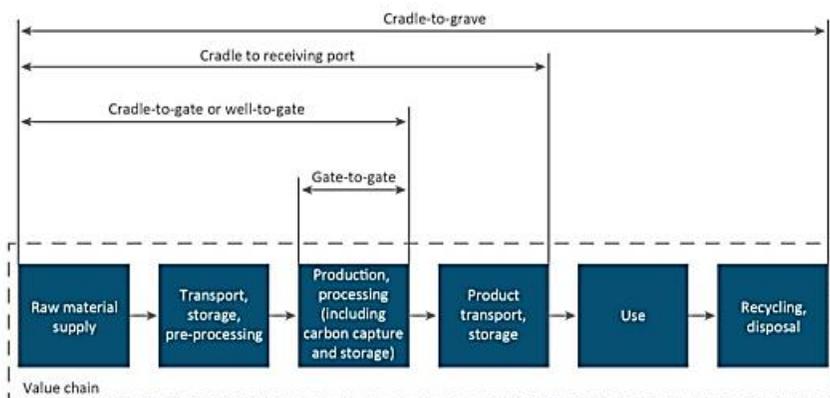
O esquema em desenvolvimento na Austrália é baseado em consulta feita aos stakeholders locais e considera diversas fontes de energia renovável e diferentes formas de produção de hidrogênio, sem excluir as fontes que não são necessariamente limpas.

Entre as tecnologias consideradas relevantes estão a eletrólise utilizando dessalinização, a gaseificação de carvão com captura e armazenamento de carbono e a reforma a vapor de gás natural com captura e armazenamento de carbono. O regulador de energia limpa da Austrália utilizará a abordagem do berço ao portão da planta (cradle-to-gate) ou do ciclo de vida para avaliar a pegada de carbono do hidrogênio.

O certificado de GO será emitido para cada tonelada de H₂ produzido e incluirá informações sobre as emissões, o local de produção, a tecnologia de produção e a fonte de energia primária. O ciclo de vida

será contabilizado ao longo de um período de 12 meses, que é um cronograma típico para coleta de dados. As emissões totais serão calculadas a partir das emissões nos limites cradle-to-gate, da captura de CO₂ e das emissões de coprodutos. A abordagem da Austrália pode ser uma referência interessante para o Brasil, uma vez que considera diferentes formas de produção e foca nas potencialidades locais.

Figura 28 - Esquema de Garantia de Origem da Austrália



Fonte: <https://www.dceew.gov.au/energy/renewable/guarantee-of-origin-scheme>

O país tem dois modelos disponíveis: o well-to-gate e o cradle-to-gate. O primeiro considera todo o processo de produção até a saída da fábrica, enquanto o segundo considera até o uso final. Se a captura de carbono for realizada, a redução das emissões também é contabilizada. É importante notar que o transporte também é considerado no modelo australiano. Ainda não há um documento de certificação oficial, mas a Austrália está trabalhando em conjunto com o CertifHy para desenvolver esse processo.

O Departamento de Climate Change, Energy, the Environment and Water está elaborando uma legislação para as Garantias de Origem do hidrogênio australiano, junto ao organismo designado como administrador do esquema voluntário, o Clean Energy Regulator (CER), que é uma autoridade estatutária federal. Eles realizaram pesquisas e reuniões com os stakeholders locais para entender suas demandas e para garantir a qualidade do processo. A priori, a metodologia está

alinhada com a Parceria Internacional para Hidrogênio e Células a Combustível e Hidrogênio na Economia (IPHE) e espera-se que seja implementado até o início de 2024, depois disso, sendo revisado a cada cinco anos.

O certificado de garantia de origem deve se referir a 1 tonelada de hidrogênio produzido e incluir informações sobre emissões, local de produção, tecnologia utilizada e fonte de energia primária.

Um conselho formado por empresas locais, o Smart Energy Council, já havia lançado o Zero Carbon Certification Scheme (ZCC Scheme) em dezembro de 2020, como uma garantia de origem. O ZCC Scheme tem parceria com governos estaduais e instituições acadêmicas. O projeto usa a estação de abastecimento de hidrogênio da ActewAGL em Canberra, como modelo para contabilizar as emissões produzidas do hidrogênio verde usando energia 100% renovável.

Estruturas de contabilidade de carbono utilizadas no país:

- Padrões internacionais relacionados a avaliações de ciclo de vida (ISO 14040 e ISO 14044) e pegada de carbono de produtos (ISO 14067) fornecem princípios, estrutura, requisitos e diretrizes para apoiar a estimativa de emissões associadas a um dado produto.
- Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) - fornece uma estrutura global padronizada para medir e gerenciar as emissões de gases de efeito estufa de operações, produtos e atividades de mitigação do setor público e privado.
- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) - diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa fornecem orientação sobre o cálculo de emissões, incluindo a seleção de fatores de emissão.
- Relatório Nacional de Efeito Estufa e Energia (NGER) - estrutura nacional de relatar dados de emissões para instalações australianas. Usa Diretrizes do IPCC e NGERS para apoiar cálculos específicos de emissões. A dedução devido ao uso de tecnologias CCS são definidos de acordo com a Determinação NGER.

