

Medição de CO₂ em incubadoras - Perguntas e respostas



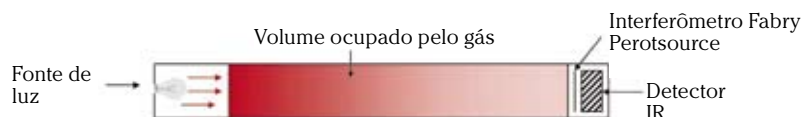
Perguntas mais frequentes

1. Como funciona o sensor de duplo comprimento de feixe único do CARBOCAP®, NDIR (não-dispersivo de infra-vermelho) ?
2. Como a temperatura e a pressão afetam a medição de CO₂ ?
3. Como o erro de temperatura e a pressão podem ser corrigidos utilizando-se os produtos de CO₂ da Vaisala?
4. Como pode ser evitada a condensação quando a amostragem vem das incubadoras?
5. Por quê a leitura da concentração de CO₂ é maior do que o esperado quando se utiliza o método de amostragem de bomba com tubo de secagem?

O objetivo deste documento é responder as questões mais frequentes, muitas vezes relacionadas à medição de CO₂ e produtos.

1. Como funciona o sensor de duplo comprimento de feixe único do CARBOCAP®, NDIR (não-dispersivo de infra-vermelho) ?

O sensor do Vaisala CARBOCAP® tem três componentes principais: uma fonte de luz, um interferômetro e um detector IR. A fonte de luz está posicionada para brilhar no detector IR para que a luz percorra uma distância fixa para o detector, onde a intensidade da luz é medida.



No comprimento de onda de absorção de CO₂, a luz é absorvida pelo dióxido de carbono presente no gás. O FPI ajusta todos os outros comprimentos de onda, de modo que a intensidade da luz que chega ao detector IR varia em função da quantidade de CO₂ dentro do sensor.

Um interferômetro Fabry-Perot (FPI) é posicionado em frente ao detector IR. O FPI é um filtro ajustável que permite que apenas certos comprimentos de onda de luz passem através do detector. O dióxido de carbono absorve determinados comprimentos de onda de luz e não outras, de modo que o FPI é desenhado para passar a luz em um comprimento de onda de absorção de CO₂ (4.26 µm) e não nas proximidades de absorção de onda. Veja a ilustração à esquerda.

Quando o sensor está funcionando, o FPI é regularmente ajustado para frente e para trás, entre os dois comprimentos de onda. No comprimento de onda de absorção do CO₂, a intensidade da luz detectada é reduzida na proporção da concentração de CO₂ no caminho óptico. A intensidade da luz medida no comprimento de onda não-absorvente serve como base para comparação.



O FPI é ajustado para uma referência de comprimento de onda não-absorvente próxima, onde o detector IR mede a intensidade total da luz, criando uma base de comparação. Quaisquer alterações no desempenho da fonte de luz, FPI ou detector IR, afetam tanto as medições de forma igual, preservando a diferença entre ambas as medidas e, portanto, a calibração do sensor. Esta é a chave para a estabilidade a longo prazo do sensor.

Como a concentração de CO₂ varia, a diferença da intensidade da luz varia. A relação exata entre a intensidade da luz IR, volume e concentração de CO₂ é determinada quando o instrumento é calibrado usando-se nitrogênio puro (0 ppm CO₂) e uma concentração conhecida de CO₂.

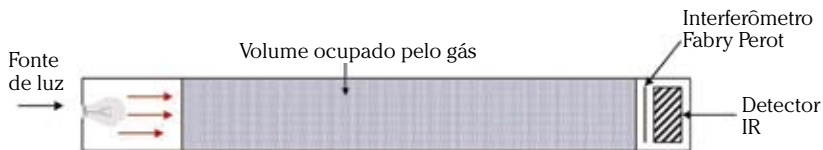
O design do sensor CARBOCAP® é simples e robusto, usando apenas uma fonte de luz e um detector IR. Isto elimina erros causados por pequenas diferenças nos vários componentes de modelos de sensores de eixo duplo. O FPI utilizado no sensor CARBOCAP® é micro-usinado a partir de silício e não tem partes móveis, proporcionando confiabilidade muito superior ao design mecânico das rodas “chopper wheel”.

