

SÍNTESE TÉCNICA DE REFERÊNCIA

PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SEGURANÇA DO HIDROGÊNIO

Volume 6 • Coleção Conceitos do H₂ Power-to-X



Documento	Guia técnico estruturado para consulta e aplicação em engenharia
Obra de referência	Princípios básicos de segurança do hidrogênio, Volume 6 (Brasília-DF, 2023)
Autores da obra	Newton Pimenta Neves Jr.; Sayonara Andrade Eliziário; Júlia Teixeira Fernandes; Aurélio Lamare Soares Murta
Projeto editorial	Projeto H ₂ Brasil – Expansão do Hidrogênio Verde LaSUS FAU UnB
Preparação	Prime Products – Soluções Integradas Revisão R01 23 de julho de 2026

Uso interno • Material de apoio técnico. Esta síntese não reproduz integralmente a obra, não substitui o livro original, a análise de riscos do empreendimento nem as normas aplicáveis.

Do Projeto ao Comissionamento - Precisão - Integração - Entrega

Projeto • Fornecimento • Montagem • Testes • Documentação • Comissionamento

1. Identificação, propósito e limites de uso

Este documento organiza, em linguagem de engenharia, os principais temas de segurança associados ao hidrogênio gasoso e líquido. A estrutura foi inspirada no escopo didático do Volume 6 da coleção Conceitos do H₂ Power-to-X e complementada por referências públicas de segurança, sem transcrição integral do conteúdo protegido.

Limite de aplicação: O conteúdo é uma referência de consulta. O projeto executivo deve ser desenvolvido a partir de HAZID/HAZOP, classificação de áreas, cálculo de ventilação, estudo de dispersão quando aplicável, análise de consequências, SRS/matriz de causa e efeito, requisitos do Corpo de Bombeiros e edições vigentes das normas.

Tabela 1 – Controle editorial e classificação de uso do documento.

Revisão	Data	Descrição	Responsável
R00	23/07/2026	Emissão inicial da síntese técnica estruturada	Prime Products
Fonte-base	2023	Volume 6 – Princípios básicos de segurança do hidrogênio	H ₂ Brasil / LaSUS FAU UnB
Status	—	Material técnico de referência; não liberado como base única de projeto	Engenharia

1.1 Síntese executiva

O hidrogênio pode ser utilizado com segurança quando a prevenção é construída em camadas independentes. A primeira camada é a contenção; a segunda, a prevenção de misturas inflamáveis por ventilação e purga; a terceira, a detecção precoce; a quarta, o isolamento automático e o controle de fontes de ignição; e a quinta, a resposta de emergência. Nenhuma dessas camadas deve ser tratada isoladamente.

1. Projetar para evitar vazamentos, minimizar juntas desmontáveis e limitar o inventário liberável.
2. Selecionar materiais e componentes compatíveis com pressão, temperatura, pureza, ciclagem e mecanismos de fragilização por hidrogênio.
3. Eliminar bolsões no teto, garantir ventilação comprovada e direcionar alívios e purgas para local externo seguro.
4. Instalar sensores em posições definidas pelo caminho provável da pluma, fontes de vazamento e movimento real do ar.
5. Adotar válvulas de bloqueio fail-safe, lógica de desenergização segura, alarme audiovisual, reset manual e registro de eventos.
6. Manter inspeção, calibração, bump test, testes funcionais e gestão de mudanças ao longo de todo o ciclo de vida.

2. Propriedades do hidrogênio e implicações de segurança

As características físico-químicas do H₂ determinam o conceito de segurança. O gás apresenta baixa densidade, alta difusividade, ampla faixa de inflamabilidade e baixa energia mínima de ignição em condições próximas da mistura mais reativa. Em liberações de alta pressão, a geometria do jato e a turbulência podem dominar o comportamento inicial; em ambientes fechados, a flutuabilidade tende a conduzir o gás para as regiões altas, onde bolsões podem se formar.

Tabela 2 – Valores típicos em condições próximas do ambiente. A base de projeto deve usar dados rastreáveis e condições reais.