- Climate Active - padrão voluntário para gerenciar as emissões de gases de efeito estufa e alcançar a neutralidade de carbono. Ele extrai sua estrutura de padrões ISO selecionados e do GHG Protocol.

Com uma análise crítica sobre o modelo de certificação adotado pela Austrália, ressaltamos a necessidade de considerar diferentes contextos de produção e uso do hidrogênio, visando o mercado de exportação. Os modelos de certificação existentes foram pensados em desenvolver um mercado de produção que satisfaça a demanda de outros países, focando principalmente no Japão e a União Europeia.

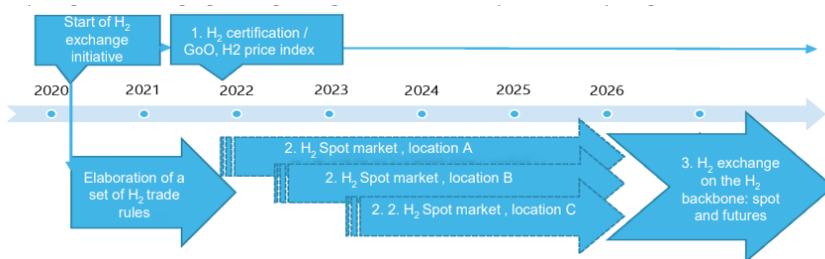
A certificação da Austrália é baseada em normas internacionais como a ISO e faz uso de modelos como a CertifHy e a TUV. Ela também utiliza ferramentas como o GHG Protocol, que fornece informações sobre as emissões de gases de efeito estufa durante toda a cadeia de valor, o IPCC, que é um painel governamental que desenvolve modelos para inventário de gases de efeito estufa, além do relatório nacional de efeito estufa e energia e o Climate Active, que também são usados como referência na certificação.

5.5. HyXchange

Também podemos citar o HyXchange, um projeto da Holanda que visa estabelecer um mercado spot de hidrogênio, a partir de certificados de Hidrogênio Verde. A iniciativa HyXchange trabalha na construção de um piloto para comercialização de garantias de origem com exploração de índice de preços para um produto, como mostra a Figura 29.

A ideia é que, por ser um importante ponto de comercialização de insumos- importação e exportação- a Holanda esteja alinhada com as exigências europeias do CBAM (Carbon Border Adjustment Mechanism) e em relação as emissões associadas à produção do Hidrogênio Verde.

Figura 29 - Cronograma de execução do projeto Hyxchange



Fonte: <https://hyxchange.nl/about/>

O projeto é financiado pela Gausine e autoridades portuárias de Roterdã, Amsterdã, Groningen e Porto do Mar do Norte e tem como objetivo construir uma plataforma de negociação com uma visão de formação gradual de uma bolsa do hidrogênio, que catalise o mercado. No site do projeto há alguns documentos com o desenvolvimento do projeto.

Ainda que primário, o projeto é um exemplo de como países e empresas estão se mobilizando para estabelecer padrões e garantir a qualidade do Hidrogênio Verde produzido e comercializado, o que é importante para a transição para uma economia mais verde e sustentável.

O projeto sugere:

- A certificação de Hidrogênio Verde, de baixo carbono e importado é necessária para canalizar um volume maior de hidrogênio de uma ampla gama de fontes através de uma única rede, permitindo que os usuários escolham o tipo de hidrogênio que desejam comprar e vender.
- Desenvolver uma bolsa de hidrogênio - um índice que forneça transparência em relação ao preço pelo qual o hidrogênio pode ser negociado.
- Um mercado spot importante no desenvolvimento de uma bolsa de hidrogênio. Isso será inicialmente configurado como uma simulação de mercado e, quando a infraestrutura em um dos portos estiver pronta e houver vários provedores e clientes, será lançado um mercado spot local real.
- Instrumentos de negociação para equilibrar a rede e armazenar hidrogênio. Esses mecanismos devem ser explorados com mais detalhes e também podem fazer parte de uma proposta de simulação de mercado.

Além disso, o documento elaborado pelo projeto aponta para a importância de pensar na rede de energia e armazenamento de hidrogênio, a fim de equilibrar a oferta e a demanda e evitar desequilíbrios que possam afetar o fornecimento de energia elétrica. É um projeto grandioso, que visa criar um mercado Spot para o hidrogênio, com preços justos e equilibrados, além de uma rede de armazenamento bem estruturada.

