

Monitoração de vazamentos de emissões poluentes

Colaboração de Aline Voigt Nadolni Engenheira de Processamento da Petrobras

1. Introdução

Identificados pela sigla COVs, os Compostos Orgânicos Voláteis, verdadeiros venenos tóxicos para as pessoas, podem ser encontrados em diversos tipos de produtos e apresentam sérios riscos à saúde humana, principalmente se a exposição for por um longo período de tempo e em concentrações elevadas.

Aditivos de pintura, destilados do petróleo, pesticidas, vernizes, solventes de tintas, álcoois, cetonas, revestimentos como carpetes e papéis de parede, produtos industriais e de limpeza seca são alguns dos exemplos que contêm COVs na composição e com os quais convivemos no dia a dia.

Além disso, quando lançados na atmosfera, os COVs contribuem para a formação da camada de “smog” (poluição) fotoquímico, que é uma mistura de hidrocarbonetos oxidados, oriundos da queima de combustíveis fósseis (querosene, gasolina, diesel, etc.) e de produtos para pinturas e solventes, que expostos às radiações ultravioletas na superfície terrestre formam uma espécie de névoa na atmosfera..

Locais fechados ou abafados favorecem a concentração desses compostos, aumentando sobremaneira os riscos desses tóxicos.

2. Referências

- **Compostos orgânicos voláteis e o risco para a saúde humana**
<https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/compostos-organicos-volateis-risco-saude-humana/>
- **RESOLUÇÃO No 382, de 26 de dezembro de 2006**
Estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.
<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=113047>
- **Aplicação do programa LDAR na redução de emissões fugitivas**
<http://www.alltechambiental.com.br/download/LDAR1.pdf>
- **Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15) Atividades e Operações Insalubres**
<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-15-atualizada-2022.pdf>
- **EPA Method 21 Determination of Volatile Organic Compound Leaks**
https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-08/documents/method_21.pdf
- **1995 Protocol for Equipment Leak Emission Estimates**
<https://www3.epa.gov/ttnchie1/efdocs/equiplks.pdf>
- **Determination of Volatile Organic Compound and Greenhouse Gas Leaks Using Optical Gas Imaging**
https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/40-cfr-part-60-appendix-k-proposal_0.pdf
- **Leak Detection and Repair A Best Practices Guide**
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-02/documents/ldarguide.pdf>

3. Definições

a. COVs-Compostos Orgânicos Voláteis ou VOCs-Volatile Organic Compounds

São gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos, sendo emitidos pelos veículos, pelas indústrias, pelos processos de estocagem e transferência de combustível etc.

Muitos desses compostos, participam ativamente das reações de formação do ozônio, na atmosfera. Dentre os compostos orgânicos voláteis, presentes nas atmosferas urbanas, estão os compostos aromáticos monocíclicos, em particular: benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos.

Os aromáticos monocíclicos são tóxicos e precursores do ozônio, causando efeitos adversos à saúde.

b. Method 21 Determination of Volatile Organic Compound Leaks da EPA-Environment Protection Agency

Este método é aplicável para a medição de determinação de vazamentos e emissões de COVs de equipamentos e tubulações de processo.

As fontes potenciais de vazamentos incluem as vedações e selagens de válvulas; flanges e outras conexões de vasos de pressão; bombas, compressores e turbinas a gás; agitadores e misturadores; dispositivos de alívio de pressão; drenos e respiros de processo; válvulas de extremidade aberta; dentre outros.

Vários dos compostos, cujos vazamentos podem ser determinados por este método, são poluentes perigosos, que causam irritações e ataques corrosivos aos tecidos humanos (como heptano) ou podem ser tóxicos (como benzeno e álcool metílico). Além de, normalmente, trazerem riscos de incêndio.

c. LDAR-Leak Detection and Repair

É um programa desenvolvido pela Agência Ambiental Norte Americana EPA-*Environment Protection Agency*, implementado pelas empresas com o objetivo de reduzir as emissões fugitivas para o meio ambiente.

d. Determination of Volatile Organic Compound and Greenhouse Gas Leaks Using Optical Gas Imaging

O monitoramento é feito com uma câmera infravermelha (IR) portátil, capaz de capturar imagens de vazamentos de gases, empregada na verificação de equipamentos de processo, para detectar e localizar vazamentos e emissões fugitivas de gases, principalmente COVs.

A câmera fornece a imagem de um gás que é invisível para o operador e permite identificar o gás vazando,

4. Tipos de vazamentos

Vazamentos, evaporação, emissão, emissão fugitiva, emanção são perdas de produto para a atmosfera através de equipamentos e tubulações, que ocorrem em instalações de óleo&gás, como refinarias de petróleo, petroquímicas, terminais marítimos e terrestres, estações de carregamento e expedição de combustíveis, bases de distribuição de combustíveis e em siderúrgicas, termoelétricas e indústrias químicas, em geral.

Os vazamentos acontecem, principalmente, devido à:

- Corrosão;
- Trincas e furos;
- Variações de temperatura e pressão;
- Choque térmico;
- Esforços transmitidos excessivos;
- Instalação incorreta;
- Aperto insuficiente;
- Desgaste nas vedações e selagens.

Os vazamentos são classificadas, a depender do tipo de fluido e da quantidade perdida para a atmosfera, em:

a. Vazamento propriamente dito

São os vazamentos identificados visualmente que correspondem a concentrações acima de 10 000 ppm e ocorrem por perda de estanqueidade em ligações flangeadas, falha estrutural de equipamento ou tubulação, como trincas ou furos.

Um desses vazamentos muito perigoso são os de vapor d'água de alta pressão, identificados apenas pelo ruído do jato, porém invisíveis, e capazes de causar sérios ferimentos em pessoas.

b. Emissões atmosféricas

Representam o lançamento na atmosfera de substâncias na forma de particulados, gasosas ou aerossóis, capazes de causar alterações no compartimento atmosférico, quando lançadas em concentrações superiores à capacidade de assimilação.

