



Grupo I Cinel
Formandos

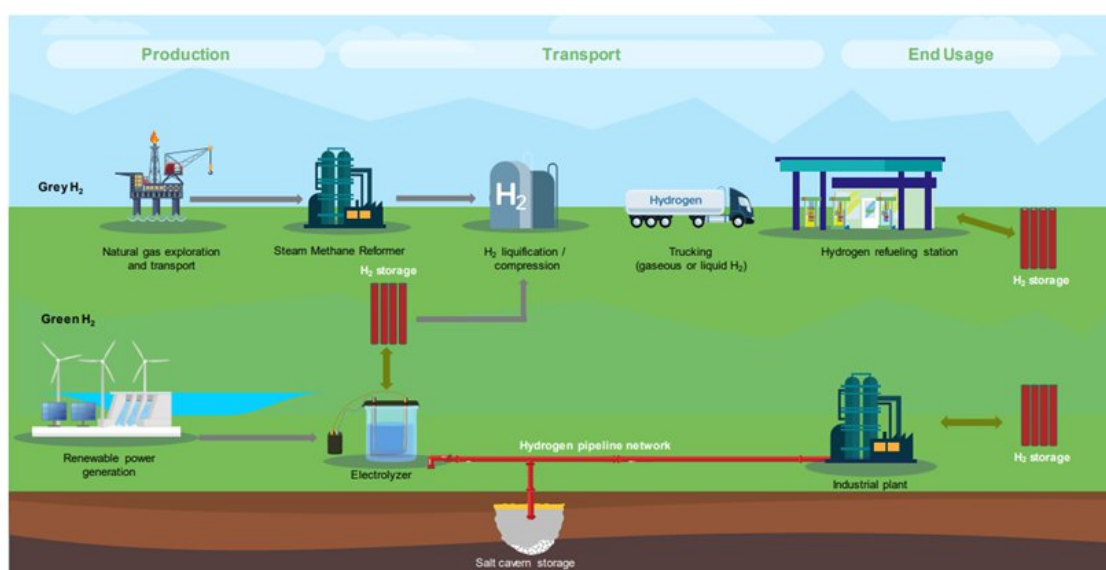


A Tecnologia e o Futuro num só Centro

Sebenta

Unidade Curricular 11031

Armazenamento de hidrogénio verde – Condições de instalação e funcionamento



1 - Pressões de armazenamento do hidrogénio;

[CONFERÊNCIA: Hidrogénio: que caminho para Portugal?](#)

O armazenamento de **hidrogénio comprimido (gasoso)** é uma das formas mais comuns e eficientes, especialmente para aplicações em veículos e instalações estacionárias com procura variável.

As pressões utilizadas são geralmente muito elevadas para maximizar a densidade de energia, ou seja, armazenar a maior quantidade de hidrogénio no menor volume possível.

As pressões de armazenamento mais utilizadas para o hidrogénio gasoso são:

- **Alta Pressão (Gás Comprimido - CGH₂):**
- **350 a 700 bar** (aproximadamente 5.000 a 10.000 psi).
- Os reservatórios de **700 bar** são considerados a solução mais avançada e são frequentemente utilizados em **automóveis** e **veículos comerciais** com células de combustível.
- Reservatórios com pressões mais baixas (como **200 bar**) também podem ser usados para armazenamento estacionário ou onde a procura não é tão elevada.



Outros Métodos de Armazenamento e Suas Pressões

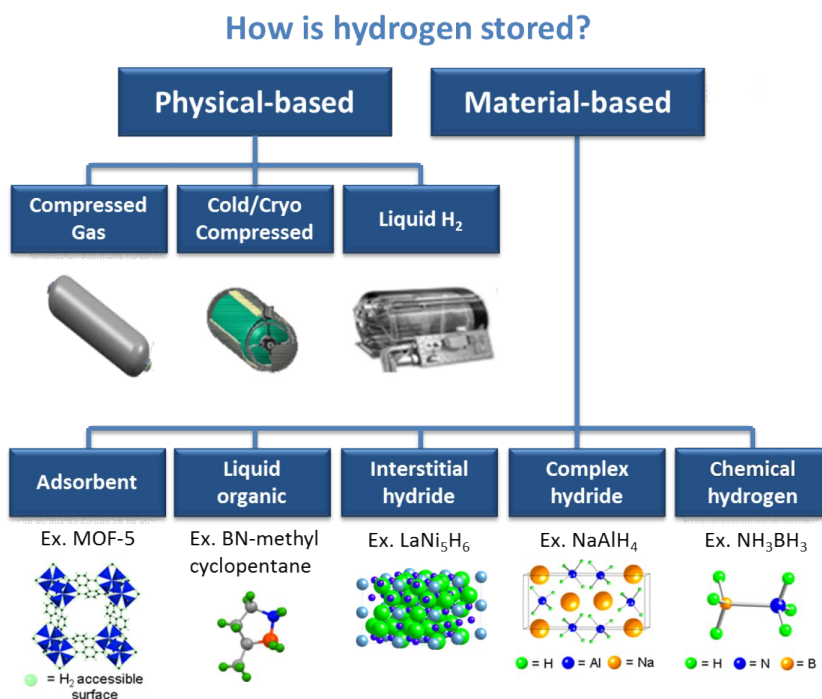
O hidrogénio pode ser armazenado de outras formas, com requisitos de pressão e temperatura distintos:

- **Hidrogénio Líquido (LH₂):**
- Requer **temperaturas criogénicas** (extremamente baixas, cerca de -253°C).
- A pressão de operação nestes tanques criogénicos é **muito baixa** (por exemplo, em torno de **5 bar** ou 72 psi), mas exige um sistema constante de refrigeração e isolamento. Este método é mais denso em energia do que o gás comprimido, sendo usado para grandes volumes e transporte de longa distância.
- **Armazenamento em Estado Sólido (Hidretos Metálicos, etc.):**

- O hidrogénio é quimicamente absorvido ou adsorvido em materiais sólidos (como hidretos metálicos).
- O armazenamento é geralmente feito a **baixas pressões** (por vezes **menos de 10 bar**) e a temperatura controlada. Este método é considerado muito seguro, pois o risco de fugas é reduzido.

A escolha da pressão e do método de armazenamento depende da **aplicação específica** (móvel ou estacionária), da **quantidade** de hidrogénio a armazenar, e de considerações de **custo e segurança**.

1.1 Formas de armazenamento do hidrogénio;



O armazenamento de **hidrogénio comprimido (gasoso)** é uma das formas mais comuns e eficientes, especialmente para aplicações em veículos e instalações estacionárias com procura variável.

As pressões utilizadas são geralmente muito elevadas para maximizar a densidade de energia, ou seja, armazenar a maior quantidade de hidrogénio no menor volume possível.

As pressões de armazenamento mais utilizadas para o hidrogénio gasoso são:

- **Alta Pressão (Gás Comprimido - CGH2):**
- **350 a 700 bar** (aproximadamente 5.000 a 10.000 psi).

- Os reservatórios de **700 bar** são considerados a solução mais avançada e são frequentemente utilizados em **automóveis** e **veículos comerciais** com células de combustível.
- Reservatórios com pressões mais baixas (como **200 bar**) também podem ser usados para armazenamento estacionário ou onde a procura não é tão elevada.

Outros Métodos de Armazenamento e Suas Pressões

O hidrogénio pode ser armazenado de outras formas, com requisitos de pressão e temperatura distintos:

- **Hidrogénio Líquido (LH2):**
- Requer **temperaturas criogénicas** (extremamente baixas, cerca de -253°C).
- A pressão de operação nestes tanques criogénicos é **muito baixa** (por exemplo, em torno de **5 bar** ou 72 psi), mas exige um sistema constante de refrigeração e isolamento. Este método é mais denso em energia do que o gás comprimido, sendo usado para grandes volumes e transporte de longa distância.
- **Armazenamento em Estado Sólido (Hidretos Metálicos, etc.):**
- O hidrogénio é quimicamente absorvido ou adsorvido em materiais sólidos (como hidretos metálicos).
- O armazenamento é geralmente feito a **baixas pressões** (por vezes **menos de 10 bar**) e a temperatura controlada. Este método é considerado muito seguro, pois o risco de fugas é reduzido.

A escolha da pressão e do método de armazenamento depende da **aplicação específica** (móvel ou estacionária), da **quantidade** de hidrogénio a armazenar, e de considerações de **custo e segurança**.

1.2 Medição e controlo;



A **medição e controlo** são elementos absolutamente cruciais na cadeia de valor do hidrogénio, desde a sua produção (eletrólise) até ao consumo final (pilhas de combustível, veículos). Dada a natureza volátil e as altas pressões de armazenamento do hidrogénio, a instrumentação de precisão é vital para garantir a **segurança**, a **eficiência** e a **pureza** do gás.