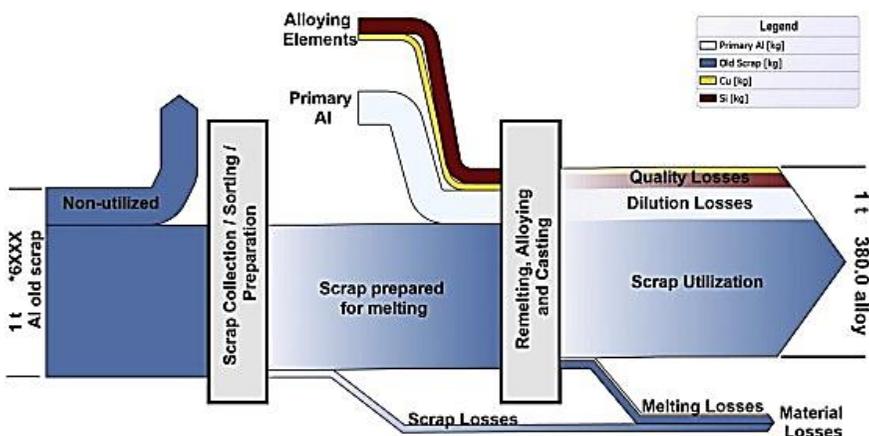
6. Aplicação da ACV

No contexto da certificação de Hidrogênio Verde, existem dois caminhos para estimar as emissões de gases de efeito estufa. O primeiro é o cálculo do balanço de massa, que leva em conta a entrada, a saída, a acumulação, a geração ou a destruição de matéria-prima na produção de hidrogênio. No Estado de São Paulo, o balanço de massa é enviado aos órgãos de fiscalização e licenciamento ambiental dos estados, sob orientação do CETESB¹. O segundo caminho é a Análise de Ciclo de Vida (ACV), que avalia todas as etapas do processo de produção, desde a extração de matérias-primas até a disposição final do produto.

A ACV é uma ferramenta metodológica usada para avaliar os impactos ambientais da produção de um determinado produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até o uso e a disposição final. Para isso, são identificados todos os fluxos de entrada (insumos) e de saída (efluentes) do sistema do produto ou serviço. Uma série de softwares podem auxiliar a ACV, com informações robustas sobre perdas e geração de subprodutos, como mostra a Figura 56.

¹ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Acesso: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/33/2016/09/Apostila-Poluicao-do-Ar-Gerenciamento-e-Controle-de-Fontes.pdf>

Figura 30 - Diagrama de Sankey com perdas de material, qualidade e diluição durante a reciclagem de sucata



Fonte: Paraskevas, 2015

Essa ferramenta é utilizada para uma ampla variedade de produtos. A ACV permite identificar as etapas do ciclo de vida do produto que mais contribuem para determinado impacto ambiental e avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para reduzir tais impactos e melhorar seu desempenho ambiental. As normas técnicas relacionadas à ACV estão disponíveis no site da ACV Brasil.

Figura 31 - Etapas da Análise de Ciclo de Vida



Life-cycle assessment stages

Fonte: <https://www.oneclicklca.com/life-cycle-assessment-explained/>

A partir da cadeia de valor do Hidrogênio Verde, podemos elaborar todo um ciclo de vida desde as fontes primárias até o seu uso final. Para avaliar os impactos ambientais e sociais desse ciclo, são utilizadas a Análise de Ciclo de Vida (ACV) e a S-ACV (social), ferramentas metodológicas que consideram todas as etapas da cadeia de valor, desde a extração de matérias-primas até o descarte final do produto e seus impactos.

A ACV identifica quais etapas contribuem mais para externalidades ambientais e possibilita a implementação de melhorias e alternativas para reduzir esses impactos e melhorar o desempenho ambiental. Os fluxos de entrada, que são os insumos, e os fluxos de saída, como efluentes, são considerados na ACV para uma avaliação completa do ciclo de vida do produto. É importante lembrar que a ACV não se aplica apenas à certificação do Hidrogênio Verde, mas é utilizada para avaliar atividades produtivas de uma variedade de produtos e serviços.

6.1. Normas específicas – ACV

- a) ISO 14040:** Princípios e Estrutura - Esta norma especifica a estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar estudos de avaliação do ciclo de vida, não incluindo as técnicas de avaliação do ciclo de vida em detalhes;
- b) ISO 14041:** Definições de escopo e análise do inventário - Esta norma orienta como o escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo estabelecido. Da mesma forma, esta norma orienta como realizar a análise de inventário, que envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto;
- c) ISO 14042:** Avaliação do impacto do ciclo de vida - Esta norma especifica os elementos essenciais para a estruturação dos dados, sua caracterização, a avaliação quantitativa e qualitativa dos impactos potenciais identificados na etapa da análise do inventário;
- d) ISO 14043:** Interpretação do ciclo de vida - Esta norma define um procedimento sistemático para identificar, qualificar, conferir e avaliar as informações dos resultados do inventário do ciclo de vida ou avaliação do inventário do ciclo de vida, facilitando a interpretação do ciclo de vida para criar uma base onde as conclusões e recomendações serão materializadas no Relatório Final.
- e) ISO 14044:** Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. Especifica os requisitos e provê orientações para a avaliação do ciclo de vida (ACV), incluindo a definição de objetivo e escopo da ACV, a fase de análise de inventário do ciclo de vida (ICV), a fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), a fase de interpretação do ciclo de vida, a comunicação e a revisão crítica da ACV, as limitações

da ACV, a relação entre as fases da ACV, e as condições para o uso de escolha de valores e de elementos opcionais.

Na série de normas ISO 14040 até 14049, há requisitos e diretrizes para a utilização da ACV.