Propriedade	Valor de referência	Implicação para o projeto
Massa molar	≈ 2,016 g/mol	Baixíssima densidade e elevada tendência de ascensão após perda de momento do jato.
Faixa de inflamabilidade no ar	≈ 4% a 75% v/v	A ampla faixa exige prevenção de acúmulo e controle rigoroso de ignição.
Faixa de detonação frequentemente citada	≈ 18,3% a 59% v/v	Não deve ser usada isoladamente como limite de projeto; depende das condições e do confinamento.

Nº do Documento:

PPSI-CONTEC-H2-COM-1935-26-R00

Código do Cliente:
Data:

23/07/2026

Folha:

3/11

Propriedade	Valor de referência	Implicação para o projeto
Energia mínima de ignição	≈ 0,017–0,02 mJ	Descargas eletrostáticas e pequenos arcos podem ser suficientes em mistura favorável.
Temperatura de autoignição	dependente do método; tipicamente ≈ 500–585 °C	Superfícies quentes, compressão e equipamentos elétricos exigem avaliação específica.
Temperatura de ebulição	≈ –252,9 °C	No estado líquido, surgem riscos criogênicos, condensação de oxigênio e rápida expansão.
Chama	baixa visibilidade à luz do dia	Requer detecção de chama adequada; aproximação visual é insegura.
Toxicidade	não tóxico; asfixiante simples	Em confinamento, pode deslocar oxigênio e criar atmosfera simultaneamente inflamável e hipóxica.

Leitura correta dos limites: A faixa de 4% a 75% refere-se à concentração de hidrogênio no ar. Ela não deve ser confundida com teor de oxigênio. Limites de inflamabilidade, detonação e autoignição variam com pressão, temperatura, direção de propagação, diluentes e geometria; portanto, números de referência não substituem análise de consequências.

2.1 Perigos dominantes

Perigo	Mecanismo principal
Perda de contenção	vazamentos em conexões, selos, válvulas, reguladores, mangueiras e soldas defeituosas.
Incêndio em jato	ignição imediata de vazamento pressurizado, com radiação térmica localizada e chama pouco visível.
Deflagração ou detonação	ignição retardada de nuvem em ambiente confinado ou congestionado.
Sobrepresão	falha de regulador, aquecimento, bloqueio entre válvulas ou descarga inadequada de dispositivo de alívio.
Fragilização e fadiga	degradação de propriedades mecânicas sob combinação de material, tensão, pressão, temperatura e ciclos.
Risco criogênico	queimadura por frio, contração térmica, ebulição rápida e enriquecimento local de oxigênio no uso de LH ₂ .

3. Gestão de riscos e filosofia de proteção em camadas

A segurança deve ser demonstrável. A análise começa pela definição do inventário, pressões, temperaturas, vazões máximas de liberação, ocupação, confinamento, fontes de ignição e consequências. Em seguida, cada cenário é associado a barreiras preventivas e mitigadoras, com independência suficiente para evitar falhas de causa comum.

Tabela 3 – Estrutura recomendada de proteção em camadas.

Camada	Função	Exemplos de implementação
1. Projeto inerentemente mais seguro	Reduzir o perigo na origem	Menor inventário, menor pressão quando possível, linhas curtas, segregação e localização externa.
2. Contenção primária	Evitar liberação	Tubulação compatível, solda qualificada, redução de juntas, componentes certificados e controle de torque.
3. Controle de processo	Manter condições normais	Regulação em estágios, indicação de pressão, limites de operação, proteção contra retorno e supervisão.
4. Detecção e alarme	Identificar perda de controle	Sensores de H ₂ , prova de fluxo de ventilação, detecção de chama, autodiagnóstico e alarmes.
5. Intertravamento/ESD	Isolar e levar a estado seguro	Válvula fail-closed, corte de fontes de ignição, parada de processo e reset manual.
6. Mitigação física	Limitar consequências	Ventilação, alívio para local seguro, barreiras, distâncias de separação e resistência ao fogo.

Nº do Documento:	Código do Cliente:	Data:	Folha:
PPSI-CONTEC-H2-COM-1935-26-R00		23/07/2026	4/11

Camada	Função	Exemplos de implementação
7. Resposta e recuperação	Proteger pessoas e restabelecer com segurança	Evacuação, plano de emergência, bloqueio, investigação e gestão de mudanças.