1. Medição Essencial para Controlo e Segurança

O controlo rigoroso dos processos requer a medição constante de várias variáveis operacionais e de segurança.

Variável	Instrumentação Chave	Objetivo do Controlo
Pressão	Sensores de Pressão de Alta Resistência: Transmissores piezoresistivos desenvolvidos para resistir à fragilização por hidrogénio e a pressões de até 700-1000 bar .	Essenciais em tanques de armazenamento (veículos e estacionários) e tubagens. Permitem o controlo do enchimento e a ativação de válvulas de segurança.
Temperatura	Sensores de Temperatura (PT100/Termopares): Usados em diversas fases.	No hidrogénio líquido ($\sim -253^{\circ}\text{C}$), monitorizam a temperatura criogénica. Na compressão e nas células de combustível, controlam a temperatura para otimizar a eficiência e a longevidade dos componentes.
Caudal/Fluxo	Medidores de Caudal: Tecnologias como turbina, coriolis ou ultrassónicas.	Medem o volume de hidrogénio produzido (em eletrolisadores) ou consumido (em células de combustível e postos de abastecimento) para faturação e controlo de inventário.
Deteção de Fugas (Segurança)	Detetores de Gás H₂: Sensores catalíticos, eletroquímicos ou semicondutores.	O hidrogénio é inodoro e incolor, e inflama-se facilmente. Os detetores de H ₂ são colocados nos pontos mais altos das instalações (o H ₂ é muito leve e sobe) para detetar concentrações que possam atingir o limite de inflamabilidade.

2. Controlo da Qualidade e Pureza

A pureza do hidrogénio é crítica, especialmente para a tecnologia de **células de combustível**, onde impurezas podem danificar ou "envenenar" os catalisadores.

- **Análise de Pureza:**
- **Cromatografia Gasosa (GC):** Utilizada para medir a concentração de **impurezas** como CO, CO₂, H₂O (humidade), O₂, e compostos de enxofre.
- **Controlo de Humidade (Ponto de Orvalho):** Transmissores de ponto de orvalho de alta pressão garantem que a humidade é mantida abaixo dos limites críticos, prevenindo o congelamento e a degradação da célula.

- **Injeção em Redes de Gás Natural (Blending):** É necessário medir a **concentração de hidrogénio** injetado nas redes existentes de gás natural para garantir que a mistura é segura e não afeta a integridade dos gasodutos ou dos equipamentos dos utilizadores finais.

3. Desafios Tecnológicos na Medição com Hidrogénio

O hidrogénio apresenta desafios únicos para a instrumentação padrão, exigindo sensores e materiais especializados:

- **Fragilização por Hidrogénio:** O hidrogénio pode penetrar e fragilizar muitos metais sob alta pressão, comprometendo a integridade e a precisão dos sensores de pressão. Os fabricantes usam **materiais especiais** (ligas metálicas, revestimentos de ouro ou cerâmica) para mitigar este efeito.
- **Permeação:** O hidrogénio tem uma alta capacidade de se difundir através de materiais não metálicos (como vedações), o que exige que os invólucros dos sensores e as vedações sejam projetados para serem **herméticos** ao gás.
- **Chama Invisível:** A chama do hidrogénio é quase invisível à luz do dia. Os sistemas de controlo de segurança devem incluir **detetores de chama** especializados, baseados em tecnologia infravermelha (IR) ou ultravioleta (UV), para identificar e reagir a incêndios.

1.3 Sistemas de operação e segurança;



A operação e a segurança nos sistemas de hidrogénio são regidas por princípios rigorosos, dada a natureza do gás – extremamente leve, inodoro, altamente inflamável (com uma ampla faixa de inflamabilidade) e armazenado frequentemente sob alta pressão.

Os sistemas de segurança e operação visam prevenir três riscos principais: **fugas**, **incêndios/explosões** e a **fragilização dos materiais** (danos estruturais causados pelo H₂ em metais).

Sistemas de Operação e Controlo Essenciais

A operação eficiente de qualquer instalação de hidrogénio depende de componentes e sistemas de controlo que garantam o manuseamento seguro e a distribuição controlada do gás.

Válvulas Especializadas:

- São cruciais em toda a cadeia de valor (produção, armazenamento, distribuição).
- As **válvulas de corte de segurança** e as **válvulas solenoides** devem ser projetadas para resistir a altas pressões e à fragilização pelo hidrogénio.
- As **válvulas de alívio de pressão (PSVs)** são dispositivos mecânicos vitais que libertam o excesso de pressão do sistema para evitar falhas catastróficas.

Monitorização em Tempo Real (Instrumentação):



- Nos postos de abastecimento, os **dispensadores comunicam com o veículo** para monitorizar a pressão e a temperatura durante o enchimento, desligando-se automaticamente em caso de anomalia (fuga ou sobrepressão).
- O **controlo de pureza** é fundamental (ISO 14687 e outras normas) para evitar que impurezas contamine as células de combustível e danifiquem os catalisadores.

1. **Gestão da Pressão e Temperatura:**

- Para o **hidrogénio gasoso (CGH₂) a 700 bar**, os sistemas de operação garantem que os ciclos de compressão e descompressão ocorram dentro dos limites seguros, para proteger tanto o recipiente como os equipamentos.
- No **hidrogénio líquido (LH₂) a -253 °C**, a temperatura e a taxa de "evaporação" (boil-off) são monitorizadas para minimizar perdas e garantir a integridade criogénica.

Sistemas de Segurança e Medidas Preventivas

A segurança é a prioridade máxima e é sustentada por rigorosas diretrizes e normas internacionais (como as da ISO e ASME).

Deteção de Fugas e Incêndios:



- **Detetores de H₂ (Gás):** O hidrogénio sobe rapidamente (cerca de 10 m/s), pelo que os detetores devem ser instalados no **ponto mais alto** de áreas confinadas (teto ou zonas de ventilação) para detetar o gás antes que atinja uma concentração perigosa.
- **Detetores de Chama:** Devido à chama do hidrogénio ser quase invisível, são usados detetores especializados (UV/IR) para identificar incêndios e ativar sistemas de extinção ou corte de emergência.



Ventilação Adequada:

- As instalações de hidrogénio devem ser localizadas em **áreas externas bem ventiladas**.
- Em espaços confinados, a ventilação deve ser projetada para extrair o gás de cima para baixo, garantindo que o H₂ acumulado no teto seja rapidamente removido.

Integridade do Equipamento (Fragilização):

- É obrigatório o uso de **materiais compatíveis** (aço inoxidável especializado, revestimentos internos, e tanques de compósito Tipo III e IV) para resistir à fragilização do hidrogénio, especialmente sob alta pressão.
- As **vedações e os sensores** devem ser especificamente concebidos para serem herméticos ao gás, dada a sua pequena dimensão molecular.

Aterramento (Aterramento) e Antiestática:

- Devido à baixa energia de ignição do hidrogénio, a formação de faíscas por eletricidade estática é um risco sério.
- Todos os equipamentos e tubagens devem estar devidamente **aterrados** (ligados à terra).
- O pessoal deve usar **vestuário de segurança ignífugo e antiestático** durante o manuseamento.

Desligamento de Emergência (ESD):

- Todos os sistemas devem incluir um sistema de **desligamento de emergência (ESD)** que, em caso de alarme (fuga, incêndio, sobrepressão), interrompe imediatamente o fornecimento de hidrogénio e isola o sistema.

A segurança operacional do hidrogénio é, portanto, uma combinação de instrumentação de alta precisão, escolha correta de materiais e protocolos de operação rigorosos, todos baseados em normas de segurança funcionais internacionais (como a **IEC 61508/61511**).

2 - Sistemas de enchimento de garrafas



Os **sistemas de enchimento de garrafas (cilindros)** de hidrogénio são instalações críticas na cadeia de abastecimento, responsáveis por comprimir e transferir o H₂ para reservatórios móveis a **alta pressão**, garantindo a segurança e a precisão em todo o processo.

Estes sistemas são usados para fornecer hidrogénio a clientes industriais, laboratórios ou como parte de uma "conduta virtual" (transporte rodoviário ou ferroviário de cilindros agrupados) para postos de abastecimento ou utilizadores finais.