2. Como a temperatura e a pressão afetam a medição de CO₂?

Todos os instrumentos infravermelhos não-dispersivos fundamentalmente medem a densidade molecular (número de moléculas no caminho do feixe). A maioria dos usuários preferem a saída em porcentagem de volume, desta forma, os instrumentos CO₂ são ajustados para exibir correlacionando o número de moléculas a uma concentração de volume de CO₂ conhecida.

Por serem os gases compreensíveis, a sua densidade molecular modifica-se com a mudança da pressão

atmosférica do ambiente e temperatura, o que significa que a saída é dependente da pressão e temperatura, veja as ilustrações abaixo.



Os pontos azuis representam as moléculas de CO₂ no ar ao nível do mar.



Com o aumento da altitude e diminuição da pressão, menos moléculas de CO₂ ocupam o mesmo espaço, embora a porcentagem de CO₂ quanto a outros gases, permaneça a mesma. Como os sensores NDIR “contam moléculas” no caminho óptico, para exibir corretamente % CO₂, a medição deve ser ajustada para a diferença de pressão ou o instrumento irá exibir uma baixa leitura errada.

A medição de CO₂ deve ser compensada, se as condições de medição se afastam significativamente das condições de calibração, que são 1013 hPa e 25 °C. Veja as tabelas 1 e 2 para ver a magnitude do efeito das mudanças não compensadas na pressão e temperatura de acordo com a lei do gás ideal.

Para uma compreensão detalhada da necessidade de compensação, é útil algum conhecimento prévio sobre o comportamento dos gases. Em qualquer mistura de gases, a pressão total do gás é a soma das pressões parciais dos componentes dos gases. Esta é a lei de Dalton, e é representado como segue:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 \dots$$

A quantidade de qualquer gás em uma mistura pode ser expressa como uma pressão. Com ar como um exemplo, os principais componentes são o nitrogênio, oxigênio, dióxido de carbono e vapor d`água; a pressão atmosférica total é composta das pressões parciais destes gases. A pressão parcial de cada gás é o produto de sua concentração e a pressão total do sistema.

O ar que respiramos é composto de cerca de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 0,9% de argônio e aproximadamente 0,04% de dióxido de carbono, Estes percentuais permanecem praticamente constantes em toda a atmosfera, independente da altitude,

A pressão média da atmosfera ao nível do mar é de cerca de 1013 hPa, portanto, a pressão parcial de dióxido de carbono é de 0,04% de 1013hPa (0,0004*1013), ou 0,405 hPa, Por exemplo, em Denver, Colorado, nos Estados Unidos, onde a altitude é de aproximadamente 5,280 pés e a pressão atmosférica é de cerca de 834,3hPa, o mesmo 0,04% de dióxido de carbono nos dá uma pressão parcial de 0,334 contra 0,405 hPa,

Embora o CO₂ ainda componha 0,04% da atmosfera nesta altitude maior, a pressão é menor, e quando a pressão diminui, a densidade molecular diminui, Desde que os sensores NDIR fundamentalmente medem a densidade molecular, a compensação deve ser feita quando um por cento do volume ou a leitura de ppmv é necessária, A compensação de temperatura também é importante porque quando a temperatura diminui a densidade molecular aumenta,