3.1 Sequência mínima do ciclo de engenharia

- Definir premissas e limites de bateria, inventário, pressão, pureza e modos de operação.
- Executar HAZID/HAZOP e identificar cenários de vazamento, ignição, falha de ventilação e erro humano.
- Classificar áreas e avaliar dispersão, ventilação, alívios, distâncias e rotas de fuga.
- Definir matriz de causa e efeito e, quando aplicável, LOPA, SIL e Especificação de Requisitos de Segurança (SRS).
- Emitir projeto multidisciplinar: processo, mecânica, tubulação, elétrica, instrumentação, automação, civil e incêndio.
- Realizar FAT, inspeção de recebimento, testes de estanqueidade, SAT, comissionamento e treinamento.
- Operar com planos de inspeção, calibração, teste periódico, gestão de alarmes e Management of Change.

4. Detecção de vazamentos, sensores e alarmes

O detector é uma barreira de diagnóstico e não uma licença para tolerar vazamentos. Seu desempenho depende da tecnologia sensora, tempo de resposta, faixa, seletividade, temperatura, umidade, envenenamento, posicionamento, cobertura e manutenção. A quantidade de sensores deve ser definida por estudo de cobertura, e não apenas pela área do ambiente.

Critério	Pergunta de projeto	Risco de erro	Boa prática
Posicionamento	A pluma alcança o sensor antes de atingir concentração perigosa?	Sensor em zona morta ou fora do fluxo de ar	Instalar próximo a fontes prováveis e regiões altas, considerando jatos e ventilação.
Tecnologia	O princípio é adequado ao H ₂ e às interferências?	Falsa leitura, saturação ou envenenamento	Validar certificado, faixa, cross-sensitivity e condições ambientais.
Tempo de resposta	Detector + lógica + válvula atuam no tempo requerido?	Isolamento tardio	Calcular tempo de segurança e comprovar em SAT/proof test.
Manutenção	Há acesso, gás padrão e periodicidade definida?	Deriva não detectada	Bump test, calibração e registro rastreável.
Falha	Como o sistema reage a perda de sinal ou energia?	Falha silenciosa	Autodiagnóstico, alarme de falha, supervisão de laço e filosofia fail-safe.

4.1 Filosofia de setpoints

Como referência didática, publicações do H₂Tools apresentam arquiteturas com primeiro alarme em 25% do LFL (aproximadamente 1% v/v de H₂ no ar) e uma segunda atuação em 50% do LFL. Esses valores não são universais. O projeto deve considerar norma aplicável, tempo de mistura, retardo do sensor, tempo de fechamento da válvula, inventário liberável, ventilação, ocupação e consequência.

Regra de decisão: O setpoint deve resultar de uma análise de risco e de uma função de segurança verificável. Configurar o detector em “%LEL” sem confirmar que o instrumento, o gás de calibração e o fator específico para H₂ estão corretamente parametrizados pode produzir erro relevante.

4.2 Aceitação e manutenção

- Certificado para o gás, faixa e classificação da área de instalação.
- Teste de resposta com gás padrão, incluindo alarmes local e remoto, sirene, sinalizador e registros.
- Teste completo da cadeia sensor–controlador–relé/PLC–válvula–retorno de posição.

17. Verificação de falha de cabo, perda de alimentação, saturação, tempo de warm-up e bloqueios de manutenção.

18. Plano documentado de bump test, calibração, substituição de célula e proof test do intertravamento.

5. Ventilação, dispersão e classificação de áreas

A ventilação deve impedir concentração perigosa em condições previsíveis de vazamento e evitar acúmulo em vigas, forros, shafts, luminárias, dutos e outros pontos altos. A localização de tomadas e descargas de ar, o sentido de fluxo e a prova de funcionamento são tão importantes quanto a vazão nominal.