1. Componentes Chave do Sistema de Enchimento

Um sistema de enchimento de cilindros de hidrogénio de alta pressão é complexo e integra vários componentes focados na segurança e no controlo:

- **Fonte de Hidrogénio:** Pode ser hidrogénio produzido no local (por eletrólise) ou entregue por atrelados tubulares (trailers) e armazenado localmente a pressões intermédias.
- **Compressores de Hidrogénio:** Essenciais para elevar a pressão do H₂ desde o armazenamento inicial até à pressão final de enchimento, que pode ser de **200 bar, 300 bar ou até 700 bar** para cilindros mais modernos.
- *Nota:* Estes compressores são especializados para evitar a **contaminação por óleo** (crítica para aplicações de células de combustível) e para resistir à **fragilização por hidrogénio**.
- **Rampas de Enchimento (Manifolds):** Estruturas que ligam a saída do compressor aos cilindros a serem enchidos. Possuem válvulas de corte, manómetros e ligações de segurança.

- **Válvulas de Controlo e Segurança:** Incluem válvulas de isolamento, válvulas de excesso de fluxo (em caso de rutura de mangueira) e **válvulas de alívio de pressão (PSVs)** para proteger o sistema contra sobrepressão.
- **Instrumentação e Controlo (PLC):** O enchimento é monitorizado e controlado por um **Sistema de Controlo Lógico Programável (PLC)**. Este sistema supervisiona a pressão, temperatura e o volume de enchimento, **interrompendo automaticamente** o processo ao atingir a pressão e/ou peso alvo.
- **Sensores de Temperatura:** Usados para monitorizar o aquecimento do gás. A compressão do hidrogénio gera calor, e este deve ser controlado para garantir um enchimento seguro e eficiente.

2. Procedimento de Enchimento e Segurança

Em Portugal, o enchimento e a segurança de garrafas de gás (cilindros), incluindo hidrogénio, são regulados por um conjunto de leis, decretos-lei, portarias e normas técnicas que visam proteger a vida humana, o ambiente e os bens. Embora não haja um diploma específico *apenas* para o hidrogénio, este gás é abrangido pela legislação geral de gases sob pressão e por normas técnicas europeias e internacionais.

Os requisitos são rigorosos e envolvem diversas entidades reguladoras, como a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), a Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT) e o Instituto Português da Qualidade (IPQ).

1. Regulamentação Aplicável em Portugal (Exemplos)

- **Decreto-Lei n.º 90/2010:** Transpõe a Diretiva Europeia 2008/68/CE relativa ao transporte terrestre de mercadorias perigosas, abrangendo o hidrogénio.
- **Decreto-Lei n.º 158/2006:** Aplica as regras de conceção, construção e avaliação de conformidade de equipamentos sob pressão transportáveis (TPED - Transportable Pressure Equipment Directive).
- **Decreto-Lei n.º 131/2019:** Estabelece o regime de segurança de exploração e de armazenamento de gases combustíveis em instalações de armazenagem e de consumo, embora mais focado em gases de uso doméstico, os princípios de segurança são análogos.
- **Portarias Específicas:** Relacionadas com equipamentos sob pressão, inspeções e requisitos de segurança industrial.
- **Normas Europeias (EN) e Internacionais (ISO):**
- **EN 12816:** Recipientes para transporte de gás comprimido – Inspeção periódica e ensaio de garrafas de gás de aço sem costura.
- **ISO 14687:** Especificação de Qualidade do Hidrogénio (crucial para aplicações em células de combustível).

- **Normas da European Industrial Gases Association (EIGA):** Embora não sejam legislação, são amplamente adotadas pela indústria como boas práticas de segurança.

2. Requisitos de Segurança e Procedimentos de Enchimento



Os procedimentos de enchimento e segurança devem incorporar as seguintes diretrizes, que são consistentes com as melhores práticas internacionais:

a) Certificação e Manutenção do Equipamento e Cilindros

- **Certificação CE:** Todos os equipamentos sob pressão (cilindros, válvulas, compressores) devem ter a **marcação CE** e cumprir os requisitos da Diretiva de Equipamentos Sob Pressão Transportáveis (TPED).
- **Teste Hidrostático Periódico:** Os cilindros devem ser **testados periodicamente** por entidades acreditadas. A data do último teste e a próxima data de teste devem estar claramente marcadas no cilindro.
- **Inspeção Visual Rigorosa:** Antes de cada enchimento, o cilindro deve ser inspecionado visualmente para detetar danos, corrosão ou deformações. A **válvula do cilindro** deve ser verificada quanto a fugas ou danos.
- **Manutenção Preventiva:** A linha de enchimento completa (compressores, tubagens, válvulas, mangueiras) deve seguir um plano de manutenção preventiva rigoroso, conforme descrito anteriormente.

b) Controlo do Processo de Enchimento

- **Identificação do Gás:** Garantir que o cilindro é para hidrogénio (cor amarela, rótulo) e que o gás a ser enchido é hidrogénio.
- **Controlo de Pressão:** A pressão máxima de enchimento não deve exceder a pressão de trabalho (WP) do cilindro.
- **Controlo de Temperatura:** O sistema deve monitorizar a temperatura do gás durante o enchimento para evitar o sobreaquecimento, o que pode levar a um enchimento excessivo após o arrefecimento (sobrepresão).
- **Sistema de Controlo Automatizado:** Utilização de PLC (Controlo Lógico Programável) para gerir o processo, com paragem automática em caso de anomalia (sobrepresão, sobretemperatura, fugas).
- **Verificação de Fugas:** Após a ligação e pressurização inicial, e antes do enchimento total, deve ser efetuada uma verificação de fugas nas ligações.

c) Segurança das Instalações e Pessoal

- **Localização e Ventilação:** As instalações de enchimento de hidrogénio devem estar localizadas em **áreas externas bem ventiladas** ou em edifícios com ventilação forçada adequada para o topo, conforme regulamentação de segurança contra incêndios e explosões.
- **Deteção de Gás e Chama:** Instalação obrigatória de **detetores de hidrogénio** (gás) e **detetores de chama** (UV/IR) com ligação a sistemas de alarme e ESD (Desligamento de Emergência).
- **Aterramento:** Todo o equipamento deve estar devidamente **aterrado** para prevenir a acumulação de cargas eletrostáticas e faíscas.
- **Equipamento Elétrico Atex:** O equipamento elétrico em zonas potencialmente explosivas deve ser **certificado ATEX** (à prova de explosão).



Imagem retirada de:

<https://www.onedirect.pt/produtos/i-safe-is330-1-sem-camara>

- **Formação e Treinamento:** O pessoal envolvido no enchimento e manuseio de hidrogénio deve receber **formação específica e certificada** sobre os riscos do hidrogénio, procedimentos de enchimento, uso de EPI e planos de emergência. A ACT fiscaliza a formação em segurança no trabalho.

- **EPI:** Utilização obrigatória de vestuário de segurança ignífugo e antiestático, luvas de segurança, proteção ocular e facial.
- **Planos de Emergência:** Desenvolvimento e testes regulares de planos de emergência para lidar com fugas, incêndios ou outros acidentes.

d) Documentação e Rastreabilidade

- **Registo de Enchimento:** Manutenção de registos detalhados de cada cilindro enchido (data, operador, volume/peso, pressão final, número de série do cilindro).
- **Avaliação de Riscos:** Elaboração e revisão periódica de **Avaliações de Risco** específicas para a operação de enchimento, conforme a legislação de segurança e saúde no trabalho.

O não cumprimento destas normas pode resultar em coimas pesadas, sanções legais e, mais criticamente, em acidentes graves. As empresas operadoras são responsáveis por garantir que todos os procedimentos e requisitos são escrupulosamente seguidos.

2.1 Procedimentos de segurança e requisitos de enchimento;

Os procedimentos de segurança e os requisitos de enchimento de cilindros de hidrogénio são regidos por normas internacionais e práticas industriais rigorosas, dada a alta pressão e a inflamabilidade do gás. O objetivo é evitar fugas, incêndios, explosões e a falha estrutural do equipamento.

Abaixo estão os principais procedimentos e requisitos para o enchimento seguro de garrafas/cilindros de hidrogénio comprimido (CGH2):

1. Requisitos Preliminares e Inspeção do Cilindro

Antes de qualquer enchimento, é obrigatório verificar a integridade e a conformidade do cilindro.

Requisito/Procedimento Detalhe de Segurança

Identificação do Gás	Confirmar o rótulo e a cor de identificação do cilindro (normalmente Amarelo para H2), para evitar o enchimento com o gás errado.
Validade do Teste Hidrostático	Verificar a marcação da data do último teste . Cilindros de alta pressão, como os de H2, devem ser testados periodicamente (ex: a cada 5 anos) para garantir que podem suportar a pressão nominal. Um cilindro fora da validade não pode ser enchido.
Compatibilidade de Pressão	A Pressão Máxima de Enchimento não deve, em circunstância alguma, exceder a pressão nominal de serviço (WP - Working Pressure) marcada no cilindro.
Inspeção Visual	O cilindro deve ser inspecionado quanto a sinais de corrosão,

mossas, fissuras ou danos na válvula e no corpo. Quaisquer danos exigem a recusa do enchimento.