A norma 14040 estabelece os princípios e estrutura da ACV, enquanto a 14041 trata do escopo e análise de inventário. Já a norma 14042 aborda o impacto ambiental do ciclo de vida e a 14043 ajuda a interpretar esses resultados, que devem ser apresentados em um relatório final para a certificação do processo. A norma 14047 apresenta exemplos práticos e a norma 14048 dá um formato para apresentação de dados. Por fim, a norma 14049 mostra exemplos de aplicação da ACV. Essas normas são importantes para entender como funciona a ACV e como é possível aplicar essa ferramenta para avaliar os impactos ambientais do Hidrogênio Verde ao longo de toda sua cadeia de valor.

f) ISO/TR 14047: Exemplos para a aplicação da ISO 14042 - Este relatório técnico fornece exemplos de algumas das formas de aplicação da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida conforme descrito conforme a norma ISO 14042.

g) ISO/TS 14048: Formato da apresentação de dados - Esta especificação técnica fornece padrões e exigências para a forma de apresentação dos dados que serão utilizados no Inventário e na Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida de uma forma transparente e inequívoca.

h) ISO/TR 14049: Exemplos de aplicação da ISO 14041 para definição de objetivos e escopo e análise de inventário - Este relatório técnico apresenta exemplos para facilitar a definição de objetivos e escopos e análise de inventários, orientando uma padronização para diversos tipos de ACV.

Ao realizar a ACV de um bem ou serviço é possível compará-la com outros bens e serviços, ajudando no processo de tomada de decisão para a seleção daquele que resulte em menores impactos ambientais aos:

- I. recursos naturais,
- II. à saúde humana,
- III. qualidade dos ecossistemas.

Para realizar a análise de ciclo de vida de um produto ou processo, é importante considerar os recursos naturais utilizados em todas as etapas, desde a extração de matérias-primas até o descarte final, além dos impactos na saúde humana e na qualidade do ecossistema.

É preciso avaliar todas as entradas e saídas do sistema, desde insumos e energia até emissões e resíduos, para identificar quais etapas do ciclo de vida mais contribuem para os impactos ambientais e sociais. Dessa forma, é possível identificar oportunidades de melhoria e alternativas mais sustentáveis para reduzir esses impactos.

Ao observar a produção de determinado produto, é necessário considerar todas as matérias-primas utilizadas, tais como água, energia elétrica, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural liquefeito, gás natural, solvente na tinta, solvente comprado, papel e alumínio, bem como todo o processo de produção envolvido. Ao final do ciclo de produção, é importante analisar quais resíduos são gerados e como eles são tratados, além de calcular a quantidade de emissões de gases poluentes emitidos por quilo do produto final.

É importante lembrar que uma análise de ciclo de vida completa ainda contempla alguns critérios, tais como gastos energéticos para o tratamento de resíduos perigosos, de efluentes, emissões na atmosfera e quantidade de afluentes gerados durante todo o processo de produção.

6.2. Fases – ACV

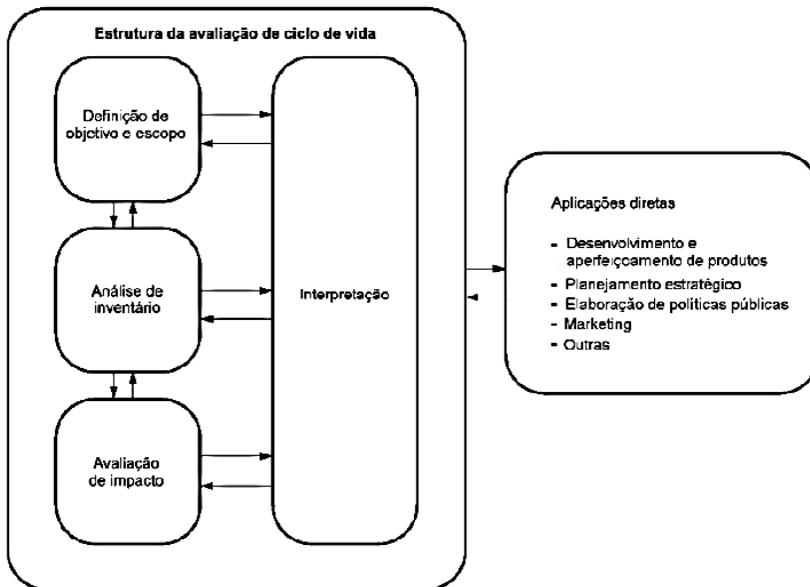
A metodologia de ACV envolve a realização de quatro etapas:

- I. **definição do objetivo e escopo;**
- II. **análise de inventário;**
- III. **avaliação de impactos;**
- IV. **avaliação de melhorias/interpretação.**

Primeiramente, é necessário identificar tudo que faz parte do escopo do processo e qual é o objetivo que se deseja alcançar. A partir disso, define-se quais são os fluxos de entrada que estarão presentes.

Em seguida, é feita a análise de inventário, que consiste em levantar as emissões de gases e resíduos gerados em cada etapa do ciclo de vida do produto ou serviço. Depois, é realizada a avaliação dos impactos causados ao meio ambiente, a partir da qual se identifica quais etapas do processo são mais críticas e necessitam de melhorias.

Figura 32 - Fases da Análise de Ciclo de Vida



Fonte: Pierkaski, 2012

A Análise de Ciclo de Vida é uma ferramenta muito utilizada atualmente, seja para planejamento estratégico de empresas, para fins de marketing, para obtenção de benefícios fiscais e em programas de ESD (Desenvolvimento Sustentável Empresarial). Essas empresas utilizam a ACV para gerar documentos necessários para os programas de ESD, como também para a tomada de decisões internas na empresa.