Tema	Requisito de engenharia	Falha recorrente
Captação	Posicionar exaustão em regiões altas e junto a fontes, sem criar bolsões.	Exaustor distante ou abaixo da camada acumulada.
Admissão	Introduzir ar de reposição de modo a varrer o volume e não curto-circuitar com a exaustão.	Entrada e saída próximas, deixando áreas sem varredura.
Descarga	Conduzir H ₂ e alívios ao exterior, para ponto seguro, afastado de ignição e tomadas de ar.	Descarga sob marquise, próxima a janela ou recirculação.
Confiabilidade	Supervisionar fluxo/pressão, falha de ventilador e posição de dampers.	Comando ligado sem confirmação de vazão real.
Equipamentos	Adequar motores, luminárias, eletrodutos, selagens e instrumentos à classificação de áreas.	Uso genérico de componente "à prova de explosão" sem certificado aplicável.
Manutenção	Permitir inspeção, limpeza, balanceamento e testes funcionais.	Sistema que perde desempenho sem alarme ou evidência.

Nota crítica sobre desligamento elétrico: Não se deve cortar automaticamente a única ventilação capaz de diluir o H₂ apenas porque ocorreu um alarme. Em muitos conceitos seguros, fecha-se a alimentação de gás, desenergizam-se cargas não adequadas à área e mantém-se a ventilação de emergência, desde que projetada e certificada para operar nessa condição. A sequência final deve ser definida por HAZOP/LOPA, classificação de áreas e matriz de causa e efeito.

5.1 Classificação de áreas

A classificação deve considerar grau e frequência da fonte de liberação, taxa de vazamento, pressão, ventilação, geometria e probabilidade de atmosfera explosiva. O desenho de classificação deve orientar todos os equipamentos elétricos e de instrumentação, inclusive caixas, prensa-cabos, selagens, motores, sensores, eletroválvulas e elementos instalados em painéis ou volumes enclausurados.

6. Tubulações, materiais, conexões e válvulas

A seleção de materiais para H₂ não pode ser reduzida à escolha genérica de "aço inoxidável". Pressão, temperatura, pureza, umidade, composição, tensão residual, dureza, acabamento, soldabilidade, frequência de ciclos e consequência de falha influenciam permeação, fadiga e fragilização assistida por hidrogênio.

Elemento	Diretriz	Evidência exigida
Tubulação/tubing	Dimensionar conforme código aplicável e compatibilidade com H ₂ .	Memorial de cálculo, especificação, certificados e rastreabilidade.
Soldas	Preferir juntas permanentes qualificadas onde manutenção não exija desmontagem.	WPS/PQR, qualificação de soldador/operador, inspeção e mapa de soldas.
Conexões mecânicas	Minimizar quantidade e padronizar fabricante/sistema.	Procedimento de montagem, torque/gap check quando aplicável e inspeção.
Válvulas de bloqueio	Baixa emissão, material compatível e posição segura de falha.	Datasheet, classe de pressão, certificação Ex da bobina/atuator e teste de fechamento.
Reguladores	Estágios adequados, alívio controlado e prevenção de sobrepressão a jusante.	Cv/vazão, estabilidade, creep, seat leakage e compatibilidade.

Nº do Documento:

PPSI-CONTEC-H2-COM-1935-26-R00

Código do Cliente:
Data:

23/07/2026

Folha:

6/11

Elemento	Diretriz	Evidência exigida
Dispositivos de alívio	Descarga dimensionada e roteada para local seguro.	Cenário de dimensionamento, set pressure e desenho do vent header.
Flexíveis/chicotes	Compatíveis, protegidos contra dobra, impacto e chicoteamento.	Certificados, vida útil, inspeção e retenção mecânica.

6.1 Integridade de juntas

Em redes de alta pureza e baixa tolerância a vazamento, soldagem orbital GTAW/TIG automática pode aumentar repetibilidade, rastreabilidade e controle de purga interna quando executada por procedimento qualificado. O processo, contudo, não elimina a necessidade de projeto correto, preparação, controle de oxigênio na purga, inspeção visual e teste de estanqueidade.

Princípio de projeto: Toda conexão desmontável deve ter uma justificativa funcional. Quanto menor o número de juntas, menor a população estatística de potenciais pontos de vazamento.

7. Cilindros, centrais, regulação e manuseio

Cilindros armazenam energia mecânica elevada e devem permanecer protegidos contra queda, impacto, aquecimento, corrosão e manuseio indevido. A central deve ser ventilada, sinalizada, segregada conforme riscos, acessível para emergência e protegida contra veículos e fontes de ignição.

19. Manter cilindros verticais e presos individualmente ou por sistema que impeça tombamento.
20. Transportar com capacete/protetor de válvula e carrinho apropriado; nunca arrastar, rolar pelo corpo ou içar pela válvula.
21. Verificar identificação do gás, pressão, validade da inspeção periódica, integridade da válvula e condição do lacre.
22. Impedir adaptação improvisada de roscas e conexões; a conexão deve ser específica para o serviço e o padrão adotado.
23. Abrir válvulas lentamente, posicionando o operador fora do eixo do regulador e sem aplicar óleo ou graxa.
24. Proteger chicotes contra dobra, torção e chicoteamento; substituir conforme vida útil e critério do fabricante.
25. Separar cilindros cheios, vazios, não conformes e aguardando devolução, mantendo rastreabilidade.

7.1 EPI e controles administrativos

O EPI complementa, mas não substitui, controles de engenharia. Para movimentação de cilindros, são normalmente necessários calçado de segurança, luvas adequadas, óculos de proteção e capacete conforme avaliação de riscos. Intervenções em vazamentos, atmosferas desconhecidas ou locais com deficiência de oxigênio exigem equipe de emergência treinada, monitoramento atmosférico e proteção respiratória selecionada por procedimento específico.

8. Purga, comissionamento e testes de estanqueidade

A transição direta entre ar e hidrogênio deve ser evitada. O sistema deve passar por uma etapa intermediária com gás inerte compatível, acompanhada de verificação analítica. O critério de aceitação não deve ser fixado apenas por "número de ciclos"; deve considerar volume morto, geometria, método de deslocamento ou pressurização/despressurização e leitura no ponto mais desfavorável.

Etapa	Objetivo	Controle mínimo
Limpeza e inspeção	Remover contaminantes e confirmar montagem.	Checklist, inspeção visual e liberação de QA/QC.
Teste de resistência/pressão	Demonstrar integridade mecânica.	Fluido, pressão, barreiras e procedimento conforme código aplicável.

Etapa	Objetivo	Controle mínimo
Teste de estanqueidade	Localizar ou quantificar vazamentos.	Solução formadora de bolhas compatível, queda de pressão ou método instrumental.
Inertização	Reduzir oxidante antes de admitir H ₂ .	Purga com gás inerte e medição de O ₂ em ponto representativo.
Admissão de H₂	Pressurizar sem formar mistura perigosa.	Sequência controlada, zona isolada, ventilação e monitoramento.
Retirada de serviço	Remover H ₂ antes de abrir o sistema.	Isolamento, despressurização para local seguro, purga e confirmação analítica.

Critério de oxigênio: Valores como O₂ < 5% aparecem em materiais didáticos como regra geral para determinadas purgas. Eles não devem ser adotados automaticamente. A concentração final aceitável deve ser definida pelo procedimento, pelo limite seguro de mistura, pela pressão/temperatura e pela norma do sistema específico.

8.1 Métodos de detecção de vazamento

26. Solução formadora de bolhas compatível: método localizado, simples e útil para conexões acessíveis.
27. Teste por queda de pressão: exige estabilização térmica, volume conhecido e critério de aceitação definido.
28. Espectrometria de massa com hélio: alta sensibilidade para sistemas de elevada integridade e pureza.
29. Detector portátil específico para H₂: útil para varredura, com limites de sensibilidade e calibração conhecidos.
30. Nunca utilizar chama para procurar vazamentos.

9. Intertravamentos, ESD e matriz de causa e efeito

O sistema instrumentado deve conduzir a instalação a um estado seguro, com resposta previsível a alarme, falha de energia, falha de sensor e perda de ventilação. A lógica precisa ser documentada, testável e protegida contra bypass não autorizado. Quando a função tiver requisito de integridade de segurança, o ciclo IEC 61508/61511 deve ser aplicado.

Tabela 4 – Exemplo conceitual. Setpoints, votação, tempos e ações finais devem ser definidos no projeto do empreendimento.

Condição	Deteção	Ações automáticas típicas	Retorno à operação
Normal	H ₂ abaixo do primeiro limiar; ventilação comprovada	Operação liberada e supervisão contínua	—
Pré-alarme	Exemplo: 25% LFL, conforme projeto	Alarme audiovisual; registro; diagnóstico; reforço de ventilação quando previsto	Após leitura normal e inspeção
Alarme alto	Exemplo: 50% LFL, conforme projeto	Fechar válvulas fail-safe; parar processo; desenergizar cargas não adequadas; manter mitigação segura	Reset manual após investigação e liberação
Falha de ventilação	Perda de fluxo/pressão ou falha do ventilador	Inibir admissão de H ₂ ; fechar alimentação conforme matriz; alarmar	Após prova de fluxo e teste funcional
Falha do detector/laço	Diagnóstico, cabo aberto/curto, perda de energia	Alarme de falha; ação fail-safe definida na SRS; impedir bypass permanente	Manutenção, calibração e teste integral

9.1 Requisitos mínimos da função de segurança

31. Válvula de isolamento localizada próxima à fonte e configurada para falhar fechada quando essa for a condição segura.
32. Confirmação de posição quando necessária para diagnóstico e permissivos.
33. Alimentação e relés/saídas com filosofia de falha definida; monitoramento de integridade do laço.
34. Sirene e sinalizador visíveis/audíveis nas rotas de saída, com distinção entre alarme e falha técnica.
35. Botão de emergência acessível em local seguro e integração com o plano de abandono.

Nº do Documento:	Código do Cliente:	Data:	Folha:
PPSI-CONTEC-H2-COM-1935-26-R00		23/07/2026	8/11

- 36. Reset manual local ou autorizado, proibindo religamento automático após alarme alto.
- 37. Bypass temporário controlado por permissão, prazo, compensações e registro.
- 38. FAT/SAT com injeção de sinal e teste real do elemento final, incluindo tempo total de resposta.

10. Resposta a emergências e retorno seguro

A primeira prioridade é proteger pessoas e evitar que uma liberação evolua. A equipe não deve se aproximar de uma possível chama de H₂ com base apenas na percepção visual. O isolamento da fonte somente deve ser tentado se puder ser realizado de posição segura e por pessoal treinado.

Situação	Ação imediata	Proibição/alerta
Alarme de H₂ sem chama confirmada	Evacuar, isolar área, acionar ESD remoto e emergência, manter mitigação prevista.	Não operar interruptores locais nem ingressar para “confirmar pelo cheiro”.
Vazamento pressurizado	Manter distância, eliminar ignição, interromper fonte remotamente se seguro.	Não apertar conexão pressurizada.
Chama de H₂	Acionar brigada; considerar manter queima controlada até isolar fonte; proteger exposições.	Não extinguir sem interromper gás, pois pode formar nuvem não queimada.
Cilindro aquecido	Evacuar, ampliar isolamento, resfriar exposições por equipe habilitada.	Não movimentar cilindro comprometido.
Deficiência de oxigênio	Resgate apenas por equipe preparada, com monitoramento e proteção respiratória apropriada.	Respirador filtrante não fornece oxigênio.
Pós-evento	Preservar evidências, investigar causa, testar barreiras e aplicar gestão de mudanças.	Não religar por simples desaparecimento do alarme.

10.1 Conteúdo mínimo do plano de emergência

- 39. Cenários, níveis de alarme, responsabilidades, cadeia de comunicação e contatos externos.
- 40. Mapa de válvulas, ESDs, pontos de reunião, rotas de fuga e zonas de isolamento.
- 41. Critérios para abandono, resgate, combate, resfriamento e monitoramento pós-evento.
- 42. Equipamentos de detecção portátil, câmera térmica/detector de chama e meios de comunicação adequados.
- 43. Exercícios periódicos, treinamento de contratadas e lições aprendidas.

11. Regulamentos, códigos e normas de referência

A matriz normativa deve ser definida para cada aplicação, jurisdição e fase do ciclo de vida. A relação abaixo é orientativa; títulos, escopo, adoção nacional e edição vigente devem ser confirmados na emissão do projeto.

Tabela 5 – Referências regulamentares nacionais de aplicação recorrente.