Normalmente, são perdas da ordem de até 10000 ppm, toleradas no caso de fluidos não tóxicos. Quando não têm potencial de danos ao meio ambiente ou ao homem, é possível a convivência, temporariamente, durante a operação da planta, com as emissões. Porém, assumem importância

econômica pela grande quantidade de pontos de vazamento, como exemplo as inúmeras válvulas e ligações flangeadas, existentes em uma planta industrial.

c. Emissões de hidrocarbonetos não queimados

São combustíveis não queimados ou parcialmente queimados expelidos para atmosfera através das chaminés de fornos, caldeiras, incineradores industriais, turbinas a gás; tochas de segurança de refinarias *flares*. Dentre eles se destacam as emissões de gás CO e de hidrocarbonetos (por ex. o metano), que reagem na atmosfera promovendo a formação do “*smog*” fotoquímico. Também acontecem na descarga de motores de combustão interna de veículos, em geral.

d. Emissões fugitivas

São uma classe particular de emissões, composta por fluidos perigosos tipo COVs-Compostos Orgânicos Voláteis, que normalmente ocorrem em instalações industriais.

e. Evaporações e emanações

São vazamentos provenientes de Tanques de armazenamento; de ETDI-Estação de Tratamento de Despejos Industriais; de SAO-Separadores de Água e Óleo; de Lagoas de aeração ou *Landfarmings*, existentes em refinarias de petróleo e petroquímicas.

4.1. Vazamentos de poluentes

As perdas por vazamentos são grandes contribuintes para a poluição do ar atmosférico, devido à emissão de gases do efeito estufa e de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs).

Consideram-se poluentes qualquer substância, presente no ar e que pela sua concentração possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconvenientes ao bem estar público, danos ao meio ambiente, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, nas atividades normais das comunidades.

Os poluentes primários são identificados por contaminarem diretamente o ambiente a partir de sua emissão, como é o caso de: dióxido de Enxofre, ácido sulfídrico, óxidos de Nitrogênio, amônia, monóxido de Carbono, dióxido de Carbono, metano, aldeídos, fuligem, fumaça e partículas inaláveis

Já os poluentes secundários são aqueles que se formam na atmosfera, através de reações entre poluentes primários com as substâncias que estão presentes na camada baixa da atmosfera. Os exemplos mais comuns são: peróxido de Hidrogênio, ácido sulfúrico, ácido nítrico, trióxido de Enxofre, nitratos, sulfatos e ozônio.

Essas substâncias nocivas podem causar sérios danos à saúde das pessoas.

A exposição ao formaldeído, por exemplo, presente em desinfetantes antissépticos, pode provocar vertigens, náuseas, redução da força física, irritação nos olhos, nariz e garganta, dentre outros sintomas.

E os compostos que contêm benzeno, tolueno e xilenos, denominados aromáticos, têm grande potencial tóxico, podendo provocar o câncer.

4.2. Emissões Fugitivas

A liberação indesejada de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) na atmosfera, em concentrações de partes por milhão (ppm), é denominada tecnicamente como emissões fugitivas.

Estão presentes nos processos produtivos de indústrias, como as refinarias de petróleo, petroquímicas e siderurgias, sendo responsáveis por poluição ambiental.

As emissões fugitivas são emitidas à partir de vazamentos contínuos, de pequeno volume, em equipamentos e tubulações, porém são significativas devido aos inumeráveis pontos de possível vazamento em uma planta industrial.

O órgão brasileiro CONAMA-Conselho Nacional de Meio Ambiente emitiu a Resolução Conama nº 382/2006, que trata do estabelecimento dos limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas, como indústrias de óleo&gás.

Essa Resolução define Emissão Fugitiva como o lançamento difuso na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte desprovida de dispositivo projetado para dirigir ou controlar seu fluxo;

Nota:

As Resoluções CONAMA nº 382 e nº 436 estabelecem limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos, para fontes fixas, respectivamente, posteriores e anteriores a 2 de julho de 2007.

Já, de acordo com a agência ambiental americana *EPA-Environmental Protection Agency*, as emissões fugitivas não são intencionais e partem de tubulações e de equipamentos (como, bombas, compressores, vasos de pressão, etc.), em superfícies seladas com juntas e gaxetas de vedação. Essas emissões fugitivas podem ser de vapores de fluidos poluentes, os COVs, que contaminam o meio ambiente, e mesmo de vapores de hidrocarbonetos inflamáveis, que podem formar uma atmosfera explosiva ao redor de equipamentos, podendo acarretar em acidentes de fogo e explosão na presença de calor

As emissões fugitivas, oriundas de vazamentos em equipamentos e sistemas de tubulações, são a maior fonte de emissões de COVs-Compostos Orgânicos Voláteis e Poluentes Atmosféricos, sendo fundamental monitorar essas emissões.

Principais pontos ou locais a serem monitorados:

- Válvulas;
- Flanges;
- Conexões roscadas;
- Drenos e respiros;
- Conexões de amostragem;
- Dispositivos de alívio de pressão.

Em equipamentos, tais como:

- Vasos de pressão, torres, reatores, permutadores de calor;
- Bombas;
- Filtros;
- Compressores;;
- Turbina a gás;
- Agitadores e misturadores;
- Outros.

É importante enfatizar que as emissões fugitivas são sempre perdas de produtos para o meio ambiente, e colaboram para a poluição atmosférica, mudanças climáticas, e também para o aumento de custo das *commodities* produzidas.

4.3. COVs-Compostos Orgânicos Voláteis *VOCs-Volatile Organic Compounds*

Os COVs-Compostos Orgânicos Voláteis, em Inglês *VOCs-Volatile Organic Compounds*, são compostos orgânicos, de alta pressão de vapor sob condições normais, a tal ponto de vaporizar, significativamente, em temperaturas ambientes e migrar para a atmosfera.

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*EPA-Environment Protection Agency*) define COV como qualquer composto orgânico que participa em uma reação fotoquímica.