6.3. Definição do objetivo e escopo - ACV

Nesta etapa, de o primeiro ponto é delimitar o objetivo e escopo, a fronteira de análise, os limites do processo (como berço até o portão ou berço até a roda, por exemplo), estabelecer limites temporais e espaciais, bem como a unidade funcional para a qual a certificação será baseada nos limites de fronteira e, por fim, os procedimentos de alocação de impactos entre insumos e produtos gerados.

As fronteiras referem-se aos sistemas que serão considerados, enquanto os limites estão relacionados ao horizonte de tempo e à região

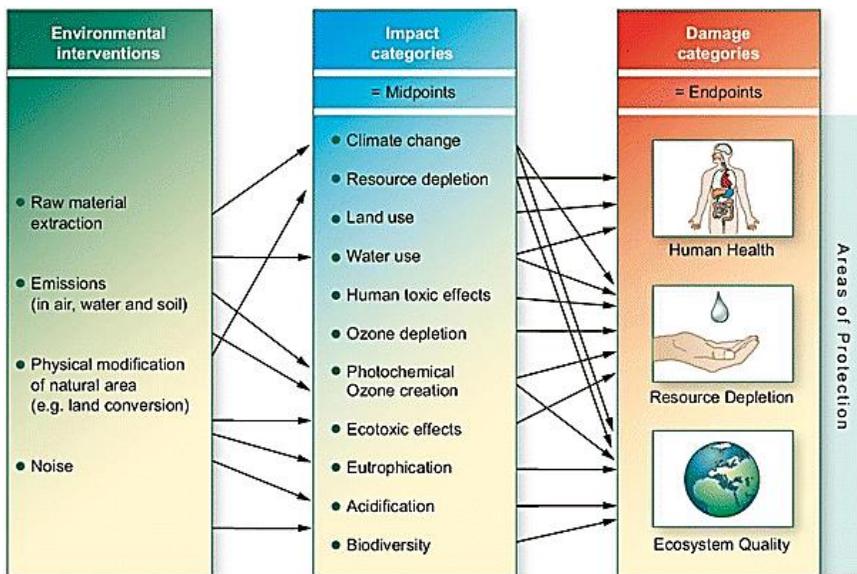
geográfica. É importante considerar aspectos socioeconômicos e ambientais da região, por exemplo, escolhendo processos que possam trazer benefícios para populações locais.

No caso da certificação do Hidrogênio Verde, é preciso verificar a confiabilidade e representatividade dos dados utilizados nesse processo, para garantir a precisão e validade da certificação.

A análise de ciclo de vida é um processo importante para avaliar os impactos ambientais de um produto ou serviço. Para garantir a confiabilidade e representatividade dos dados, é necessário estabelecer um modelo e uma certificadora para fazer a auditoria na unidade funcional estabelecida.

Além disso, é importante escolher a quantidade de produção a ser avaliada. A unidade funcional é definida e mensurada, e a realização das análises deve ser comparada em termos de resultados e os tipos de impactos devem ser separados em diferentes categorias, chamados de "endpoint" e "midpoint".

Figura 33 - Categorias de impacto a midpoint e endpoint



Fonte: Rack, 2013

Os impactos intermediários, ou "midpoint", incluem aspectos como o uso da terra, uso de água, efeitos tóxicos no corpo humano, camada de ozônio, ecotoxicidade, eutrofização e biodiversidade. Já os impactos finais, ou "endpoint", são aqueles relacionados ao uso final do produto ou serviço.

Embora não seja obrigatório avaliar todos os endpoint e midpoint, é importante considerar o uso final do produto ou serviço para entender os impactos ambientais de todo o ciclo de vida.

A unidade funcional define explicitamente o desempenho de um serviço ou uma função fornecida pelo sistema de produtos, através de uma unidade de referência que pode quantificá-lo, permitindo uma análise e comparação entre diferentes sistemas, permitindo, assim, a normalização de todos dos dados.

- i) A unidade funcional varia em função do objetivo da ACV e está relacionada à utilidade do objeto em estudo.
- ii) Geralmente ela consiste em uma unidade e uma quantidade.
- iii) A unidade funcional deve ser bem definida e mensurável, pois permitirá a realização das análises comparativas dos resultados.

6.4. Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) - ACV

Corresponde à etapa em que todos os fluxos de entrada e saída associados ao sistema do produto são quantificados.

Para tanto, são levantadas todas as entradas, representadas normalmente pelos fluxos de energia e matéria-prima; e todas as saídas, que se referem às emissões atmosféricas, líquidas e os resíduos sólidos, de todas as etapas incluídas nas fronteiras do estudo de ACV.

Como resultado, obtém-se um fluxograma do sistema em estudo, com todas as atividades, processos e fronteiras bem definidos. Também é importante considerar os procedimentos de cálculo e alocação.