Referência	Aplicação principal	Observação de uso
NR-01	GRO/PGR e gerenciamento de riscos ocupacionais	Base para inventário de riscos e plano de ação.
NR-06	Equipamentos de proteção individual	Seleção, fornecimento, treinamento e controle.
NR-10	Segurança em instalações e serviços em eletricidade	Integração com classificação de áreas e desenergização.
NR-13	Caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos	Aplicável conforme enquadramento dos equipamentos pressurizados.
NR-20	Inflamáveis e combustíveis	Gestão, capacitação, prontuário e segurança operacional.
NR-23	Proteção contra incêndios	Medidas de prevenção, resposta e abandono.

Nº do Documento:	Código do Cliente:	Data:	Folha:
PPSI-CONTEC-H2-COM-1935-26-R00		23/07/2026	9/11

Referência	Aplicação principal	Observação de uso
NR-26	Sinalização de segurança e produtos químicos	Identificação e comunicação de perigos.
NR-33	Trabalhos em espaços confinados	Reconhecimento, avaliação, monitoramento, permissão e resgate.

11.1 Referências técnicas nacionais e internacionais

Tabela 6 – Códigos e normas técnicas para seleção conforme o escopo.

Referência	Aplicação principal	Observação de uso
ABNT NBR IEC 60079 (série)	Atmosferas explosivas	Classificação de áreas, projeto, seleção, instalação, inspeção e manutenção Ex.
ISO/TR 15916	Considerações básicas de segurança de sistemas de H ₂	Referência transversal para perigos e medidas de controle.
ISO 26142	Aparelhos fixos de detecção de hidrogênio	Desempenho, instalação e aplicação de detecção.
ISO 22734	Geradores de hidrogênio por eletrólise da água	Aplicável a sistemas eletrolisadores conforme escopo.
IEC 61508 / IEC 61511	Segurança funcional e SIS de processo	Aplicável quando houver funções instrumentadas com integridade requerida.
ASME B31.12	Tubulações e dutos de hidrogênio	Código específico para determinadas aplicações de H ₂ .
ASME B31.3	Tubulação de processo	Aplicável a redes de processo conforme escopo e jurisdição.
NFPA 2 / CGA G-5.5	Tecnologias de H ₂ e sistemas de vent	Referências internacionais para instalações, separações e descarga segura.

11.2 Notas de validação editorial

Correção regulatória: Em passagem introdutória da publicação-base, as descrições de NR-13 e NR-33 aparecem invertidas. Para aplicação: NR-13 trata de caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento; NR-33 trata de segurança e saúde em trabalhos em espaços confinados.

44. Números apresentados em material didático devem ser rastreados até a fonte e confrontados com a edição vigente da norma.
45. Distâncias de separação não podem ser selecionadas apenas pelo volume geométrico; massa, pressão, armazenamento, cenário de liberação e regra local devem ser avaliados.
46. Certificação Ex deve cobrir equipamento, gás/grupo, classe de temperatura, EPL/zona, ambiente e forma de instalação.
47. O licenciamento depende da autoridade local, Corpo de Bombeiros, órgão ambiental, município e enquadramentos específicos do empreendimento.

12. Checklist de aplicação em projetos e instalações

A lista a seguir serve como roteiro de verificação preliminar. Cada item deve ser convertido em requisito, responsável, evidência e critério de aceitação no plano de qualidade e comissionamento.

Tabela 7 – Checklist preliminar de segurança e prontidão documental (parte 1 de 2).

Nº	Verificação	Evidência esperada	Status
01	Inventário, pressão, temperatura, vazão e modos de operação definidos	PFD/P&ID, memorial e lista de linhas	[]
02	HAZID/HAZOP e cenários de liberação aprovados	Relatório e ações encerradas	[]
03	Classificação de áreas emitida	Planta, memorial e lista de equipamentos Ex	[]
04	Ventilação dimensionada e cobertura avaliada	Memorial, balanceamento e prova de fluxo	[]

Nº do Documento:	Código do Cliente:	Data:	Folha:
PPSI-CONTEC-H2-COM-1935-26-R00		23/07/2026	10/11

Nº	Verificação	Evidência esperada	Status
05	Vent e alívios conduzidos a local seguro	Isométricos, cálculo e análise de dispersão	[]
06	Materiais compatíveis com H ₂ e regime de serviço	Especificações e certificados	[]
07	Juntas minimizadas e soldagem qualificada	WPS/PQR, qualificações e mapa de soldas	[]
08	Proteção contra sobrepressão definida	Cálculo, datasheets e certificados	[]
09	Sensores posicionados por estudo de cobertura	Layout, datasheets e relatório de cobertura	[]

12.1 Checklist – continuação

Tabela 7 – Checklist preliminar de segurança e prontidão documental (parte 2 de 2).

Nº	Verificação	Evidência esperada	Status
10	Setpoints e tempos definidos por análise	SRS/matriz de causa e efeito	[]
11	Válvulas fail-safe e retorno de posição testados	FAT/SAT e curvas de tempo	[]
12	Alarmes sonoro e luminoso identificáveis	Teste funcional e mapa de audibilidade/visibilidade	[]
13	Lógica preserva ventilação segura durante emergência	HAZOP e teste da sequência	[]
14	Teste de pressão, estanqueidade e purga aprovados	Procedimentos e registros QA/QC	[]
15	Calibração, bump test e proof test planejados	Plano de manutenção e certificados	[]
16	Procedimentos operacionais e de emergência emitidos	POPs, plano de resposta e treinamento	[]
17	Licenças e requisitos de autoridades atendidos	AVCB/CLCB, licenças e aprovações aplicáveis	[]
18	Databook e gestão de mudanças implantados	Dossiê final, as built e MOC	[]

13. Conclusão técnica

A segurança do hidrogênio depende da integração entre processo, mecânica, tubulação, elétrica, instrumentação, automação, ventilação, proteção contra incêndio, operação e manutenção. A maior vulnerabilidade surge quando uma barreira é tratada como suficiente: detector sem ventilação comprovada, válvula sem teste do elemento final, equipamento Ex sem classificação de áreas, procedimento sem verificação analítica ou desligamento elétrico que remove a própria mitigação necessária.

Uma instalação robusta reduz o inventário liberável, impede a formação de atmosfera inflamável, detecta desvios precocemente, isola a fonte, preserva sistemas de mitigação seguros e exige comprovação periódica de desempenho. Esse conjunto deve ser documentado em uma matriz de requisitos e entregue em databook rastreável.

14. Referências consultadas

PIMENTA NEVES JR., Newton; ELIZIÁRIO, Sayonara Andrade; FERNANDES, Júlia Teixeira; MURTA, Aurélio Lamare Soares. Princípios básicos de segurança do hidrogênio. Coleção 1: Conceitos do H₂ Power-to-X, Volume 6. Brasília-DF: LaSUS FAU UnB, 2023.

Projeto H₂Brasil / International PtX Hub. Princípios básicos de segurança do hidrogênio – Volume 6. Disponível em: https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2024/06/ENTREGA_28-12-23_-Livro-06-Col-1_completo_JTF_NPNH.pdf. Acesso em: 23 jul. 2026.

U.S. Department of Energy. Safe Use of Hydrogen. Disponível em: <https://www.energy.gov/cmei/fuels/safe-use-hydrogen>. Acesso em: 23 jul. 2026.

H₂Tools. Hydrogen Compared to Other Fuels; Hydrogen Flames; Hydrogen Leak Detection. Pacific Northwest National Laboratory. Disponível em: <https://h2tools.org/>. Acesso em: 23 jul. 2026.

RIVKIN, Carl et al. Hydrogen Technologies Safety Guide. National Renewable Energy Laboratory, 2015. Disponível em: <https://h2tools.org/sites/default/files/60948.pdf>.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Normas Regulamentadoras vigentes, especialmente NR-01, NR-06, NR-10, NR-13, NR-20, NR-23, NR-26 e NR-33. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em: 23 jul. 2026.

Normas e códigos indicados no item 11 devem ser consultados em suas fontes oficiais e edições vigentes antes da aplicação.

Nº do Documento:	Código do Cliente:	Data:	Folha:
PPSI-CONTEC-H2-COM-1935-26-R00		23/07/2026	11/11

Direitos autorais: A publicação de referência declara proteção pela Lei nº 9.610/1998 e solicita autorização dos autores para reprodução parcial ou integral. Este documento apresenta organização e redação técnica próprias, mantém os créditos da obra e orienta a consulta ao original.