Os COVs, normalmente, são substâncias inflamáveis e/ou explosivas e vazamentos de COVs podem criar Atmosfera Explosiva.

Os vazamentos de COVs também podem gerar atmosfera tóxica no ambiente de trabalho e muitos desses COVs provocam Câncer, Mutações Genéticas e Problemas de Reprodução. →

O composto mais comum da classe de COVs é o metano, um gás extremamente eficiente para causar o efeito-estufa.

Este composto é considerado natural, uma vez que pode formar-se a partir da biomassa através de reações naturais.

Outros hidrocarbonetos que também são COVs, contribuem significativamente criando o ozônio que prolonga a vida do metano na atmosfera.

Já os COVs artificiais mais comuns incluem os “*thinners*” e aguarrás, solventes de tintas e de limpeza (ambos tóxicos e inflamáveis), e componentes de combustíveis derivados de petróleo (ex. gasolina e gás veicular).

Um equipamento e/ou sistema de tubulação está em “serviço de COV” quando contém ou entra em contato com um fluido de processo que tenha pelo menos 10% em peso de COV.

Os principais compostos COVs emitidos são:

- Aromáticos: Benzeno, Tolueno, Xilenos;
- Hidrocarbonetos: Gasolina, Diesel, Óleos;
- Gás Natural (principalmente Metano) e GLP;
- Etileno, Propileno, Nafta;
- Cloreto de Vinila;
- Alcanos, Alcenos, Solventes, Álcool;
- Derivados Acrílicos, Cloreto de Metila, Mercaptanas, Gases Refrigerantes.

Os principais locais, com potencial de perdas por emissão fugitiva, são todos os equipamentos e tubulações, que possuem acessórios com algum tipo de vedação ou selagem, de material resiliente, silicone ou borracha, por ex.:

- Bocais flangeados;
- Conexões roscadas;
- Válvulas;
- Plugues e Caps;
- Dispositivos de Alívio de Pressão;
- Selos de Bombas, de Compressores e de Turbinas a gás;
- Conexões de amostragem;
- Tubulações com extremidade aberta.

Nota:

As perdas de produtos, por evaporação ou emanação, que ocorrem em tanque de armazenamento não são consideradas emissões fugitivas, embora apresentem os mesmos riscos, quando contêm fluidos COVs..

4.4. Poluentes Atmosféricos Perigosos Voláteis ou VHAPs-Volatile Hazardous Air Pollutants

Dentre os COVs há os Poluentes Atmosféricos Perigosos Voláteis, em Inglês VHAPs – *Volatile Hazardous Air Pollutants*, extremamente perigosos para a saúde humana, e os mais comuns são Benzeno, Tolueno, Xilenos, Naftaleno, Acetaldeído, Formaldeído, Amônia, Ácido Sulfídrico, Cloreto de Vinila e Ácido Fluorídrico

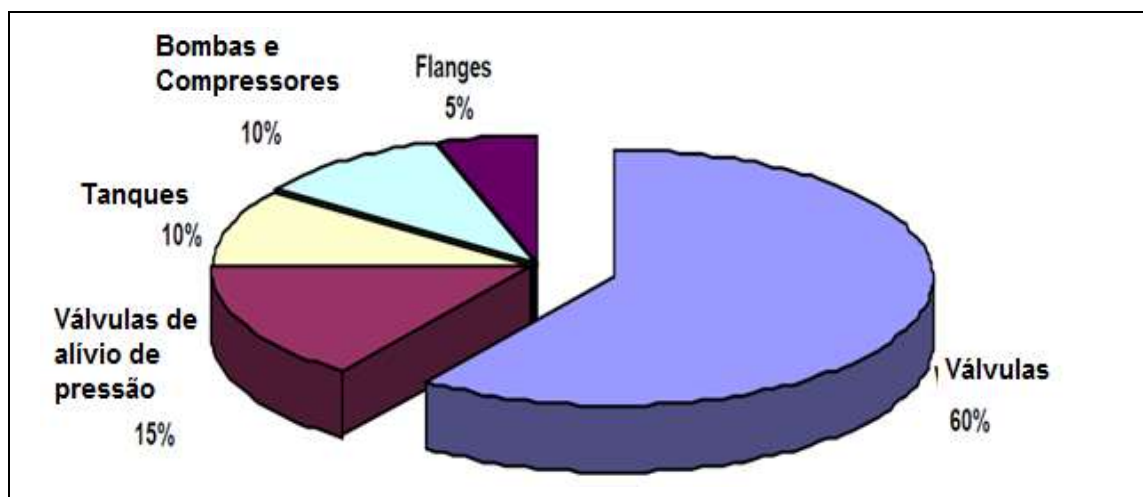
Os VHAPs são, normalmente, produzidos em refinarias de petróleo, petroquímicas e indústrias químicas.

Alguns conhecidos compostos orgânicos clorados como o Cloreto de Metileno e o tricloroetileno são reconhecidos como cancerígenos, outros solventes como o Benzeno, Tolueno e Xileno podem levar à leucemia.

Um equipamento e/ou sistema de tubulação está em “serviço de VHAP” quando contém ou entra em contato com um fluido (líquido ou gás) que tenha pelo menos 10% em peso de um poluente atmosférico perigoso volátil (VHAP).

5. Monitoração

As instalações industriais que produzem, usam, transportam ou armazenam produtos tóxicos, como COVs-Compostos Orgânicos Voláteis e gases de efeito estufa, devem monitorar continuamente as emissões, os vazamentos, as evaporações e as emanações.



Principais fontes de perdas por vazamentos de gases e vapores

Essa monitoração é executada nos equipamentos e tubulações que contenham algum fluido categorizado como COV, através de medição em cada ponto ou local de possível vazamento, que acontece, particularmente, nas vedações e selagens com juntas e gaxetas. .

Há necessidade de se reduzir as emissões fugitivas, principalmente nas indústrias, para assegurar a qualidade do meio ambiente e da vida humana das próximas gerações.

Por outro lado, há o aspecto econômico envolvido, função dos custos com as perdas de produtos por vazamentos.