Válvula de Proteção A **tampa de proteção da válvula** (capacete) deve ser instalada em todos os cilindros durante o armazenamento e transporte, e só deve ser removida no momento do enchimento/uso.

Exportar para Sheets

2. Procedimentos de Segurança e Operação no Enchimento

O processo de enchimento deve seguir um protocolo rigoroso para mitigar os riscos inerentes à alta pressão e à inflamabilidade do hidrogénio.

a) Prevenção de Faíscas e Eletricidade Estática

- **Aterramento (Ligação à Terra):** Todas as rampas de enchimento, compressores e cilindros devem estar **devidamente aterrados** para dissipar qualquer carga estática.
- **Zona de Não-Fumar:** Proibição estrita de fumar e de qualquer chama aberta na área de enchimento.
- **Controlo de Fontes de Ignição:** Equipamento elétrico na área classificada como perigosa (Zona 1 ou 2) deve ser **à prova de explosão (Ex)**.

b) Controlo de Pressão e Temperatura

- **Enchimento Controlado:** O H₂ deve ser injetado **lentamente e por estágios** (enchimento sequencial ou cascata) para controlar o aumento de temperatura. O aquecimento excessivo pode danificar o cilindro e o H₂ é um gás que, sob compressão, aquece (efeito Joule-Thomson positivo).
- **Monitorização em Tempo Real:** Um **Sistema de Controlo Lógico Programável (PLC)** monitoriza e regista a pressão, a temperatura e a taxa de fluxo.
- **Desligamento Automático:** O sistema deve estar equipado com um **desligamento de emergência (ESD)** que interrompe o fluxo de gás automaticamente se a pressão ou a temperatura excederem os limites de segurança.

c) Gestão de Fugas

- **Localização e Ventilação:** A área de enchimento deve estar em um local **extremamente bem ventilado** ou ao ar livre. Em recintos fechados, deve haver ventilação forçada para o topo (onde o H₂ se acumula).
- **Deteção de Gás: Detetores de H₂** devem ser instalados nos pontos mais altos do local.
- **Teste de Fugas:** Após ligar o cilindro à rampa e pressurizar, deve ser realizado um **teste de fugas** nas conexões (ex: com solução de bolhas ou detetores portáteis) antes de iniciar o enchimento completo.

d) Manuseamento e Formação

- **Equipamento de Proteção Individual (EPI):** O pessoal deve usar vestuário de proteção adequado (antiestático, luvas de segurança, óculos de segurança).
- **Formação Específica:** A operação da estação de enchimento requer **conhecimento especializado**. O pessoal deve ser treinado nas propriedades do H₂ e nos procedimentos de emergência.
- **Movimentação Segura:** Os cilindros devem ser movidos com **carrinhos apropriados** ou outros dispositivos seguros, fixados na posição vertical e nunca arrastados ou rolados no chão.

2.2 Manutenção preventiva e avaliação de risco de uma linha de enchimento de garrafas de gás;

A manutenção preventiva (MP) e a avaliação de risco são absolutamente essenciais para garantir a segurança, a fiabilidade e a conformidade regulamentar de uma linha de enchimento de garrafas de gás (especialmente hidrogénio, mas os princípios aplicam-se a outros gases pressurizados). Dada a natureza perigosa dos gases sob pressão, a falha de um componente pode ter consequências catastróficas.

I. Manutenção Preventiva (MP) da Linha de Enchimento

A MP visa identificar e corrigir potenciais falhas antes que ocorram, minimizando paragens não planeadas e maximizando a segurança.

1. Programação de Manutenção

- **Rotina:** Inspeções diárias/semanais (verificação visual, fugas), manutenções mensais (lubrificação, calibração), manutenções anuais (revisões completas, testes de pressão).
- **Baseada em Condição:** Monitorização contínua de parâmetros (pressão, temperatura, vibração do compressor) para intervir apenas quando necessário.
- **Baseada em Tempo de Uso:** Substituição de componentes críticos após um determinado número de horas de operação.

2. Componentes Críticos e Atividades de MP

Componente/Sistema Atividades de Manutenção Preventiva

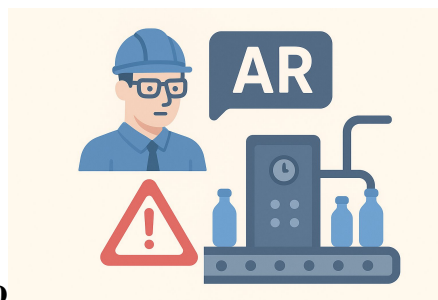
Compressores de Gás	Inspeção de óleo (se aplicável), filtros de ar/óleo, correias, vedações e selos (especialmente em compressores sem óleo para H ₂). Verificação de vibrações, ruídos anormais e temperaturas de funcionamento. Calibração de instrumentação de controlo.
----------------------------	---

Rampas de Enchimento e Tubagens	Inspeção visual de corrosão, danos físicos, deformações. Teste de fugas regular em todas as conexões, válvulas e mangueiras. Verificação da integridade das soldaduras.
Válvulas (Corte, Alívio, Retenção)	Teste funcional das válvulas de corte e das PSVs (Pressure Safety Valves) conforme programa de certificação. Inspeção de fugas. Limpeza e lubrificação (se aplicável).
Mangueiras de Alta Pressão	Inspeção diária de desgaste, fissuras, protuberâncias. Substituição periódica conforme especificação do fabricante (mesmo que pareçam intactas, devido à fadiga do material).
Instrumentação (Sensores, Manómetros)	Calibração regular de manómetros, transmissores de pressão e temperatura, detetores de gás H ₂ . Verificação da sensibilidade e tempo de resposta dos detetores.
Sistemas de Ventilação	Inspeção de ventiladores, dutos, filtros. Verificação de operação automática e manual.
Sistemas de Aterramento	Testes de continuidade do aterramento para garantir a dissipação de eletricidade estática.
Alarmes e ESD (Desligamento de Emergência)	Teste funcional regular dos botões de emergência, luzes de aviso e da lógica de desligamento (PLC). Simulação de cenários de emergência.
Cilindros (próprios da empresa)	Inspeção Visual antes de cada enchimento. Agendamento para teste hidrostático periódico e recertificação por entidade externa, conforme regulamentação.

Exportar para Sheets

II. Avaliação de Risco (AR) da Linha de Enchimento

A AR é um processo sistemático para identificar perigos, avaliar riscos e implementar medidas de controlo para mitigar ou eliminar esses riscos.



1. Etapas da Avaliação de Risco

Identificação de Perigos:

- **Propriedades do Gás:** Inflamabilidade, toxicidade (se aplicável), asfixia, efeito fragilizante em metais (para H₂).
- **Pressão:** Altas pressões podem causar ruturas catastróficas.
- **Temperatura:** Criogénica (LH₂) ou altas temperaturas devido à compressão.
- **Equipamento:** Falha de compressores, válvulas, tubagens, mangueiras, cilindros.
- **Fatores Humanos:** Erro do operador (ligação incorreta, falha na inspeção), falta de formação.

- **Fatores Ambientais:** Terramotos, incêndios externos, raios.

Identificação de Eventos Perigosos (Cenários):

- Fuga de gás (em conexões, válvulas, mangueiras).
- Rutura de mangueira/tubagem sob pressão.
- Ignição de uma fuga de gás (incêndio ou explosão).
- Enchimento de um cilindro danificado ou não certificado.
- Sobre-enchimento/sobrepresão de um cilindro.
- Contaminação do gás.
- Acidente durante o manuseio de cilindros.

Análise de Consequências e Probabilidade:

- **Consequências:** Ferimentos graves, fatalidades, danos materiais extensos, paragem da produção, impactos ambientais.
- **Probabilidade:** Baseada em dados históricos, experiência e avaliação de medidas de controlo existentes.

Avaliação do Risco (Matriz de Risco):

- Combina a probabilidade e a consequência para classificar o risco (ex: baixo, médio, alto). Ferramentas como **HAZOP (Hazard and Operability Study)** ou **FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)** são frequentemente usadas.

Desenvolvimento de Medidas de Controlo:

- **Engenharia:**
 - Uso de **materiais compatíveis** (resistentes à fragilização por H₂).
 - Sistemas de ventilação adequados.
 - Sistemas de deteção de gás e chama.
 - Sistemas de ESD (Desligamento de Emergência).
 - Barreiras físicas de proteção.
 - Válvulas de alívio de pressão (PSVs) e discos de rutura.
- **Administrativas:**
 - **Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) claros e detalhados** para enchimento, manuseio e emergência.
 - **Treinamento regular e certificação** do pessoal.
 - Programa de manutenção preventiva robusto.
 - Permissões de trabalho (Permit-to-Work) para atividades não rotineiras.
 - Plano de emergência e resposta a acidentes.
- **EPIs (Equipamento de Proteção Individual):**
 - Vestuário ignífugo e antiestático.
 - Proteção ocular e facial.
 - Luvas de segurança.