A coleta de dados corresponde ao primeiro passo da ACV e deve considerar alguns parâmetros importantes, como:

- a abrangência temporal, ou seja, a idade dos dados e o período mínimo para a coleta dos dados de amostragem (que normalmente é de 1 ano);
- a abrangência geográfica, ou seja, a área geográfica indicada para a coleta dos dados, que deve ser compatível com os objetivos do estudo;
- a abrangência tecnológica, ou seja, a combinação de tecnologias e identificação das diferenças tecnológicas para os processos estudados.

6.5. Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) - ACV

Após o inventário, é realizada a avaliação do impacto do ciclo de vida, na qual os dados são interpretados quali e quantitativamente.

Para tanto, essa etapa é normalmente dividida em dois passos: classificação e caracterização.

Na classificação, os dados do inventário são selecionados e atribuídos a categorias específicas de impactos, normalmente os “midpoint impacts”.

Assim, todas as entradas e saídas do inventário que contribuem para causar impacto sobre o ambiente são classificadas de acordo com o efeito para o qual contribuem. Em seguida, é realizado o cálculo dos indicadores de cada categoria. Segundo a norma ISO 14040 (ISO, 2006a), os elementos opcionais consistem na normalização, agregação e ponderação.

As categorias de impacto ambiental são várias, sendo as principais:

- Exaustão de recursos não renováveis;
- Aquecimento global;
- Depleção da camada de ozônio;
- Toxicidade humana;
- Ecotoxicidade - danos causados à fauna e à flora por substâncias tóxicas em meio aquático ou terrestre;
- - Acidificação - aumento da acidez do solo ou da água devido à liberação de óxidos de nitrogênio e enxofre, podendo causar efeitos nocivos em plantas, seres humanos, animais e edificações;
- - Oxidação fotoquímica;

- - Eutrofização;
- - Uso da terra;
- - Radiação - contaminação por partículas radioativas advindas da extração de recursos naturais como rocha fosfática, carvão mineral, petróleo e outros;
- - Respiração de partículas inorgânicas - substâncias inorgânicas como material particulado, óxidos, nitratos e outros, ao serem inaladas pelo homem, geram efeitos nocivos à sua saúde;
- - Respiração de partículas orgânicas - partículas que contêm carbono em sua estrutura e geram danos à saúde ao serem inaladas.

O inventário deve conter toda a análise e a coleta de dados trazendo a abrangência temporal, geográfica e tecnológica. Para uma dada categoria de impacto, há um sistema de processos físicos, químicos e biológicos vinculado aos indicadores de categoria e aos resultados da análise do inventário do ciclo de vida. Todos os midpoint que contabilizaremos, as entradas e saídas têm que ser especificadas no inventário.

Os dados de impacto ambiental devem ser considerados de acordo com o produto e para onde serão encaminhados no endpoint. Dependendo do produto, algumas categorias de impacto ambiental não precisam ser comprovadas, como a toxicidade para a saúde humana se não estiver relacionada ao produto. É importante lembrar que a AICV é uma fase da ACV e possui uma série de modelos de caracterização utilizados para avaliar cada uma de suas categorias de impacto.

6.6. Análise de Melhorias/Interpretação - ACV

Nessa etapa, os resultados obtidos anteriormente são avaliados de acordo com os objetivos propostos no início da análise, buscando identificar e analisar possíveis melhorias para mitigação e até mesmo eliminação de alguns impactos identificados. A análise é realizada em três ações:

- I. verificação da poluição ambiental, para identificação do processo ou atividade que mais impacta o ambiente;
- II. levantamento das alternativas tecnológicas existentes para a substituição do processo ou atividade;

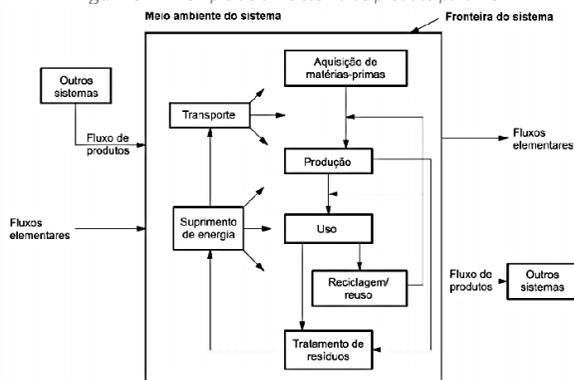
III. construção de cenários para a verificação dos resultados possíveis.

É importante destacar que a ISO 14043 (2000) estabelece que a interpretação do estudo deve incluir a identificação dos impactos ambientais significativos, a avaliação da completude, sensibilidade e consistência do estudo, bem como as conclusões e recomendações para implementar melhorias a fim de reduzir os impactos ambientais significativos.

De acordo com a ISO 14044, esses dados e interpretações devem estar presentes no relatório completo, incluindo todos os impactos ambientais significativos causados pelo processo/serviço avaliado. Em suma, a análise de ACV envolve três ações principais: poluição ambiental, levantamento de alternativas tecnológicas e construção de cenários para verificação de resultados possíveis. É essencial observar essas ações para verificar como a atividade impacta o meio ambiente e buscar soluções para minimizar esses impactos.