Os EUA foram o primeiro país a estabelecer um controle efetivo sobre as emissões fugitivas, a partir do programa "*Clean Air Act*", em 1970 pela EPA *Environmental Protection Agency*, e para monitorar estas emissões foi desenvolvido o Método 21 da EPA, utilizando um analisador de gases portátil, para identificação do gás COV e determinação da vazão do vazamento, intrinsecamente seguro para operação em atmosferas explosivas, próprias das indústrias.

5.1. Método *Method 21* desenvolvido pela EPA

O Método 21 *Method 21 Determination of Volatile Organic Compound Leaks* do organismo governamental norte-americano EPA-*Environmental Protection Agency* é aplicável para o monitoramento e medição de vazamentos por emissões fugitivas de COVs de equipamentos e tubulações de processo.

Este monitoramento é feito em ppm (partes por milhão), que dependendo das características toxicológicas ou de periculosidade do fluido da operação, acarreta riscos pessoais, integridade dos ativos e acidentes.

Entre os locais que devem ser monitorados pelo "Método 21", ressalta-se o selo dos eixos de bombas, compressores, turbinas a gás; agitadores e misturadores; hastes de válvulas; dispositivos de alívio de pressão; ligações flangeadas e outras conexões de equipamentos; drenos e respiros de processo; extremidade aberta de tubulação e locais de amostragem de produto, que são as fontes potenciais de vazamentos por emissões fugitivas.

Vários dos compostos COVs e gases de efeito estufa das emissões, que podem ser detectados por este método, também são poluentes perigosos, que causam irritações e ataques corrosivos aos tecidos humanos.

Os compostos das emissões devem ser identificados através do próprio fluido em vazamento e as precauções, para segurança aos executantes das medições, devem ser apropriadas a cada produto.

5.2. LDAR *Leak Detection and Repair*

A par com o Método 21 a EPA também propõe o Programa LDAR *Leak Detection and Repair* para efetivar as ações de detecção e reparo dos vazamentos.

Os: equipamentos e acessórios de tubulações, como válvulas, são uma fonte significativa de emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e Poluentes Atmosféricos Perigosos Voláteis (VHAPs).

A detecção e o reparo de vazamentos, empregando a tecnologia do Programa LDAR, destina-se ao uso em instalações industriais, como refinarias de petróleo, petroquímicas e fábricas de produtos químicos.

O objetivo do LDAR é atender aos requisitos do Método 21 e tornar eficaz as providências necessárias, para sanar o mais rápido possível os vazamentos e, em particular, as emissões fugitivas.

Em uma instalação industrial típica, a maioria das emissões são de válvulas e conexões como ligações flangeadas, porque esses são os componentes mais prevalentes em uma unidade industrial, e embora seja relativamente pouco o fluxo da emissão, eles são da ordem de milhares

A principal causa de emissões de válvulas e conexões é a falha de vedação, juntas, gaxetas e selos, no caso de máquinas, devido ao desgaste normal ou manutenção inadequada.

Estudos anteriores da própria EPA estimam que válvulas e conexões são responsáveis por mais de 90% das emissões, sendo as válvulas a fonte mais significativa, de emissões de COVs de vazamentos de equipamentos.

A seguinte tabela mostra as fontes primárias de emissões de COVs sujeitos às regulamentações do Método 21.

Principais Fontes de Vazamentos de Equipamentos e Tubulações	
Fonte: EPA Leak Detection and Repair A Best Practices Guide	
<p>Bombas As bombas são usadas para transferir líquidos de um ponto para outro. Dois tipos de bombas, amplamente utilizadas em refinarias de petróleo, petroquímicas e plantas químicas, são bombas centrífugas e bombas de deslocamento positivo, ou bombas alternativas.</p>	Vazamentos de bombas normalmente ocorrem na vedação dos bocais e na selagem do eixo.
<p>Válvulas As válvulas são usadas para restringir, permitir ou controlar fluxo de fluidos. As válvulas vêm em inúmeras variedades e, com exceção dos conexões, são os componentes de equipamentos e tubulações de processo mais comum nas indústrias.</p>	Vazamentos de válvulas ocorrem na haste e nas extremidades flangeadas ou roscadas do corpo. Geralmente, são causados por falhas das gaxetas ou dos O-rings, da caixa de gaxetas, e da junta de vedação dos flanges
<p>Conexões As conexões são componentes como flanges e peças roscadas usadas em tubulações e equipamentos de processo. Juntas de vedação são geralmente instaladas entre flanges</p>	Vazamentos de conexões são comumente causados por falha de junta de vedação e de torque de aperto incorreto nos parafusos ou estojos
<p>Pontos de amostragem de produtos As conexões de amostragem são utilizadas para obter amostras do fluido de processo dentro do equipamento ou tubulação.</p>	Vazamentos das conexões de amostragem geralmente ocorrem na saída da válvula de amostragem, quando a linha de amostragem é purgada para retirada da amostra
<p>Compressores Os compressores são projetados para elevar a pressão de um gás e fornecer força motriz para o seu deslocamento. Eles podem ser dos tipos centrífugos, rotativos ou alternativos.</p>	Vazamentos de compressores ocorrem mais frequentemente nas vedações dos flanges de bocais e na selagem do eixo.
<p>Dispositivos de alívio de pressão Dispositivos de alívio de pressão são acessórios de segurança, projetados para proteger o equipamento ou tubulação de exceder a pressão de trabalho máxima permitida. Válvulas de alívio de pressão e discos de ruptura são comumente utilizados como dispositivos de alívio de pressão.</p>	Vazamentos nas válvulas de alívio de pressão podem ocorrer se a válvula não estiver assentada corretamente, operando muito perto do ponto de ajuste ou se a vedação estiver desgastada ou danificada. Vazamentos de discos de ruptura podem ocorrer ao redor da junta de vedação do disco, se não forem instalados corretamente.
<p>Linha de extremidade aberta Linhas abertas são tubos, mangueiras ou mangotes abertas para a atmosfera ou ambiente circundante.</p>	Vazamentos de linhas abertas ocorrem no ponto da linha aberto para a atmosfera e geralmente são resolvidos usando tampões, plugues e flanges.