Revisão e Monitorização:

- A AR não é um evento único; deve ser **revisada periodicamente** (ex: anualmente, ou após incidentes, modificações no processo ou alterações regulamentares).
- Monitorização contínua dos indicadores de desempenho de segurança.

A combinação de uma manutenção preventiva sistemática com uma avaliação de risco abrangente e contínua é a base para a operação segura e eficiente de qualquer linha de enchimento de garrafas de gás.

2.3 Processos de transporte;

Os **processos de transporte de hidrogénio** são uma parte fundamental da sua cadeia de valor, ligando a produção ao consumo. Devido às propriedades físicas do hidrogénio (baixa densidade de energia por volume à pressão atmosférica, inflamabilidade), o seu transporte é complexo e oneroso, exigindo métodos especializados.

Existem três formas principais de transportar hidrogénio:

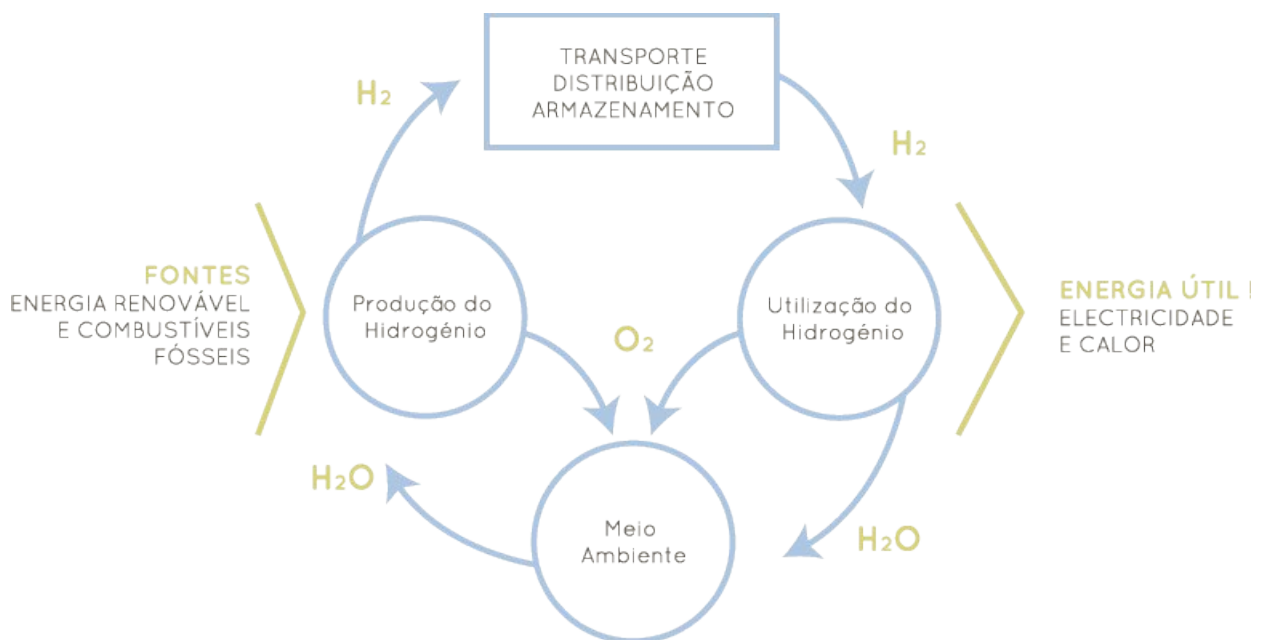


Imagem retirada de: <https://www.ap2h2.pt/sobre-h2.php>

1. Transporte de Hidrogénio Gasoso Comprimido (CGH₂)



Imagem retirada de: <https://cryospain.com/es/transporte-de-hidrogeno>

Esta é a forma mais comum de transporte para volumes menores a médios e distâncias curtas a médias.

- **Garrafas (Cilindros) de Alta Pressão:**
- **Descrição:** Cilindros individuais ou em *bundles* (agrupamentos de várias garrafas ligadas por um manifold), pressurizados a 200, 300 ou 700 bar.
- **Aplicações:** Laboratórios, pequenas indústrias, postos de abastecimento de pequena dimensão, ou como "depósito" inicial em instalações.
- **Vantagens:** Flexível para volumes variados, tecnologia madura.
- **Desvantagens:** Baixa densidade de energia por volume de transporte (muito peso de aço para pouco hidrogénio), o que aumenta os custos de transporte.
- **Atrelados Tubulares (Tube Trailers/Gaseous Hydrogen Tankers):**
- **Descrição:** Grandes atrelados rodoviários equipados com vários tubos cilíndricos de alta pressão (até 200-300 bar, e em algumas regiões 500 bar) montados num chassis.
- **Aplicações:** Postos de abastecimento de hidrogénio (HRS - Hydrogen Refueling Stations), clientes industriais de médio a grande porte.
- **Vantagens:** Permite transportar volumes significativamente maiores de gás comprimido em comparação com garrafas avulsas.
- **Desvantagens:** Ainda é volumoso e tem uma densidade de energia relativamente baixa, limitando a quantidade de hidrogénio por viagem.

2. Transporte de Hidrogénio Líquido (LH₂)

Utilizado para grandes volumes e longas distâncias, aproveitando a maior densidade energética do hidrogénio líquido.

- **Camiões-Cisterna Criogénicos:**
- **Descrição:** Atracados rodoviários ou vagões ferroviários equipados com tanques isolados a vácuo (termos) que mantêm o hidrogénio a temperaturas criogénicas ($\sim -253^{\circ}\text{C}$).
- **Aplicações:** Grandes projetos de hidrogénio, reabastecimento de frotas de veículos pesados, uso aeroespacial.
- **Vantagens:** Densidade de energia volumétrica muito superior ao gás comprimido, tornando-o mais eficiente para transporte de grandes massas de hidrogénio.
- **Desvantagens:** Alto consumo de energia na liquefação, perdas por "boil-off" (evaporação lenta devido à dificuldade de manter a temperatura), complexidade da tecnologia criogénica, necessidade de isolamento extremo.

3. Transporte Através de Tubagens (Gasodutos)



Imagem retirada de: <https://www.terramarear.info/transportes-por-oleodutos-ou-gasodutos-3/>

Considerado a forma mais eficiente e económica para grandes volumes e transporte contínuo a longo prazo.

- **Gasodutos Dedicados de Hidrogénio:**
- **Descrição:** Redes de tubagens subterrâneas ou elevadas construídas especificamente para transportar hidrogénio puro a pressões moderadas.
- **Aplicações:** Interligar grandes polos de produção e consumo (ex: zonas industriais), exportação/importação de hidrogénio entre regiões/países.

- **Vantagens:** Maior eficiência e menor custo operacional para grandes volumes, após o investimento inicial.
- **Desvantagens:** Elevado custo de investimento inicial na construção, impacto ambiental da construção, desafios de fragilização por hidrogénio em materiais metálicos.
- **Infraestrutura Existente de Gás Natural (Blending/Conversion):**
- **Descrição:** Injetar hidrogénio na rede de gás natural (blending) ou converter gasodutos existentes de gás natural para transportar hidrogénio puro.
- **Aplicações:** Uma solução de transição para descarbonizar o gás natural ou uma forma de utilizar infraestrutura existente para o hidrogénio.
- **Vantagens:** Redução significativa do custo de investimento comparado com a construção de novos gasodutos.
- **Desvantagens:** Limite na percentagem de hidrogénio que pode ser injetada sem modificar os equipamentos dos utilizadores finais e a integridade da rede, necessidade de avaliar a compatibilidade dos materiais existentes com o hidrogénio (fragilização).

Legislação e Segurança no Transporte (ADR)

Em Portugal e na Europa, o transporte rodoviário de hidrogénio (quer comprimido, quer líquido) é regido pelo Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada (ADR). Este acordo define:

- **Classificação:** O hidrogénio é classificado como **Classe 2 (Gases)**, com o **UN 1049** para hidrogénio comprimido e **UN 1966** para hidrogénio líquido refrigerado.
- **Embalagens/Recipientes:** Requisitos específicos para a construção, ensaio e certificação de cilindros, *bundles* e tanques criogénicos.
- **Veículos:** Condições para a construção, equipamento (extintores, sinalização de perigo), e marcação dos veículos.
- **Condutores:** Os condutores devem possuir um **Certificado de Formação ADR** válido, atestando que foram treinados para o transporte de mercadorias perigosas.
- **Documentação:** O veículo deve transportar documentos específicos, incluindo a carta de porte, instruções escritas de segurança e certificados de conformidade.
- **Segurança:** Regras para o carregamento, descarregamento, estacionamento e manuseamento em caso de acidente.