Tabela 1 Efeito nas leituras de %CO₂ devido as mudanças de pressão não corrigidas em um sensor NDIR de acordo com a lei do gás ideal

| Instrumentos calibrados em 25 °C e 1013 hPa | | | | | |
|---|--------|---------------|---|--|-------------------------------|
| Altitude acima do nível do mar | | Pressão (hPa) | Medição de concentração (%CO ₂) | Concentração corrigida (%CO ₂) | Diferença (%CO ₂) |
| pés | metros | | | | |
| 0 | 0 | 1013 | 5,00 | 5,00 | 0,00 |
| 500 | 153 | 992,8 | 4,90 | 5,00 | 0,10 |
| 1000 | 305 | 979,1 | 4,83 | 5,00 | 0,17 |
| 1500 | 458 | 958,4 | 4,73 | 5,00 | 0,27 |
| 2000 | 610 | 937,7 | 4,63 | 5,00 | 0,37 |
| 2500 | 763 | 923,9 | 4,56 | 5,00 | 0,44 |
| 3000 | 915 | 903,2 | 4,46 | 5,00 | 0,54 |
| 3500 | 1068 | 889,4 | 4,39 | 5,00 | 0,61 |
| 4000 | 1220 | 868,7 | 4,29 | 5,00 | 0,71 |
| 4500 | 1373 | 854,9 | 4,22 | 5,00 | 0,78 |
| 5000 | 1526 | 834,3 | 4,12 | 5,00 | 0,88 |
| 5500 | 1679 | 820,5 | 4,05 | 5,00 | 0,95 |
| 6000 | 1831 | 806,7 | 3,98 | 5,00 | 1,02 |

Tabela 2 Efeito nas leituras de %CO₂ devido as mudanças de temperaturas não corrigidas em um sensor NDIR de acordo com a lei do gás ideal

| Instrumentos calibrados em 25 °C e 1013 hPa | | | |
|---|---|--|-------------------------------|
| Temperatura (°C) | Medição de concentração (%CO ₂) | Concentração corrigida (%CO ₂) | Diferença (%CO ₂) |
| 25 | 5,00 | 5,00 | 0,00 |
| 26 | 4,98 | 5,00 | 0,02 |
| 27 | 4,97 | 5,00 | 0,03 |
| 28 | 4,95 | 5,00 | 0,05 |
| 29 | 4,93 | 5,00 | 0,07 |
| 30 | 4,92 | 5,00 | 0,08 |
| 31 | 4,90 | 5,00 | 0,10 |
| 32 | 4,89 | 5,00 | 0,11 |
| 33 | 4,87 | 5,00 | 0,13 |
| 34 | 4,85 | 5,00 | 0,15 |
| 35 | 4,84 | 5,00 | 0,16 |
| 36 | 4,82 | 5,00 | 0,18 |
| 37 | 4,81 | 5,00 | 0,19 |

3. Como podem os erros de temperatura e pressão serem corrigidos utilizando-se os produtos de CO₂ da Vaisala?

Medições de dióxido de carbono nas temperaturas e pressões diferentes das condições de calibração podem precisar ser corrigidas para atingir a precisão requerida. A forma mais simples de correção para uma leitura de percentual de volume pode ser feita utilizando-se uma fórmula de acordo com a lei do gás ideal.

$$c_{\text{corrigido}} (\%/ppm) = \frac{c_{\text{medido}} (\%/ppm) * (1013 * (t(^{\circ}\text{C}) + 273))}{(298\text{K} * p(\text{hPa}))}$$

No medidor portátil de Dióxido de Carbono GM70 do Vaisala CARBOCAP® a temperatura e pressão do ambiente no ponto de medição podem ser facilmente definidas no menu do usuário GM70. As compensações são feitas internamente e o instrumento exibe a medição corrigida. A correção interna também leva em conta as dependências causadas por leis de gás real, bem como a eletrônica e os componentes ópticos do instrumento. A correção interna é mais precisa para o GM70 do que a correção da lei do gás ideal.

Outra maneira de compensar a temperatura é conectar uma sonda HMP77B de Umidade e Temperatura do Vaisala HUMICAP® ao indicador MI70 ao lado da sonda de CO₂. A temperatura medida com a sonda pode ser ajustada para compensar automaticamente a leitura de CO₂.