6. Técnicas de monitoração e medição de vazamentos

As técnicas de detecção e medição de vazamentos e emissões, utilizadas na monitoração, estão condensadas no procedimento da EPA Method 21- *Determination of Volatile Organic Compounds Leaks*.

Para o monitoramento, ponto a ponto, ou seja nos locais passíveis de apresentarem vazamentos, de equipamentos, tubulações e dutos, os aparelhos de detecção e medição de vazão mais utilizados são os Analisadores de Vapor Tóxico TVA-*Toxic Vapor Analyzer*, ou "sniffers". Eles utilizam o princípio de "foto ionização", aferidos para sensibilidades abaixo de 10ppm, ou seja, podem medir e quantificar vazamentos de ordem de 10 SCFM.

Tendo em vista a grande quantidade de pontos potenciais de vazamento, em uma instalação industrial, mais recentemente, a própria EPA autorizou o monitoramento de COVs com a técnica de imagens "*Optical Gas Imaging*", com câmera infravermelha, para a detecção de vazamentos de gases COVs, porém não é possível quantificar o fluxo do vazamento.

Na prática, utilizam-se câmeras de infravermelho (IR - Infrared) como a primeira linha de defesa contra as emissões, e em conjunto com a técnica de analisador “sniffer” quantificar a grandeza do vazamento.

6.1. TVA-Analisador de Vapor Tóxico *Toxic Vapor Analyzer*

Este aparelho é um detetor de vazamento de gases, portátil, leve, intrinsecamente seguro e à prova de explosão, também chamado de “*sniffer*”, que detecta e mede rapidamente a quantidade da emissão fugitiva de compostos orgânicos e inorgânicos, em conformidade com o Método 21 e o programa LDAR, da EPA, para uso em indústrias, remediação de terrenos, monitoramento de aterros, etc..

Os aparelhos devem ser equipadas com os padrões FID (detetor de ionização de chama) e PID (detetor de ionização fotométrica) e comunicação via *bluetooth*, que permitem a transmissão dos dados de concentração coletados para um dispositivo portátil, contendo o banco de dados do *software* LDAR.

De acordo com o Método 21 da EPA, tanto o FID quanto o PID são adequados para monitorar emissões fugitivas. No entanto, existem vantagens e desvantagens para ambos os métodos, dependendo da aplicação em que estão sendo usados.

- Analisador FID (Detetor de ionização de chama)

O detetor de ionização de chama *FID analyzer Flame Ionization Detector* é um instrumento padrão usado na indústria para medir a concentração de gases hidrocarbonetos, mas sua resposta é fraca ou nula para compostos como H_2S , CCl_4 ou NH_3 .

O detetor FID é recomendado para a detecção de hidrocarbonetos como o gás metano.

- Analisador PID (Detetor de foto ionização).

O detetor de fotoionização *PID analyzer Photo Ionization Detector* é um detetor de gás usado para medir compostos orgânicos voláteis (COVs), como benzeno e outros gases, no entanto, não deve ser usado para detectar gás metano.

O analisador de vapores tóxicos TVA2020 da empresa Thermo Fisher Scientific, que substitui a versão anterior chamada de TVA1000, é um analisador de campo portátil, intrinsecamente seguro, para uso em áreas classificadas, com a presença de gases inflamáveis, que utiliza tecnologias tanto de Detecção de Ionização de Chama (FID) quanto de Detecção de Ionização Fotométrica (PID).

O Analisador de Vapor Tóxico TVA2020 praticamente detecta todos compostos orgânicos e inorgânicos, ao utilizar ambas as tecnologias FID e PID, e permite medir o fluxo do vazamento. Pode ser empregado para uso em diversas aplicações, tais como:

- a. Monitoramento de compostos voláteis, pelo Método 21 da EPA para emissões fugitivas;
- b- Estudos para remediação de áreas contaminadas;
- c- Monitoramento de aterros sanitários e avaliações da poluição de áreas em geral.

Este analisador pode ser configurado com as tecnologias FID (Detetor por Ionização de Chama) e PID (Detetor por Fotoionização), para detecção simultânea e medição de compostos orgânicos COVs e hidrocarbonetos, como metano e etano, com alta sensibilidade.

A utilização de uma configuração dupla (FID + PID) produz leituras mais rápidas dos compostos orgânicos e inorgânicos e provê uma maior cobertura de gases.



Foto do Analisador de Vapor Tóxico TVA2020 da empresa Thermo Scientific



Operador de analisador tipo “sniffers”
Estima-se que, em média, um operador treinado pode “cheirar” cerca de 500 pontos em 8 horas de trabalho

6.2. Imagem óptica de gases de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e gases de Efeito Estufa

As máquinas digitais convencionais não são próprias para esta detecção, assim, técnicas de imagens ópticas de infravermelho (IR) têm sido utilizadas na detecção de vazamentos de gases. A câmera deve ser portátil, leve, robusta e própria para utilização em áreas industriais classificadas (à prova de explosão), que utiliza o princípio de termografia infravermelha para detecção de emanações e emissões de gases.

As câmeras devem possuir GPS (*Global Positioning System*, ou Sistema de Posicionamento Global) embutido, para auxiliar as equipes de manutenção a localizar o(os) componente(s) que precisa(m) de reparos

Visivelmente, tais emanações são imperceptíveis, mas, quando observadas com a câmera infravermelho se mostram como nuvens de vapor ou vazamentos de origem bem definida. É um instrumento que se presta à detecção de vazamentos, mas não quantificam a concentração ou o fluxo de um vazamento.

Havendo a necessidade, uma vez que um vazamento é encontrado, a quantificação deste pode ser feito conjugada através de equipamento específico como o “sniffer”.

A EPA, Agência de Proteção Ambiental Americana, estabeleceu uma metodologia para a detecção e reparo de pontos de vazamento de Compostos Orgânicos Voláteis, chamada de LDAR - *Leak Detection and Repair*, e determinou a necessidade de monitoramento e controle das emissões fugitivas por parte das refinarias e petroquímicas

Uma refinaria contém milhares de pontos para se fazer a inspeção com o TVA e isto exige grande compromisso ou dedicação exclusiva de equipes de manutenção para a efetiva execução do LDAR. Ciente dessas dificuldades, a EPA reconhece a necessidade de práticas alternativas para este trabalho e permite a utilização de imagens ópticas, para a detecção de vazamento de gases COVs.

A detecção do COVs requer um tipo específico de câmera (com sensibilidade diferenciada) que seja capaz de fazer uma varredura em grandes áreas e identificar também os pequenos vazamentos, que podem então ser inspecionados mais de perto com um instrumento de quantificação.

A *Optical Gas Imaging* (OGI) é uma tecnologia de imagens térmicas, que utiliza câmeras infravermelhas (IR), intrinsecamente seguras e à prova de explosão, visualizando temperaturas de -40°C a $+350^{\circ}\text{C}$, de alta sensibilidade, para detectar emissões fugitivas de gases industriais. As câmeras de detecção de vazamento de gás permitem a visualização rápida e segura de vazamentos de emissões fugitivas; assim, é possível ver e reparar vazamentos rapidamente, evitar danos significativos e perda de receita, enquanto se cumpre a conformidade regulatória.

A câmera GF320 da empresa FLIR Systems é uma câmera infravermelha (IR) para geração de imagens ópticas de gás, que visualiza e identifica vazamentos de gases COVs e de efeito estufa, sem a necessidade de parar a operação do equipamento e a produção da unidade industrial. A câmera é portátil, detecta emissões, em tempo real, a uma distância segura e ajuda a proteger o meio ambiente, rastreando vazamentos de gases prejudiciais e poluentes, com recurso de GPS, que ajuda a identificar a localização de vazamentos e permitir reparos mais rápidos.

A câmera é a ferramenta de inspeção não invasiva importante para monitorar ambientes industriais, como instalações de refinarias de petróleo, plantas de processamento de gás natural, plataformas offshore, petroquímicas, indústrias químicas, bem como biogás e usinas de geração de energia. É aplicável à detecção de COVs, incluindo os poluentes atmosféricos voláteis perigosos (VHAPs) e hidrocarbonetos, como metano e etano, em setores *upstream* e *downstream* de petróleo e gás, isto é, da produção ao refino e à distribuição.

Com a câmera, os inspetores podem monitorar instalações em áreas perigosas ou remotas, de uma distância segura, detectando vazamentos nocivos e onerosos de hidrocarbonetos ou compostos orgânicos voláteis, em tempo real, porém, não quantifica o vazamento, o que só pode ser executado com os analisadores ou “*sniffers*”.

Elas podem ser fornecidas integradas em invólucros com exigências específicas de intrinsecamente segura e à prova de explosão..



Foto da Câmera GF320 da empresa FLIR

Especificamente, para tanques de armazenamento de combustíveis, a câmera pode auxiliar no planejamento de manutenção preventiva e também na identificação da necessidade de proceder a manutenção corretiva.



Foto da imagem de câmara infravermelha de emanções ou evaporações de Tanque de Armazenamento

7. Programa LDAR-*Leak Detection and Repair*

7.1. Bases do LDAR

Baseado nos estudos da EPA, foi desenvolvido o Programa de Detecção de Vazamentos e Reparos *Leak Detection and Repair* em 1995 nos EUA, conforme os procedimentos do documento EPA-453/R-95-017 *Protocol for Equipment Leak Emission Estimates*.

Foi criado posteriormente ao EPA Method 21 e objetiva analisar a integridade da planta sobre possíveis vazamentos, acima dos limites estabelecidos, e identificar os pontos de manutenções necessárias para eliminar as emissões fugitivas.

As emissões fugitivas de COVs não podem ser detectadas por meio de inspeções visuais, exigindo equipamentos e aparelhos especiais para essa função..

Além disso, se a perda for de fluídos severos e quimicamente perigosos, a quantificação e controle dessas perdas têm que ser muito rígidos.

Para monitorar estas emissões, a EPA desenvolveu o procedimento “Método 21” que utiliza um analisador de gases portátil para a detecção e medição de COVs, com características apropriadas, intrinsecamente seguro para operação em atmosferas explosivas, e a calibração é feita em função do fluido a ser medido.

O “Método 21” permite determinar se o equipamento está ou não vazando, dentro dos limites de ppmv aceitos para o COV em questão, ao medir a concentração ppmv da emissão, mas não possibilita obter uma medição quantitativa (vazão mássica) do vazamento.

A solução para isto seria enclausurar o flange ou o equipamento, que está vazando, de modo a efetuar as medições quantitativas, procedimento este pouco razoável além de nem sempre possível.

Neste sentido, a EPA desenvolveu vários estudos para estabelecer correlações, entre o valor em ppmv das emissões fugitivas, medido pelo analisador, e o fluxo em massa (kg/h), evitando a necessidade do enclausuramento, viabilizando assim a medição quantitativa das emissões fugitivas de COV.

Para isso, estabeleceu um programa de detecção de vazamento e reparos, o LDAR, que, além de reduzir a poluição e riscos de acidentes, acarreta importantes benefícios econômicos para as indústrias que o adotam.

É importante lembrar que estas emissões são na realidade perdas de produto para o meio ambiente e com a aplicação do metodologia proposta pela EPA é possível se estimar o valor anual dessas perdas e o custo correspondente.

Portanto o estabelecimento de um programa de detecção e reparos dos vazamentos por Emissões Fugitivas, denominado nos EUA de *LDAR-Leak Detection and Repair Program* ou Programa de Detecção de Vazamentos e Reparos, pode, além de reduzir a poluição e os riscos de acidentes, trazer benefícios econômicos.

7.2. Programa LDAR e a redução de emissões fugitivas

O *LDAR-Leak Detection and Repair* é um programa desenvolvido pela EPA (Agência Ambiental Norte Americana), implementado pelas empresas com o objetivo de reduzir as perdas por emissões fugitivas para o meio ambiente.

O LDAR é uma metodologia e prática de trabalho desenvolvida pela EPA para detectar, identificar e quantificar os vazamentos de equipamentos e tubulações, por emissões fugitivas, e agilizar os reparos necessários.

Um componente sujeito ao LDAR deve ser monitorado em intervalos regulares e obedecer a requisitos rigorosos, de modo que qualquer componente com vazamento seja reparado ou substituído dentro de um período de tempo, previamente definido e especificado.

Os objetivos básicos do Programa LDAR visam:

- a. Preservar a saúde e integridade física dos empregados;
- b. Proteger o meio ambiente e os recursos naturais;
- c. Atender a padrões de qualidade do ar, saúde e segurança;
- d. Evitar perdas de produtos;

- e. Eliminar ou reduzir emissão de poluentes para a atmosfera;
- f. Redução da emissão de gases de efeito estufa;
- g. Geração de Créditos de Carbono.

Vantagens da aplicação do Programa LDAR

» Vantagem Econômica

Reduz perda de produtos, reduz custos, reduz prêmio pago a Seguradoras e possibilita se requisitar certificados de Crédito Carbono/Metano

» Vantagem Operacional

Reduz risco de acidentes, reduz paradas de manutenção, aumenta eficiência da planta.

» Vantagem Legal

Trabalhista (prova pericial de risco reduzido), insalubridade e periculosidade, ambiental (licenças de operação), atende aos requisitos do Ministério do Trabalho e o Ministério Público.

» Vantagem Publicitária

Imagem positiva para sociedade pois, reduz a poluição em áreas urbanas..

ANEXOS

1. Limites de tolerância à exposição *TLV-Threshold Limit Value*

O Limite de Tolerância à Exposição *TLV-Threshold Limit Value* refere-se às condições limites de qualidade do ar, em ambientes de trabalho, e representa os valores em que se acredita que a quase totalidade dos trabalhadores possa ser repetidamente exposta, sem efeitos adversos à saúde.

Por causa da grande variação de suscetibilidade individual, uma pequena porcentagem destes trabalhadores pode experimentar desconforto com algumas substâncias, em concentrações iguais ou abaixo do valor limite.

Os TLVs referem-se à concentração média, para um dia normal de trabalho (8 horas) ou uma semana (40 horas), e são definidos anualmente pelo órgão do governo norte-americano ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

<https://www.acgih.org/>

Nota:

A ACGIH-American Conference of Governmental Industrial Hygienists é uma associação profissional de higienistas industriais e de profissionais de profissões relacionadas, com sede em Cincinnati, Ohio, EUA; Um de seus objetivos é promover a proteção do trabalhador, fornecendo informações científicas, objetivas e oportunas aos profissionais de saúde ocupacional e ambiental.

A ACGIH estabelece, anualmente, os Valores Limites de Exposição *TLVs-Threshold Limit Value* para substâncias químicas e agentes físicos, que são diretrizes destinadas ao uso na prática da higiene industrial para a proteção do trabalhador.

A lista atual de TLVs inclui mais de 600 substâncias químicas e agentes físicos.

2. Norma Regulamentadora NR-15 Atividades e Operações Insalubres

A Norma Regulamentadora NR-15 “Atividades e Operações Insalubres” apresenta no Anexo nº 11 “Agentes químicos cuja insalubridade é caracterizada por limite de tolerância e inspeção no local de trabalho” o procedimento para tratar as substâncias químicas perigosas ao trabalhador.

No Quadro nº1 “Tabela de Limites de Tolerância”, da NR-15, estão listados os agentes químicos consideradas insalubres e o limite máximo de exposição dos trabalhadores, em jornadas de trabalho de até 48 horas/semana.

Todos os valores fixados são válidos para absorção apenas por via respiratória.

O caso particular do Benzeno é tratado no Anexo nº 13-A, que tem como objetivo regulamentar ações, atribuições e procedimentos de prevenção da exposição ocupacional ao benzeno, visando à proteção da saúde do trabalhador, visto tratar-se de um produto comprovadamente cancerígeno. Todas as empresas que produzem, transportam, armazenam, utilizam ou manipulam benzeno e suas misturas líquidas contendo 1% (um por cento) ou mais de volume, devem atender a esse Anexo.. .

3. Lista dos poluentes perigosos Hazardous air pollutants
Conforme a Legislação Norte-Americana EUA
42 U.S. Code Chapter 85 - AIR POLLUTION PREVENTION AND CONTROL
Subchapter I—PROGRAMS AND ACTIVITIES
Part A—AIR QUALITY AND EMISSION LIMITATIONS
Section §7412. Hazardous air pollutants
<https://www.law.cornell.edu/uscode/text/42/7412>

CAS number	Chemical name
75070	Acetaldehyde
60355	Acetamide
75058	Acetonitrile
98862	Acetophenone
53963	2-Acetylaminofluorene
107028	Acrolein
79061	Acrylamide
79107	Acrylic acid
107131	Acrylonitrile
107051	Allyl chloride
92671	4-Aminobiphenyl
62533	Aniline
90040	o-Anisidine
1332214	Asbestos
71432	Benzene (including benzene from gasoline)
92875	Benzidine
98077	Benzotrichloride
100447	Benzyl chloride
92524	Biphenyl
117817	Bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP)
542881	Bis(chloromethyl)ether
75252	Bromoform
106990	1,3-Butadiene
156627	Calcium cyanamide
105602	Caprolactam