A escolha do método de transporte depende da economia de escala, da distância, da infraestrutura existente e dos requisitos de densidade energética para a aplicação final.

3 - Procedimentos de ensaio de resistência mecânica e estanquidade;

Os **procedimentos de ensaio de resistência mecânica e estanquidade** são fundamentais para garantir a segurança e a fiabilidade de equipamentos sob pressão, como garrafas de gás, reservatórios, tubagens e outros componentes de sistemas de hidrogénio (ou qualquer gás comprimido ou líquido). Estes ensaios são obrigatórios durante o fabrico, após reparações significativas e em intervalos periódicos (testes), conforme as normas e regulamentos aplicáveis.

Os dois ensaios mais importantes são o **teste hidrostático** (para resistência mecânica) e o **teste de estanquidade/fugas**.

1. Ensaio de Resistência Mecânica: Teste Hidrostático

O teste hidrostático é o método mais comum e rigoroso para verificar a integridade estrutural e a resistência à pressão de um recipiente ou sistema.

a) Princípio

- O recipiente é preenchido com um **líquido incompressível** (geralmente água, por ser segura e acessível) e pressurizado a uma pressão de teste que é **significativamente superior** à sua pressão máxima de serviço (geralmente 1.5 a 2 vezes a pressão de trabalho).
- Ao usar um líquido, qualquer falha resultará numa rutura controlada ou fuga de água, em vez de uma libertação explosiva de energia (como aconteceria com um gás comprimido).

b) Procedimento (Exemplo para Cilindros de Gás)

Preparação:

- O cilindro é esvaziado de gás e a sua válvula é removida.
- O interior do cilindro é inspecionado visualmente para detetar corrosão, trincas ou outros defeitos.
- O cilindro é limpo internamente se necessário.

Enchimento: O cilindro é completamente preenchido com água, garantindo a eliminação de todo o ar.

Pressurização: O cilindro é ligado a uma bomba e a um manómetro de precisão. A pressão é aumentada gradualmente até à **pressão de teste prescrita** pela norma (ex: 300 bar para um cilindro de 200 bar, ou até 450-525 bar para um de 350 bar).

Tempo de Teste: A pressão de teste é mantida por um período especificado (ex: 30 segundos a 1 minuto) para permitir a observação de qualquer expansão permanente, fugas ou distorções.

Observação e Avaliação:

- **Expansão Volumétrica:** Em alguns testes, mede-se a expansão volumétrica do cilindro sob pressão. Um valor excessivo de **expansão permanente** (após o alívio da pressão) indica fadiga do material e desqualifica o cilindro.
- **Fugas:** Observação de qualquer fuga de água no corpo do cilindro ou nas conexões (embora a válvula original tenha sido removida).

Despressurização e Secagem: A pressão é aliviada lentamente, a água é drenada e o cilindro é **cuidadosamente seco** internamente para prevenir a corrosão.

Marcação: Se o cilindro passar no teste, é marcada a nova data de teste e a identificação da entidade que realizou o ensaio.

c) Intervalos de Ensaios

- Os intervalos variam consoante o tipo de gás, material do cilindro e legislação local. Para o hidrogénio em Portugal, e em geral na UE, os cilindros de aço são geralmente testados a cada **5 ou 10 anos**.

2. Ensaio de Estanquidade (Teste de Fugas)



Este ensaio verifica a ausência de fugas de gás para o exterior ou de entrada de ar/humidade para o interior do sistema. É crucial para gases perigosos como o hidrogénio.

a) Princípio

- Um gás (geralmente o próprio hidrogénio, ar seco ou azoto) é introduzido no sistema e a presença de fugas é detetada através de diversos métodos.

b) Procedimento

Pressurização:

O sistema é pressurizado com o gás de teste até à pressão de serviço ou ligeiramente acima.

Métodos de Detecção de Fugas:

- **Solução de Bolhas (Sabão):** Aplica-se uma solução de sabão (ou similar) nas conexões, soldaduras e outras áreas potenciais de fuga. A formação de bolhas indica uma fuga.
- *Vantagem:* Simples e económico.
- *Desvantagem:* Menos sensível para microfugas, não adequado para superfícies muito quentes ou muito frias.
- **Detetores Eletrónicos de Gás:** Equipamentos portáteis ou fixos (para H₂) que medem a concentração de gás no ar.
- *Vantagem:* Mais sensível, pode detetar pequenas fugas, alguns quantificam a taxa de fuga.
- *Desvantagem:* Pode ser influenciado pela velocidade do ar.
- **Teste por Submersão:** O componente pressurizado é submerso em água, e a formação de bolhas indica fugas.
- *Vantagem:* Muito eficaz para pequenas fugas em componentes pequenos.
- *Desvantagem:* Inviável para grandes sistemas, requer secagem completa posterior.
- **Teste de Pressão Zero (Decaimento de Pressão):** O sistema pressurizado é isolado por um período. Uma queda na pressão (sem variação significativa de temperatura) indica uma fuga.
- *Vantagem:* Avalia a estanquidade global do sistema.
- *Desvantagem:* Não localiza a fuga, pode ser influenciado por mudanças de temperatura.
- **Teste com Gás Traçador (Hélio):** O sistema é pressurizado com hélio (ou uma mistura hélio/azoto) e um detetor de massa de hélio muito sensível é usado para localizar fugas.
- *Vantagem:* Extremamente sensível, deteta as menores fugas.
- *Desvantagem:* Caro, requer equipamento especializado.

Localização e Reparação: Todas as fugas detetadas devem ser localizadas e reparadas antes que o sistema seja considerado apto para uso.

Novo Teste: Após as reparações, o ensaio de estanquidade deve ser repetido para garantir que todas as fugas foram eliminadas.

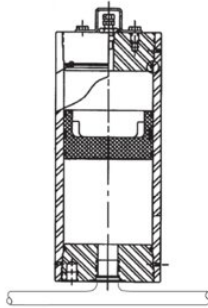
A combinação destes ensaios, realizados por pessoal qualificado e certificado, é essencial para garantir que os sistemas de gás operem com a máxima segurança e fiabilidade.

3.1 ESP (*Estabelecimento de Produção e Armazenamento*)

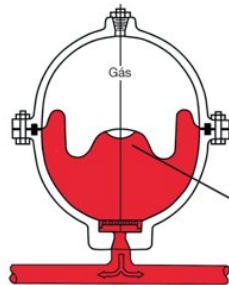
acumuladores de hidrogénio ou de oxigénio no estado

gasoso;

**Acumuladores
tipo pistão**

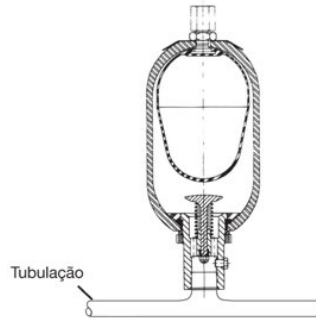


**Acumuladores
tipo diafragma**



Esta base de metal evita a extrusão da bolsa

**Acumuladores
tipo bexiga**



Tubulação

Esta designação combina duas componentes regulamentares importantes:

ESP (Estabelecimento de Produção e Armazenamento): refere-se a uma **instalação industrial ou comercial que produz e/ou armazena substâncias perigosas** em quantidades que atingem ou excedem limiares específicos. Estas instalações estão sujeitas a regimes de controlo de acidentes graves, como a **Diretiva Seveso III** (transposta para a legislação portuguesa), devido aos riscos associados às substâncias que manuseiam. O objetivo é prevenir acidentes graves e limitar as suas consequências para a saúde humana e o ambiente.

Equipamentos Sob Pressão (ESP - em Portugal): Esta sigla (que coincide em Portugal com o Estabelecimento, mas representa algo diferente) refere-se a **dispositivos e respetivos acessórios submetidos a uma pressão interna superior a 0,5 bar**. Em termos de regulamentação, estes equipamentos são abrangidos pela **Diretiva de Equipamentos Sob Pressão (PED - Pressure Equipment Directive, 2014/68/UE)**, transposta para a legislação portuguesa (ex: Decreto-Lei n.º 111-D/2017, alterado pelo **DL n.º 54/2019**).