Em resumo, podemos observar exemplos de sistemas de ACV, nas Figuras 34 e 35, e a sua forma de observar o processo/serviço de maneira mais completa e precisa, buscando sempre soluções para minimizar os impactos ambientais. O nível de detalhamento da modelagem, o número de fluxo e variáveis considerados determinam as fronteiras e a robustez de um processo elementar.

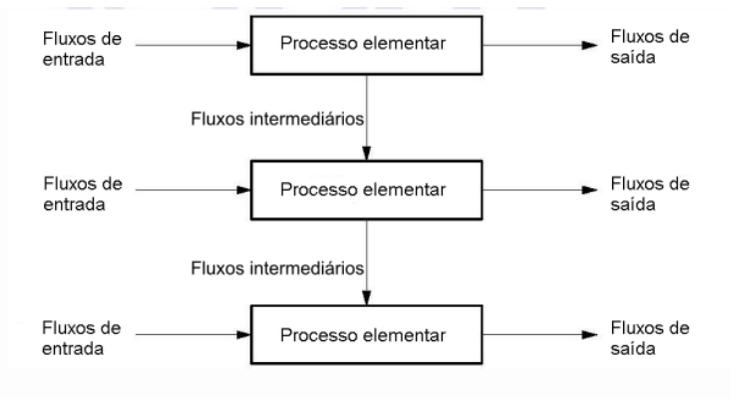
Figura 34 - Exemplo de um sistema de produto para ACV



Fonte: ABNT, 2014

O modelo de fluxograma da análise de ciclo de vida inclui dados de entrada, fluxos de entrada, processo e fluxos de saída. Entre os fluxos de processo estão o transporte, suprimento de energia, produção, uso, reuso, reciclagem de material, tratamento de resíduos e fluxo final. Alguns modelos aplicados à produção do hidrogênio podem ser acessados no documento da IPHE².

Figura 35 - Exemplo de um conjunto de processos elementares dentro de um sistema de produto



Fonte: ABNT, 2014

Esses elementos são importantes para mapear todo o ciclo de vida do produto e avaliar seus impactos ambientais em cada etapa. É por meio desse modelo que se torna possível identificar quais as etapas que contribuem mais para os impactos ambientais e onde podem ser inseridas melhorias para melhorar o desempenho ambiental.

A partir da análise de ciclo de vida é possível medir os potenciais impactos ambientais causados e a partir disso propor eixos para construção de novas políticas públicas, buscando reduzir os impactos ambientais e externalidades negativas, inclusive do ponto de vista social.

Sendo assim, a análise de ciclo de vida torna-se uma ferramenta útil na avaliação do impacto ambiental de produtos e processos e pode ser

² International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy.
<https://www.iphe.net/iphe-wp-methodology-doc-jul-2023>



Por meio da:

giz

H2BRASIL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



Apoio:

intec



Coordenação do curso

QA Qua

utilizada para orientar estratégias de desenvolvimento sustentável. Porém, é importante destacar que a utilização dessa abordagem implica na necessidade de se estabelecer uma normalização com fronteiras e fatores específicos para o sistema a ser analisado, uma vez que incertezas podem ser associadas à riscos ambientais ou mesmo de mercado, principalmente considerando metodologias baseadas na realidade de outro país.

Considerações Finais

Esperamos que esse livro tenha sido uma introdução ao mundo do hidrogênio de baixo carbono, no qual, particularmente o tema **“Legislação e normas de segurança, para produção e uso do H2 em aplicações não convencionais”** traz uma reflexão sobre as bases legais para a disseminação e conformação de um mercado que esteja alinhado aos desafios da transição energética.

Em resumo, vimos a importância da comparação e observação crítica dos pontos relevantes sobre diferenças entre os escopos das certificações e o desenvolvimento de normas e códigos, regulações e legislações de cada país, direcionados ao mercado de hidrogênio. Em especial:

- Esboços de leis e regulações de mercado do hidrogênio no Brasil e no mundo;
- Apresentação de normas internacionais existentes para tecnologias do hidrogênio e células a combustível (ISO e IEC);
- Certificações de garantia de origem do hidrogênio verde;
- Metodologias de contabilização de emissões de gases de efeito estufa relacionados a produção de hidrogênio;
- Conceitos sobre a análise de ciclo de vida e sua aplicação no processo de certificação.

Recomendamos a leitura dos próximos livros, para entender detalhes de todos os aspectos envolvidos na implementação eficaz e eficiente do hidrogênio verde e de baixo carbono.

Referências

ABREU, Victor Hugo Souza de et al. An Overview of Life Cycle Assessment of Renewable Hydrogen. 2023.

ABNT [Associação Brasileira de Normas Técnicas], 2009a. ABNT NBR ISO 14040: 2009 Versão Corrigida: 2014: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Estrutura. Brasil. Rio de Janeiro, RJ: ABNT.

_____. NBR ISO 14041: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição de objetivo e escopo e análise de inventário. CENWin, versão digital, 2004a. 25 p.

_____. NBR ISO 14042: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida. CENWin, versão digital, 2004b. 17 p.

_____. NBR ISO 14043: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida – interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005. 19 p.

_____. NBR ISO 14050: Gestão ambiental – Vocabulário. CENWin, versão digital, 2004c. 23 p

ABAD, Anthony Velazquez; DODDS, Paul E. Green hydrogen characterisation initiatives: Definitions, standards, guarantees of origin, and challenges. Energy Policy, v. 138, p. 111300, 2020.