CAS number	Chemical name
133062	Captan
63252	Carbaryl
75150	Carbon disulfide
56235	Carbon tetrachloride
463581	Carbonyl sulfide
120809	Catechol
133904	Chloramben
57749	Chlordane
7782505	Chlorine
79118	Chloroacetic acid
532274	2-Chloroacetophenone
108907	Chlorobenzene
510156	Chlorobenzilate
67663	Chloroform
107302	Chloromethyl methyl ether
126998	Chloroprene
1319773	Cresols/Cresylic acid (isomers and mixture)
95487	o-Cresol
108394	m-Cresol
106445	p-Cresol
98828	Cumene
94757	2,4-D, salts and esters
3547044	DDE
334883	Diazomethane
132649	Dibenzofurans
96128	1,2-Dibromo-3-chloropropane
84742	Dibutylphthalate
106467	1,4-Dichlorobenzene(p)
91941	3,3-Dichlorobenzidene
111444	Dichloroethyl ether (Bis(2-chloroethyl)ether)

CAS number	Chemical name
542756	1,3-Dichloropropene
62737	Dichlorvos
111422	Diethanolamine
121697	N,N-Diethyl aniline (N,N-Dimethylaniline)
64675	Diethyl sulfate
119904	3,3-Dimethoxybenzidine
60117	Dimethyl aminoazobenzene
119937	3,3'-Dimethyl benzidine
79447	Dimethyl carbamoyl chloride
68122	Dimethyl formamide
57147	1,1-Dimethyl hydrazine
131113	Dimethyl phthalate
77781	Dimethyl sulfate
534521	4,6-Dinitro-o-cresol, and salts
51285	2,4-Dinitrophenol
121142	2,4-Dinitrotoluene
123911	1,4-Dioxane (1,4-Diethyleneoxide)
122667	1,2-Diphenylhydrazine
106898	Epichlorohydrin (1-Chloro-2,3-epoxypropane)
106887	1,2-Epoxybutane
140885	Ethyl acrylate
100414	Ethyl benzene
51796	Ethyl carbamate (Urethane)
75003	Ethyl chloride (Chloroethane)
106934	Ethylene dibromide (Dibromoethane)
107062	Ethylene dichloride (1,2-Dichloroethane)
107211	Ethylene glycol
151564	Ethylene imine (Aziridine)
75218	Ethylene oxide
96457	Ethylene thiourea

CAS number	Chemical name
75343	Ethylidene dichloride (1,1-Dichloroethane)
50000	Formaldehyde
76448	Heptachlor
118741	Hexachlorobenzene
87683	Hexachlorobutadiene
77474	Hexachlorocyclopentadiene
67721	Hexachloroethane
822060	Hexamethylene-1,6-diisocyanate
680319	Hexamethylphosphoramide
110543	Hexane
302012	Hydrazine
7647010	Hydrochloric acid
7664393	Hydrogen fluoride (Hydrofluoric acid)
123319	Hydroquinone
78591	Isophorone
58899	Lindane (all isomers)
108316	Maleic anhydride
67561	Methanol
72435	Methoxychlor
74839	Methyl bromide (Bromomethane)
74873	Methyl chloride (Chloromethane)
71556	Methyl chloroform (1,1,1-Trichloroethane)
78933	Methyl ethyl ketone (2-Butanone)
60344	Methyl hydrazine
74884	Methyl iodide (Iodomethane)
108101	Methyl isobutyl ketone (Hexone)
624839	Methyl isocyanate
80626	Methyl methacrylate
1634044	Methyl tert butyl ether
101144	4,4-Methylene bis(2-chloroaniline)

CAS number	Chemical name
75092	Methylene chloride (Dichloromethane)
101688	Methylene diphenyl diisocyanate (MDI)
101779	4,4'-Methylenedianiline
91203	Naphthalene
98953	Nitrobenzene
92933	4-Nitrobiphenyl
100027	4-Nitrophenol
79469	2-Nitropropane
684935	N-Nitroso-N-methylurea
62759	N-Nitrosodimethylamine
59892	N-Nitrosomorpholine
56382	Parathion
82688	Pentachloronitrobenzene (Quintobenzene)
87865	Pentachlorophenol
108952	Phenol
106503	p-Phenylenediamine
75445	Phosgene
7803512	Phosphine
7723140	Phosphorus
85449	Phthalic anhydride
1336363	Polychlorinated biphenyls (Aroclors)
1120714	1,3-Propane sultone
57578	beta-Propiolactone
123386	Propionaldehyde
114261	Propoxur (Baygon)
78875	Propylene dichloride (1,2-Dichloropropane)
75569	Propylene oxide
75558	1,2-Propylenimine (2-Methyl aziridine)
91225	Quinoline
106514	Quinone

CAS number	Chemical name
100425	Styrene
96093	Styrene oxide
1746016	2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin
79345	1,1,2,2-Tetrachloroethane
127184	Tetrachloroethylene (Perchloroethylene)
7550450	Titanium tetrachloride
108883	Toluene
95807	2,4-Toluene diamine
584849	2,4-Toluene diisocyanate
95534	o-Toluidine
8001352	Toxaphene (chlorinated camphene)
120821	1,2,4-Trichlorobenzene
79005	1,1,2-Trichloroethane
79016	Trichloroethylene
95954	2,4,5-Trichlorophenol
88062	2,4,6-Trichlorophenol
121448	Triethylamine
1582098	Trifluralin
540841	2,2,4-Trimethylpentane
108054	Vinyl acetate
593602	Vinyl bromide
75014	Vinyl chloride
75354	Vinylidene chloride (1,1-Dichloroethylene)
1330207	Xylenes (isomers and mixture)
95476	o-Xylenes
108383	m-Xylenes
106423	p-Xylenes
0	Antimony Compounds
0	Arsenic Compounds (inorganic including arsine)
0	Beryllium Compounds

CAS number	Chemical name
0	Cadmium Compounds
0	Chromium Compounds
0	Cobalt Compounds
0	Coke Oven Emissions
0	Cyanide Compounds ¹
0	Glycol ethers ²
0	Lead Compounds
0	Manganese Compounds
0	Mercury Compounds
0	Fine mineral fibers ³
0	Nickel Compounds
0	Polycyclic Organic Matter ⁴
0	Radionuclides (including radon) ⁵
0	Selenium Compounds