Acumuladores de Hidrogénio ou de Oxigénio no Estado Gasoso

Quando um "Estabelecimento de Produção e Armazenamento" (o primeiro ESP) lida com "Equipamentos Sob Pressão" (o segundo ESP) que são **acumuladores de hidrogénio ou de oxigénio no estado gasoso**, as implicações de segurança e regulamentares são duplas e sobrepostas.

1. Requisitos para os Equipamentos Sob Pressão (PED)

- **Conceção e Fabrico:** Os cilindros, reservatórios, tubagens e acessórios (válvulas, instrumentação) para hidrogénio e oxigénio gasoso devem ser **projetados e fabricados de acordo com os requisitos essenciais de segurança**

da PED. Isto inclui a escolha de materiais compatíveis (resistentes à fragilização por hidrogénio ou à oxidação), cálculo de espessuras, métodos de fabrico (soldadura), etc.

- **Avaliação de Conformidade:** Devem ser submetidos a **procedimentos de avaliação de conformidade** por organismos notificados (entidades terceiras independentes) antes de serem colocados no mercado. Isto culmina com a **marcação CE**, que indica que o equipamento cumpre os requisitos da PED.
- **Inspeções Periódicas:** Além do teste hidrostático inicial, estes equipamentos são sujeitos a **inspeções periódicas e testes** ao longo da sua vida útil, conforme a legislação e normas técnicas aplicáveis (ex: Decreto-Lei n.º 158/2006 para TPED - Equipamentos Transportáveis, ou regulamentos específicos da DGEG para reservatórios fixos).
- **Documentação Técnica:** Cada equipamento deve ter um dossier técnico completo, incluindo manuais de operação e manutenção, certificados de materiais e relatórios de ensaio.

2. Requisitos para o Estabelecimento de Produção e Armazenamento (Seveso/Prevenção de Acidentes Graves)

Se as quantidades de hidrogénio ou oxigénio armazenadas num dado local atingirem os limiares definidos pela legislação de controlo de acidentes graves (ex: Directiva Seveso III), o local é classificado como um "Estabelecimento de Produção e Armazenamento" e tem de cumprir:

- **Política de Prevenção de Acidentes Graves (PPAG):** Implementar uma política clara para gerir os riscos.
- **Sistema de Gestão de Segurança (SGS):** Um sistema formalizado para gerir a segurança operacional.
- **Notificação e Informação:** Notificar as autoridades (APA, ACT) sobre a sua classificação e as substâncias perigosas presentes.
- **Elaboração de Estudos de Segurança:**
- **Análise de Perigos e Riscos:** Para identificar todos os cenários de acidentes possíveis (fugas, incêndios, explosões) e as suas consequências.
- **Medidas de Prevenção:** Para evitar que os acidentes ocorram (ex: deteção de gás, válvulas de segurança, controlo de temperatura/pressão).
- **Medidas de Mitigação:** Para limitar as consequências se um acidente ocorrer (ex: sistemas de extinção, barreiras de contenção).
- **Planos de Emergência:** Desenvolver um plano de emergência interno (PEI) para gerir acidentes dentro da instalação e, para os estabelecimentos de nível superior, contribuir para um plano de emergência externo (PEE) coordenado pela Proteção Civil.
- **Informação ao Público:** Informar as populações que podem ser afetadas sobre os riscos e os procedimentos em caso de emergência.

Sumário

Quando um "ESP - Estabelecimento de Produção e Armazenamento" lida com "Equipamentos Sob Pressão" (ESP) de acumuladores de hidrogénio ou oxigénio gasoso, estamos perante um cenário que exige o cumprimento de dois grandes eixos regulamentares:

- **Regulamentação da PED:** Para a segurança do próprio equipamento (o tanque, o cilindro, a tubagem).
- **Regulamentação Seveso/Prevenção de Acidentes Graves:** Para a segurança global da instalação e das suas operações, considerando os perigos intrínsecos das substâncias e a escala do armazenamento.

Isto resulta numa abordagem extremamente rigorosa à conceção, fabrico, operação, manutenção e gestão de emergências, visando sempre a máxima segurança.

3.1.2 ESP (*Estabelecimento de Produção e Armazenamento*) de gás de petróleo liquefeito (GPL);



ESP (Estabelecimento de Produção e Armazenamento): A instalação que produz e/ou armazena GPL.

Equipamentos Sob Pressão (ESP): Os recipientes e sistemas que contêm o GPL sob pressão.

Gás de Petróleo Liquefeito (GPL)

O GPL é uma mistura de hidrocarbonetos leves, principalmente **propano** e **butano**. As suas características principais são:

- **Estado Líquido sob Pressão Moderada:** Ao contrário do hidrogénio, que requer pressões muito elevadas para ser armazenado como gás, o GPL é facilmente liquefeito sob pressões relativamente baixas (2 a 10 bar, dependendo

da temperatura ambiente e da mistura de propano/butano). Isso torna o seu armazenamento e transporte mais densos em energia e mais simples tecnologicamente do que o hidrogénio gasoso.

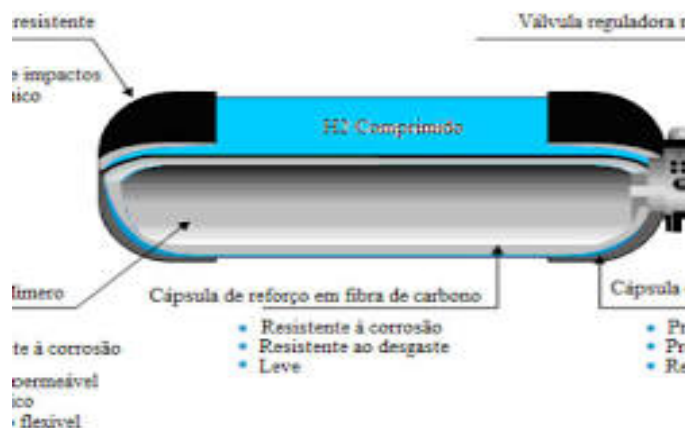
- **Inflamável:** O GPL é um gás altamente inflamável e explosivo. A sua faixa de inflamabilidade é de cerca de 2% a 10% no ar.
- **Mais Pesado que o Ar:** Esta é uma diferença CRÍTICA em relação ao hidrogénio. Em caso de fuga, o GPL (ao vaporizar) **acumula-se ao nível do solo** ou em zonas baixas e confinadas, em vez de se dispersar para cima. Isto cria bolsas de gás explosivas que são mais difíceis de ventilar naturalmente.
- **Odorizado:** Geralmente é adicionado um odorizante (mercaptanos) para que as fugas sejam detetáveis pelo cheiro, uma importante medida de segurança.

Implicações para um ESP que Manuseia GPL

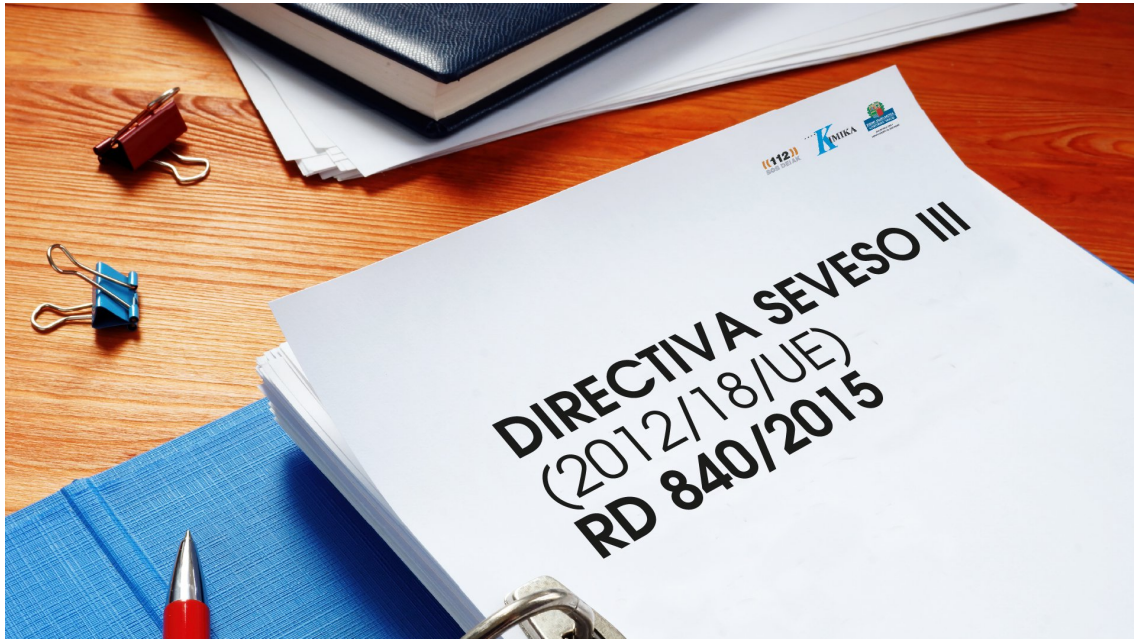
Uma instalação que se enquadre na categoria de "ESP - Estabelecimento de Produção e Armazenamento de GPL" estará sujeita a uma rigorosa regulamentação, que considerará as propriedades específicas do GPL:

1. Requisitos para os Equipamentos Sob Pressão (PED)

- **Conceção e Fabrico:** Reservatórios (esféricos ou cilíndricos), garrafas (botijas de gás), tubagens e válvulas devem ser projetados e construídos de acordo com a **Diretiva de Equipamentos Sob Pressão (PED)**.
- Os materiais devem ser compatíveis com GPL.
- A pressão de projeto será adequada às pressões de vapor do propano/butano nas temperaturas de operação esperadas.
- **Avaliação de Conformidade e Marcação CE:** Essenciais para todos os equipamentos.
- **Inspeções Periódicas:** Cilindros e reservatórios fixos de GPL estão sujeitos a inspeções e testes periódicos por entidades acreditadas.