BARTH, F. et al. Towards a dual hydrogen certification system for guarantees of origin and for the certification of renewable hydrogen in transport and for heating & cooling final report of phase 2. 2019.

COAG ENERGY COUNCIL HYDROGEN WORKING GROUP et al. Australia's national hydrogen strategy. 2019.

DIAS, João Pedro dos Santos Albersheim. O papel da regulamentação do mercado de carbono brasileiro: metas climáticas e atuação na agenda do clima. 2023.

GROB, Gustav R. Importance of ISO and IEC international energy standards and a new total approach to energy statistics and forecasting. *Applied energy*, v. 76, n. 1-3, p. 39-54, 2003.

MAGRO, A. R.; MORONG, F. F. Regulação, regulamentação e função regulatória: diversidade de conceitos administrativos. In: Encontro Nacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, ENEPE, 2018, Presidente Prudente. Anais do Encontro Nacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2018. p. 1273-1273.

MORETTO, Pietro; QUONG, Spencer. Legal requirements, technical regulations, codes, and standards for hydrogen safety. In: *Hydrogen Safety for Energy Applications*. Butterworth-Heinemann, 2022. p. 345-396.

PARASKEVAS, Dimos et al. Environmental modelling of aluminium recycling: a Life Cycle Assessment tool for sustainable metal management. *Journal of Cleaner Production*, v. 105, p. 357-370, 2015.

PIEKARSKI, Cassiano Moro et al. Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. *Revista Gestão Industrial*, v. 8, n. 3, 2012.

PIQUE, Sylvaine et al. Comparative study of regulations, codes and standards and practices on hydrogen fuelling stations. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 42, n. 11, p. 7429-7439, 2017.

RACK, M., VALDIVIA, S. & SONNEMANN, G. Life Cycle Impact Assessment—where we are, trends, and next steps: a late report from a UNEP/SETAC Life Cycle Initiative workshop and a few updates from recent developments. *Int J Life Cycle Assess* 18, 1413–1420, 2013.

REIS, Isaura. Governança e Regulação da Educação: perspectivas e conceitos. *Educação, Sociedade & Culturas*, n. 39, p. 101-118, 2013.

RINAWATI, Dyah Ika et al. Life-cycle assessment of hydrogen utilization in power generation: A systematic review of technological and methodological choices. *Frontiers in Sustainability*, v. 3, p. 920876, 2022.

SAILER, Katharina et al. Global Harmonisation of Hydrogen Certification. World Energy Council, 2022.

VEUM, K. C. et al. Taking CertifHy to the next level; Roadmap for building a dual hydrogen certification infrastructure for Guarantees of Origin and for Certification of renewable hydrogen in transport. 2019.

VIEIRA, James Batista; BARRETO, Rodrigo Tavares de Souza. Governança, gestão de riscos e integridade. 2019.

WANG, Dan; YANG, Juheng. Carbon Neutrality Strategies for Chinese International Oil Company Based on the Rapid Development of Global Carbon Market. *Sustainability*, v. 14, n. 18, p. 11350, 2022.

WEIDNER, Till; TULUS, Victor; GUILLÉN-GOSÁLBEZ, Gonzalo. Environmental sustainability assessment of large-scale hydrogen production using prospective life cycle analysis. *international journal of hydrogen energy*, v. 48, n. 22, p. 8310-8327, 2023.

WURSTER, Reinhold; HOF, Elena. The German hydrogen regulation, codes and standards roadmap. *International Journal of Energy Research*, v. 45, n. 4, p. 4835-4840, 2021.

YANG, Yanmei et al. Review of hydrogen standards for China. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2019. p. 03032.

Sites e Bases de dados relevantes

CertifHy (2019): CertifHy-SD Hydrogen Criteria, last update 2019-03-13 https://www.certifhy.eu/images/media/files/CertifHy_2_deliverables/CertifHy_H2-criteria-definition_V1-1_2019-03-13_clean_endorsed.pdf

Hinício (2019): Frederic Barth, Hinício: CertifHy – Developing a European guarantee of origin scheme for green hydrogen; Definition of Green Hydrogen; Presentation dated 16 October 2019



Por meio da:



Apoio:



www.certifyhy.eu/images/media/files/CertifHy_Presentation_19_10_2016_final_Definitivo_of_Premium_Hydrogen.pdf

H2Tools;

NREL: <https://h2tools.org/codes-standards/codes-standards-permitting-tools>;

NREL, Hydrogen Vehicle and Infrastructure Codes and Standards. Vehicles Storage Dispensing. National Template: <https://hydrogen-portal.com/safety-codes-standards/>

FCH JU Observatory;

<https://www.fchobservatory.eu/observatory/Policy-and-RCS/Standards>

HyLaw

<https://www.hylaw.eu/database/germany/production-of-hydrogen/centralised-electrolysis-steam-methane-reforming-and-h2-liquification/permitting-process-include-former-lap-emission-regulation/legislation>

H2BRASIL



www.quali-a.com/h2brasil



Por meio da:



Apoio:



Organização:

