

## Como medir o dióxido de carbono



Muitas aplicações exigem a medição do dióxido de carbono, da automação de edifícios e estufas à segurança e ciências da vida.

Este documento aborda os seguintes assuntos:

- Princípio da operação dos sensores infravermelhos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- A Lei dos gases ideais e como usá-la para compensar fatores ambientais em medições de CO<sub>2</sub>
- Locais ideais para os transmissores de CO<sub>2</sub>
- Questões de segurança relacionadas ao CO<sub>2</sub>

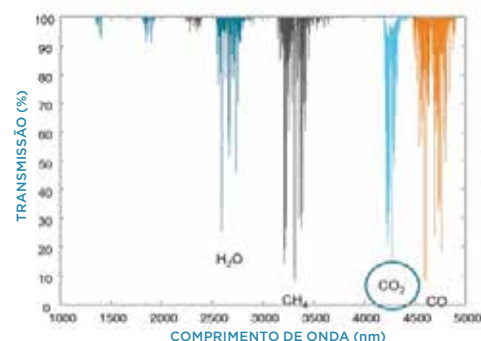
### Princípios da operação dos sensores infravermelhos

O dióxido de carbono e outros gases compostos por dois ou mais átomos diferentes têm uma forma característica e exclusiva de absorver a radiação infravermelha (IV). Tais gases são detectáveis por meio de técnicas IV. Vapor de água, metano, dióxido de carbono e monóxido de carbono são exemplos de gases que podem ser medidos por meio de um sensor IV. Suas faixas de absorção características são mostradas na **Figura 1**.

O sensor IV é a tecnologia mais amplamente usada para a detecção de CO<sub>2</sub>. Os sensores IV têm muitas vantagens sobre os sensores químicos. Eles são estáveis e bastante seletivos em relação ao gás medido. Os sensores IV têm vida útil longa

e, como não interagem de forma direta com o gás medido, podem suportar altos índices de umidade, poeira, sujeira e outras condições severas.

Os principais componentes do detector IV de CO<sub>2</sub> são: a fonte de luz, a câmara de medição, o filtro de interferência e o detector IV. Por meio do gás medido, a radiação IV é direcionada da fonte de luz até o detector. Um filtro localizado na frente do detector evita a passagem pelo detector de outros comprimentos de onda além do comprimento específico do gás medido. A intensidade da luz é detectada e convertida em um valor de concentração de gás.



**Figura 1.** Absorção IV de CO<sub>2</sub> e alguns outros gases.

O sensor de dióxido de carbono CARBOCAP® da Vaisala usa a tecnologia do sensor IV para medir a concentração volumétrica do CO<sub>2</sub>. Ele possui um exclusivo filtro Interferômetro de Fabry-Perot (IFP) de sintonização elétrica, que possibilita a medição de duplo comprimento de onda. Isso significa que, além de medir a absorção de CO<sub>2</sub>, o sensor CARBOCAP® também realiza uma medição de referência para compensar alterações na intensidade da fonte de luz, além de contaminação e acúmulo de sujeira. Assim, o sensor permanece extremamente estável ao longo do tempo. Veja a linha completa de produtos da Vaisala para medição de CO<sub>2</sub> em [www.vaisala.com/CO2](http://www.vaisala.com/CO2)

para descrever o comportamento dos gases reais. A lei dos gases ideais expressa o estado de determinada quantidade de gás em termos de pressão, volume e temperatura, conforme a equação:

$$pV = nRT$$

em que

$p$  = pressão [Pa]

$V$  = volume do gás [m<sup>3</sup>]

$n$  = quantidade de gás [mol]

$R$  = constante universal dos gases (= 8,3145 J/mol K)

$T$  = temperatura [K]



Figura 2. A estrutura do sensor de CO<sub>2</sub> CARBOCAP® da Vaisala.

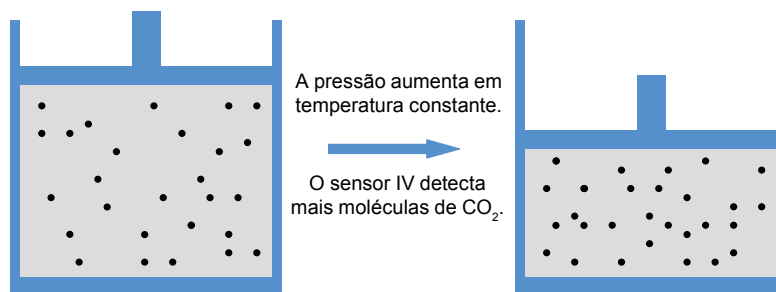
## Lei dos gases ideais

A Lei dos gases ideais é útil para estimar o efeito das mudanças na temperatura e na pressão sobre a medição CO<sub>2</sub>. Ela pode ser usada para compensar as leituras de CO<sub>2</sub>.

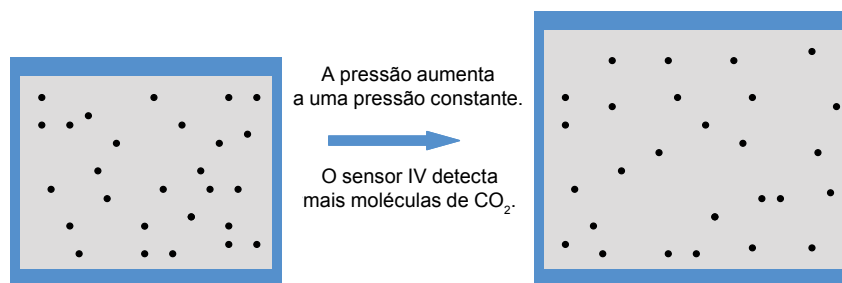
O gás ideal é um gás hipotético composto por partículas pontuais que se movem aleatoriamente, têm tamanho insignificante e possuem forças intermoleculares insignificantes. Presume-se que as moléculas de gás ideal sofram colisões elásticas entre si e com as paredes do recipiente.

Os gases reais não se comportam exatamente como gases ideais, mas a aproximação é bastante usada

### Aumento da pressão em temperatura constante



### Aumento da temperatura a uma pressão constante



## Locais ideais para os transmissores de CO<sub>2</sub>

- Evite locais onde as pessoas podem respirar diretamente no sensor. Também evite colocar sensores perto de janelas, entradas ou dutos de exaustão ou entrada de ar.
- Na ventilação controlada por demanda, sensores montados na parede proporcionam dados mais precisos sobre a eficácia da ventilação do que sensores montados em dutos. Sensores montados em dutos são mais adequados a sistemas de zona única e devem ser instalados o mais perto possível do espaço ocupado para permitir fácil acesso para manutenção.
- Ao medir o CO<sub>2</sub> para fins de segurança dos funcionários, os transmissores devem ser instalados próximos aos possíveis pontos de vazamento para permitir a detecção precoce. É preciso considerar a geometria, a ventilação e o fluxo de ar da área monitorada. A quantidade e a localização dos transmissores de CO<sub>2</sub> devem ser baseadas em uma avaliação de riscos.

## O efeito da temperatura e da pressão sobre a medição do CO<sub>2</sub>

A maioria dos sensores de gás gera um sinal proporcional à densidade molecular (moléculas/volume de gás), mesmo que a leitura seja expressa em partes por milhão (volume/volume). Conforme a pressão e/ou temperatura muda, a densidade molecular do gás muda conforme a lei dos gases ideais. Este efeito é visto na leitura de ppm do sensor.

As ilustrações a seguir mostram como um aumento na temperatura ou na pressão altera o estado do gás e como isso afeta a medição do CO<sub>2</sub>.

A lei dos gases ideais pode ser usada para calcular a densidade molecular de um gás sob dada temperatura e pressão, quando a densidade do gás sob Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP) é conhecida. Substituindo a quantidade de gás (n) por  $\rho V/M$  e presumindo que a massa molar do gás (M) é constante nas duas condições diferentes, podemos escrever a equação conforme a [Equação 1](#).

A fórmula da densidade pode ser usada para estimar como a leitura do sensor de gás muda conforme as alterações na temperatura e/ou pressão.

		Temperatura (°C)									
		-20	-10	0	10	20	25	30	40	50	60
Pressão (hPa)	700	814	783	754	728	703	691	680	658	638	618
	800	930	895	862	832	803	790	777	752	729	707
	900	1046	1007	970	936	904	888	874	846	820	795
	1000	1163	1119	1078	1039	1004	987	971	940	911	883
	1013	1178	1133	1092	1053	1017	1000	983	952	923	895
	1100	1279	1230	1185	1143	1104	1086	1068	1034	1002	972
	1200	1395	1342	1293	1247	1205	1185	1165	1128	1093	1060
	1300	1512	1454	1401	1351	1305	1283	1262	1222	1184	1148

**Tabela 1.** Leitura de ppm de um sensor de CO<sub>2</sub> ao medir um gás com concentração de 1.000 ppm sob diversas condições de temperatura e pressão.

$$\rho(t, p) = \rho(25^{\circ}\text{C}, 1013\text{hPa}) \times \frac{p}{1013} \times \frac{298}{(273+t)}$$

em que

- $\rho$  = concentração do volume do gás [ppm ou %]
- $p$  = pressão ambiente [hPa]
- $t$  = temperatura ambiente [°C]

**Equação 1.** Cálculo da concentração de gás em certa temperatura e pressão.

A fórmula da densidade pode ser usada para compensar variações na temperatura e na pressão ao medir o CO<sub>2</sub>. Os instrumentos comuns para medir o CO<sub>2</sub> não medem a pressão e, portanto, não conseguem compensar automaticamente as variações na pressão. Quando calibrados na fábrica, os instrumentos costumam ser configurados para as condições de pressão no nível do mar (1013 hPa). Ao fazer medições em uma altitude que não seja o nível do mar, é aconselhável compensar o efeito da pressão. Isso pode ser feito inserindo as configurações corretas de pressão para compensação interna (condições constantes de pressão) ou programando a compensação em um computador ou sistema de automação (condições variáveis de pressão).

As mesmas regras de compensação se aplicam ao efeito da temperatura. De qualquer maneira, há cada vez mais medidores de CO<sub>2</sub> disponíveis que medem e compensam variações na temperatura e, portanto, não exigem compensação externa.

A [Tabela 1](#) mostra um exemplo das alterações na leitura do sensor de CO<sub>2</sub> (o gás contém 1.000 ppm de CO<sub>2</sub> em CNTP) conforme as mudanças na temperatura e na pressão, de acordo com a lei dos gases ideais.

## Secagem de uma amostra de gás úmido

O método da lei dos gases ideais também proporciona uma forma de compreender o que acontece quando a composição de uma mistura de gases varia sob temperatura, volume e pressão constantes. Isso pode ser usado, por exemplo, para estimar o efeito de alterações na umidade sobre uma leitura de CO<sub>2</sub>.

As moléculas de uma mistura de gases existem no mesmo volume do sistema (V idêntico para todos os gases) e na mesma temperatura. Então, a lei dos gases ideais pode ser alterada para:

$$p = (n_{\text{gás1}} + n_{\text{gás2}} + n_{\text{gás3}} + \dots + n_{\text{gásn}}) \times \frac{RT}{V}$$

em que

- $n_{\text{gás1}}$  = quantidade de gás 1 [mol]
- $n_{\text{gás2}}$  = quantidade de gás 2 [mol], etc.

e

$$p = p_{\text{gás1}} + p_{\text{gás2}} + p_{\text{gás3}} + \dots + p_{\text{gásn}}$$

em que

- $p$  = pressão total da mistura de gases
- $p_{\text{gás1}}$  = pressão parcial do gás 1
- $p_{\text{gás2}}$  = pressão parcial do gás 2, etc.

A segunda equação é chamada Lei de Dalton das Pressões Parciais. Ela declara que a pressão total de uma mistura de gases é a soma das pressões parciais de todos os gases que compõem a mistura.

Essa informação é útil ao considerar a influência do vapor da água sobre as leituras do sensor de CO<sub>2</sub>. Quando o vapor da água é adicionado a um gás seco sob pressão, temperatura e volume constantes, a água substitui algumas das moléculas de gás na mistura.

De maneira semelhante, quando a amostra de gás é retirada de um ambiente com alta umidade, mas seca antes de entrar na câmara de medição do medidor de CO<sub>2</sub>, a perda de moléculas de água altera a composição do gás e afeta a medição do CO<sub>2</sub>.

O efeito de diluição pode ser estimado usando a **Tabela 2**. É possível calcular a concentração

T <sub>d</sub> (°C)	T <sub>d</sub> (°C)	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
T <sub>d</sub> (°C)	ppm H <sub>2</sub> O	127	377	1 020	2 580	6 060	12 200	23 200	42 000	73 000	122 000	197 000
-60	11	0.9999	0.9996	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-50	39	0.9999	0.9997	0.999	0.997	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-40	127	1.0000	0.9997	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-30	377		1.0000	0.999	0.998	0.994	0.988	0.977	0.958	0.927	0.878	0.803
-20	1 020			1.000	0.996	0.995	0.989	0.978	0.959	0.928	0.879	0.804
-10	2 580				1.000	0.997	0.990	0.979	0.961	0.930	0.880	0.805
0	6 060					1.000	0.994	0.983	0.964	0.933	0.884	0.809
10	12 200						1.000	0.989	0.970	0.939	0.890	0.815
20	23 200							1.000	0.981	0.950	0.901	0.826
30	42 000								1.000	0.969	0.920	0.845
40	73 000									1.000	0.951	0.876
50	122 000										1.000	0.925
60	197 000											1.000

**Tabela 2.** Coeficientes de diluição na secagem da amostra de gás.

de CO<sub>2</sub> de um ambiente com alta umidade, caso a concentração de CO<sub>2</sub> do gás seco seja conhecida. Para isso, é preciso saber o ponto de orvalho (T<sub>d</sub> em 1013 hPa) ou a concentração de água (ppm) nas condições seca e úmida. A condição de umidade do ambiente com alta umidade é selecionada no eixo horizontal, e a condição do gás seco, no eixo vertical.

**Exemplo:** Uma amostra de gás é retirada de um ambiente com ponto de orvalho de 40 °C (73.000 ppm de água) e levada a um ambiente de 20 °C T<sub>d</sub> (23.200 ppm de água). A concentração de CO<sub>2</sub> medida de 5,263% em 20 °C T<sub>d</sub> resulta em 5,00% no ambiente de 40 °C T<sub>d</sub> (5,263% × 0,950 = 5,00%). A leitura menor é causada pela diluição gerada pelo maior conteúdo de água a 40 °C T<sub>d</sub>.

## Dióxido de carbono e segurança

O dióxido de carbono é um gás não tóxico e não inflamável. Entretanto, a exposição a concentrações elevadas pode gerar risco à vida. Quando o CO<sub>2</sub> ou o gelo seco é usado, produzido, transportado ou armazenado, a concentração de CO<sub>2</sub> pode chegar a níveis altos e perigosos. Como o CO<sub>2</sub> não possui odor e cor, os vazamentos são impossíveis de se detectar. Portanto, é preciso usar sensores apropriados para ajudar a garantir a segurança dos funcionários.

### Efeitos de diversos níveis de CO<sub>2</sub>

CONCENTRAÇÃO	EFEITO
350 a 450 ppm	Concentração típica na atmosfera
600 a 800 ppm	Qualidade aceitável para o ar interno
1.000 ppm	Qualidade tolerável para o ar interno
5.000 ppm	Limite médio de exposição por período de 8 horas
6.000 a 30.000 ppm	Preocupante, somente exposição rápida
3 - 8%	Aumento na taxa de respiração, dor de cabeça
> 10%	Náuseas, vômitos, inconsciência
> 20%	Inconsciência rápida, morte

**VAISALA**

Fale conosco em  
[www.vaisala.com/contactus](http://www.vaisala.com/contactus)



Digitalize o código para obter mais informações

Ref. B211228PT-B ©Vaisala 2019

Este material está sujeito à proteção de direitos autorais, com todos os direitos autorais pertencentes à Vaisala e seus parceiros individuais. Todos os direitos reservados. Todos os logotipos e/ou nomes de produtos são marcas comerciais da Vaisala ou de seus parceiros individuais. A reprodução, transferência, distribuição ou armazenamento das informações contidas nesse informativo, independentemente da forma, sem o prévio consentimento por escrito da Vaisala são estritamente proibidos. Todas as especificações - inclusive técnicas - estão sujeitas a alteração sem aviso prévio.

[www.vaisala.com](http://www.vaisala.com)