Nas séries Transmissoras de Dióxido de Carbono GMT220 do Vaisala CARBOCAP® e série módulo de Dióxido de Carbono GMM220 também do Vaisala CARBOCAP®, as compensações também podem ser aplicadas internamente. As configurações podem ser alteradas através de uma conexão de PC. O GMT220 e GMM220 são ligados ao PC através de um cabo de série com um adaptador COM (número 19040GM).

O Módulo de Dióxido de Carbono GMM111 do Vaisala CARBOCAP® mede até 20% CO₂. No entanto, não existem compensações internas.



O GM70 da Vaisala com sonda de umidade juntamente com sonda de dióxido de carbono.

4. Como a condensação pode ser evitada quando a amostragem é de incubadoras?

O GM70 tem duas alternativas de métodos de amostragem: difusão e uma bomba de aspiração. A opção de bomba de aspiração é projetada para desenhar uma amostra de espaços onde a difusão na medição direta não é possível.

Devem ser tomadas precauções quanto a coleta de uma amostra de gás a partir de ambientes úmidos, as superfícies óticas do sen-sor NDIR dentro da sonda e câmara de bombeamento deve ser protegidas da condensação.

Incubadoras e câmaras ambientais são um desafio para medir, como a amostra de gás é geralmente elaborada a partir de um ambiente com alta temperatura e alta umidade em um ambiente de temperatura ambiente, resultando em condensação.



O GM70 da Vaisala é usado para verificar o nível de CO₂ nas incubadoras.

A condensação no interior da tubulação e sistema de amostragem pode ser evitada através de um tubo de ensaio feito de um material chamado Nafion® (disponível como acessório, Vaisala Part No. 212807GM)

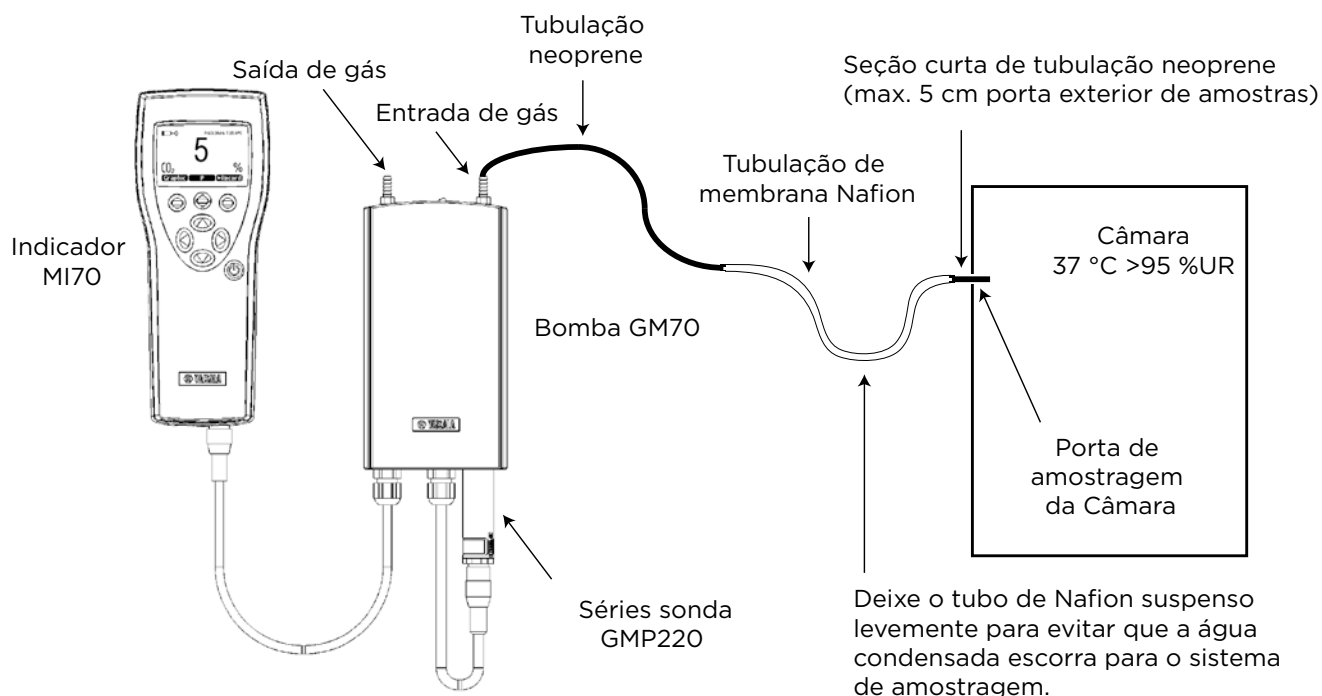


Tubulação Nafion®, Vaisala part No. 212807GM.

A essência da tecnologia da tubulação é de Nafion®, que é altamente seletivo na remoção de água. A água se move através da parede da membrana e evapora no ar circundante, em um processo chamado preevaporação. O Nafion® remove a água por absorção que ocorre como uma reação de primeira ordem cinética. Em aplicações de secagem, o trocador de umidade transfere vapor de água de um fluxo de gás úmido para a atmosfera circundante. A secagem é concluída quando o nível de umidade da atmosfera é igual ao nível de umidade do ambiente. Desde que o produto de secagem é como uma reação de primeira ordem cinética, este nível pode ser alcançado muito rapidamente, geralmente dentro de 100 a 200 milissegundos. Esse comportamento faz com que a tubulação seja a aplicação ideal, envolvendo uma amostra muito úmida elaborada à temperatura ambiente. A umidade da amostra de gás pode ser reduzida apenas com um comprimento curto da tubulação. Para obter mais informações sobre a tubulação, consulte www.permapure.com

1 Nafion® Dupont é um co-polímero de tetrafluoroetileno (Teflon) e perfluoro-3,6-dioxo-4-metil-7-octeno-ácido sulfônico.

Sistema de amostragem com um tubo de membrana Nafion®.



Ao utilizar a bomba de amostragem GM70 de uma incubadora, use uma tubulação de Nafion® para eliminar a possibilidade de con-densação de umidade no sistema de amostragem. Essas diretrizes são recomendadas:

- É recomendável ter amostras de tubulação Nafion® presentes no ponto de transição entre a incubadora e o meio ambiente. 20 cm de Nafion® no ambiente é suficiente para a transferência de vapor de água da amostra extraída para o meio ambiente. O restante do tubo de amostra pode ser Neoprene ou de algum outro material. Conecte a tubulação usando mangueiras acessórias com rebarbas ou algum outro método para evitar fugas de ar ambiente na amostra. Mantenha a linha de amostra global tão curta quanto possível.
- Se a amostragem passar através da porta da incubadora, insira o tubo de Nafion® na incubadora e suavemente feche a porta, verificando para ter certeza de que a vedação da porta não danifique os tubos e selos que estão colocados ao seu redor.
- Quando se obter uma amostra de gás de uma câmara, tres centímetros da linha de amostragem, deve ser inserida dentro da câmara. Se houver risco de condensação no interior da câmara onde a amostra é obtida, é necessário cuidar para que o ar condensado não esteja se dirigindo para o tubo.
- Para verificar se a condensação não atingiu a sonda, você pode retirar a sonda de CO₂ da bomba GM70. Quando inserir novamente a sonda, não empurre a sonda até o final. Em vez disto, posicione os dois anéis de O-rings em conjunto com a superfície lisa da sonda para conseguir uma conexão apertada.