2. Requisitos para o Estabelecimento de Produção e Armazenamento (Seveso/Prevenção de Acidentes Graves)



Se as quantidades de GPL armazenadas excederem os limiares da Diretiva Seveso (que tem diferentes limiares para diferentes classes de substâncias perigosas, sendo o GPL um gás inflamável), o estabelecimento terá de cumprir:

- **Política de Prevenção de Acidentes Graves (PPAG) e Sistema de Gestão de Segurança (SGS).**
- **Notificação às Autoridades:** Informar sobre a presença e quantidades de GPL.
- **Estudos de Segurança Detalhados:**
- **Identificação de Perigos:** Fugas, incêndios (pooling fire, jet fire, flash fire), explosões (BLEVE - Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion - é um risco significativo para tanques de GPL em caso de incêndio externo).
- **Análise de Cenários:** Simulações da dispersão do GPL (mais pesado que o ar), cenários de ignição e suas consequências.
- **Medidas de Prevenção e Mitigação:**
- **Deteção de Gás:** Detetores de GPL (catalíticos ou IR) devem ser instalados **ao nível do solo** ou em zonas baixas para detetar fugas, ao contrário do hidrogénio que requer detetores no topo.
- **Sistemas de Ventilação:** Essenciais em áreas confinadas, desenhados para remover o gás acumulado nas zonas baixas.
- **Sistemas de Proteção contra Incêndio:** Sistemas de aspersão de água (water deluge) para arrefecer os tanques em caso de incêndio, sistemas de espuma para incêndios de líquidos, extintores.
- **Distâncias de Segurança:** Grandes distâncias de segurança entre os tanques de GPL e outras instalações/edifícios/limites de propriedade para limitar os danos em caso de acidente.

- **Válvulas de Alívio de Pressão (PSVs):** Essenciais para evitar sobrepressão nos tanques.
- **Sistemas de Drenagem:** Para controlar derrames de líquido.
- **Planos de Emergência:** Desenvolvimento de Planos de Emergência Internos e Externos (se aplicável), com particular atenção aos riscos de BLEVE e à acumulação de gás pesado.
- **Formação e EPI:** Treinamento específico para riscos de GPL e uso de EPI adequado.

Síntese, um **ESP que opera com acumuladores de GPL** enfrenta desafios de segurança significativos devido à inflamabilidade do gás e, principalmente, à sua densidade ser maior que a do ar. A regulamentação exige uma abordagem robusta para a conceção do equipamento, a segurança das instalações e a gestão de emergências, tudo adaptado às propriedades específicas do GPL.

Vídeos

[História do Gás](#)

[Inovação REN | Sensorização permanente de Hidrogénio e Metano em espaços fechados](#)

[Programa H2REN | Projetos REN 2023](#)

[Segurança nas Instalações de Armazenamento de Gás Natural](#)

[Segurança nas Instalações de Gás REN](#)

[Segurança no Terminal de GNL de Sines | REN](#)

[EEGO: um contributo para um planeta mais verde](#)

[Floene | A Energia Natural do Hidrogénio | Testemunhos](#)

[Floene | Green Pipeline | Apresentação](#)

[REN_GALP.wmv Reservatório subterrâneo do Carriço](#)

[Floene | Indústria de Futuro | A descarbonização da Indústria Nacional](#)



Imagem retirada de: <https://www.pt.endress.com/pt/sustentabilidade-mercados-industriais/Transporte-armazenamento-hidrogenio#toc10>

Outros Métodos de Armazenamento e Suas Pressões.....	2
Outros Métodos de Armazenamento e Suas Pressões.....	4
1. Medição Essencial para Controlo e Segurança.....	5
2. Controlo da Qualidade e Pureza.....	5
3. Desafios Tecnológicos na Medição com Hidrogénio.....	6
Sistemas de Operação e Controlo Essenciais.....	7
Sistemas de Segurança e Medidas Preventivas.....	8
1. Componentes Chave do Sistema de Enchimento	10
2. Procedimento de Enchimento e Segurança.....	11
1. Regulamentação Aplicável em Portugal (Exemplos).....	11
2. Requisitos de Segurança e Procedimentos de Enchimento	12
a) Certificação e Manutenção do Equipamento e Cilindros.....	12
b) Controlo do Processo de Enchimento	13
c) Segurança das Instalações e Pessoal.....	13
d) Documentação e Rastreabilidade.....	14
1. Requisitos Preliminares e Inspeção do Cilindro	14
2. Procedimentos de Segurança e Operação no Enchimento.....	15
a) Prevenção de Faíscas e Eletricidade Estática	15
b) Controlo de Pressão e Temperatura	15
c) Gestão de Fugas	15
d) Manuseamento e Formação.....	16
I. Manutenção Preventiva (MP) da Linha de Enchimento.....	16
1. Programação de Manutenção	16
2. Componentes Críticos e Atividades de MP.....	16
II. Avaliação de Risco (AR) da Linha de Enchimento	17
1. Etapas da Avaliação de Risco.....	17
1. Transporte de Hidrogénio Gasoso Comprimido (CGH₂).....	20
2. Transporte de Hidrogénio Líquido (LH₂).....	21
3. Transporte Através de Tubagens (Gasodutos)	21
Legislação e Segurança no Transporte (ADR).....	22
1. Ensaio de Resistência Mecânica: Teste Hidrostático.....	23
a) Princípio	23
b) Procedimento (Exemplo para Cilindros de Gás).....	23

c) Intervalos de Ensaios.....	24
2. Ensaio de Estanquidade (Teste de Fugas).....	24
a) Princípio	24
b) Procedimento.....	24
Acumuladores de Hidrogénio ou de Oxigénio no Estado Gasoso.....	26
1. Requisitos para os Equipamentos Sob Pressão (PED).....	26
2. Requisitos para o Estabelecimento de Produção e Armazenamento (Seveso/Prevenção de Acidentes Graves).....	27
Sumário.....	28
Gás de Petróleo Liquefeito (GPL).....	28
Implicações para um ESP que Manuseia GPL.....	29
1. Requisitos para os Equipamentos Sob Pressão (PED).....	29
2. Requisitos para o Estabelecimento de Produção e Armazenamento (Seveso/Prevenção de Acidentes Graves).....	30

Anexo I

Conteúdos 2

- ☐ • Pressões de armazenamento do hidrogénio ;
- ☐ - Formas de armazenamento do hidrogénio;
- ☐ - Medição e controlo;
- ☐ - Sistemas de Operação e Segurança

Conteúdos 5

- ☐ • Sistemas de enchimento de garrafas
- ☐ - Procedimentos de segurança e requisitos de enchimento;
- ☐ - Manutenção preventiva e avaliação de risco de uma linha de enchimento de garrafas de gás;
- ☐ - Processos de transporte;

Conteúdos 6

- ☐ • Procedimentos de ensaio de resistência mecânica e estanquidade;
- ☐ • ESP (Estabelecimento de Produção e Armazenamento) acumuladores de hidrogénio ou de oxigénio no estado gasoso;
- ☐ • ESP (Estabelecimento de Produção e Armazenamento) de gás de petróleo liquefeito (GPL);

A avaliação do módulo :

- ☐ • Escolha de três temas a desenvolver e entregar dentro do prazo ao formador (100 %);
- ☐ • O trabalho é realizado em documento digital (Word ou outro);
- ☐ • Entregar o trabalho desenvolvido em formato PDF;
- ☐ • O trabalho consiste em textos desenvolvidos e imagens associadas se possível aos textos.

quarta-feira, 1 de outubro de 2025