- Se a amostragem vazar através de um orifício ou outra porta da incubadora, insira um tubo de Nafion® nesta e faça uma vedação em torno dele.
- Se a amostragem vazar através do encaixe de barbela/ porta de amostras, use um tubo de neopreme de curto comprimento para conectar a instalação da tubulação de Nafion para a instalação da incubadora. Use o neopreme como um “conector” para segurar a tubulação de Nafion® o mais próximo possível da barbela da mangueira. É recomendável ter uma amostra do curso do gás através da tubulação, já que a condensação é um resultado provável dentro da tubulação de Neopreme.

Como precaução, mantenha a bomba GM70 acima do nível da porta da câmara de amostragem. Se ocorrer condensação na linha de amostra, isto impedirá que a água em estado líquido danifique o sensor de CO₂.

5. Por que a leitura da concentração de CO₂ é maior do que o esperado quando se utiliza o método de amostragem com tubo de secagem?

Ao utilizar a tubulação Nafion® para secar a amostra, a concentração de CO₂ da amostra seca será ligeiramente superior à da amostra molhada. Isto é devido a um fenômeno de diluição. A densidade de CO₂ é “diluída” na incubadora, pelo volume que o vapor de água ocupa. Se o vapor de água é retirado da amostra, as frações ocupadas por outros gases, incluindo o CO₂ aumentarão em conformidade.

A tabela 3 contém os coeficientes de co-diluição para a concentração de gás na secagem de uma amostra de gás. O ponto de orvalho (em 1013 hPa) da amostra de gás na incubadora é escolhido no eixo horizontal, e o do ponto de orvalho da amostra de gás no ponto de medição é escolhido no eixo vertical. O ponto de orvalho da amostra de gás no ponto de medição pode ser determinado com uma sonda de umidade (HMP75B, HMP76B ou HMP77B).

Tabela 3 Coeficientes de diluição

| Td (°C) | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -60 | 0,9999 | 0,9996 | 0,999 | 0,997 | 0,994 | 0,988 | 0,977 | 0,958 | 0,927 | 0,878 | 0,803 |
| -50 | 0,9999 | 0,9997 | 0,999 | 0,997 | 0,994 | 0,988 | 0,977 | 0,958 | 0,927 | 0,878 | 0,803 |
| -40 | 1,0000 | 0,9998 | 0,999 | 0,998 | 0,994 | 0,988 | 0,977 | 0,958 | 0,927 | 0,878 | 0,803 |
| -30 | | 1,0000 | 0,999 | 0,998 | 0,994 | 0,988 | 0,977 | 0,958 | 0,928 | 0,879 | 0,804 |
| -20 | | | 1,000 | 0,998 | 0,995 | 0,989 | 0,978 | 0,959 | 0,928 | 0,879 | 0,804 |
| -10 | | | | 1,000 | 0,997 | 0,990 | 0,979 | 0,961 | 0,930 | 0,881 | 0,806 |
| 0 | | | | | 1,000 | 0,994 | 0,983 | 0,964 | 0,933 | 0,884 | 0,809 |
| 10 | | | | | | 1,000 | 0,989 | 0,970 | 0,939 | 0,890 | 0,815 |
| 20 | | | | | | | 1,000 | 0,981 | 0,950 | 0,901 | 0,826 |
| 30 | | | | | | | | 1,000 | 0,969 | 0,920 | 0,845 |
| 40 | | | | | | | | | 1,000 | 0,951 | 0,876 |
| 50 | | | | | | | | | | 1,000 | 0,925 |
| 60 | | | | | | | | | | | 1,000 |

Exemplo: Uma amostra de gás é extraída de um ambiente 40 °C (Td) e introduzida em um ambiente de 10 °C (Td), onde as medidas de concentração de gás estão em 5.32%. Em um ambiente de 40 °C (Td) isto corresponde a 5% de CO₂ (5.32% X 0.939= 5.00%) desde o maior teor de diluição da amostra.