



Uma avaliação do sensor MQ-131 para medição da concentração de ozônio no ar

An evaluation of the MQ-131 sensor for the measurement of ozone concentration in air

João Vitor Santos Anacleto

janacleto@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Fernando Cardoso Castaldo

castaldo@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

RESUMO

O ozônio é, a nível da superfície terrestre, um gás poluente que em altas concentrações pode causar efeitos negativos à saúde, tanto no curto quanto no longo prazo. O controle de sua concentração em ambientes com circulação de pessoas então se mostra desejável, principalmente durante o uso de purificadores de ar com base em descargas corona, que geram ozônio durante sua operação. Mas os métodos geralmente utilizados para medir uma concentração de O_3 com a resolução necessária são caros e de difícil acesso, e portanto há uma demanda por alternativas mais acessíveis. Neste trabalho, desenvolveu-se um medidor baseado no sensor MQ-131, capaz de medir valores de ozônio entre 10 e 1000 ppb, e foi feita uma avaliação de seu desempenho. Houve uma diferença significativa entre o comportamento esperado do sensor e o observado nos experimentos, além de uma falta de estabilidade e repetibilidade das medidas obtidas, que se mostram obstáculos fundamentais ao uso do dispositivo para medidas precisas da concentração de ozônio.

PALAVRAS-CHAVE: Ozônio. Medição da qualidade do ar. WO_3 . Sensores de gás.

ABSTRACT

Ozone is, at the level of the Earth's surface, a pollutant gas which in high concentrations can negatively affect health, both in short-term and long-term. It is therefore desirable to control its concentration in populated environments, especially during the use of air purifiers based on corona discharges, which generate ozone during their operation. But the usually used methods to measure an O_3 concentration with the necessary resolution are expensive and difficult to obtain, and so there is a demand for more accessible alternatives. In this study, we developed a device based on the MQ-131 sensor, capable of measuring ozone concentrations between 10 and 1000 ppb, and evaluated its performance. There was a significant difference between the expected behavior of the sensor and the one observed during the experiments, as well as a lack of stability and repeatability in the acquired measurements, which proved to be important obstacles in the use of the device for accurate measurements of ozone concentration.

KEYWORDS: Ozone. Air quality measurement. WO_3 . Gas sensors



INTRODUÇÃO

É inegável o impacto que a pandemia da COVID-19 causou, e continua causando na sociedade global. Essa doença é causada pelo vírus SARS-CoV-2, cuja principal forma de transmissão é por gotículas de saliva ou secreções respiratórias de mais de 5 µm de diâmetro. Essas gotículas se precipitam rapidamente após serem expelidas, limitando o raio de alcance da transmissão, mas há indícios de que em ambientes fechados a transmissão também pode ocorrer por partículas ainda menores, denominadas de aerossóis, que podem ficar suspensas no ar por um longo período de tempo (MORAWSKA; MILTON, 2020).

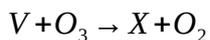
Curtius, Granzin e Schrod (2020) demonstraram que o uso de purificadores de ar pode reduzir significativamente a concentração de partículas contendo o SARS-CoV-2, se mostrando uma ferramenta interessante para conter a disseminação do vírus em ambientes fechados. Os purificadores de ar utilizados na pesquisa são baseados puramente em filtragem HEPA, mas a alta resistência ao fluxo de ar desses filtros e a resultante baixa vazão dos dispositivos filtrantes motiva a busca de alternativas a esse tipo de purificador.

Uma dessas alternativas são os precipitadores eletrostáticos, que utilizam de alta tensão para induzir uma carga elétrica nas partículas presentes no ar. Estas são posteriormente coletadas em uma região de carga oposta. Porém, uma das preocupações desse tipo de filtro é o potencial de introduzir uma quantidade excessiva de gás ozônio, que no nível da superfície terrestre é considerado um gás poluente, e em altas concentrações, pode causar efeitos negativos à saúde, tanto no curto quanto no longo prazo. (NUVOLONE; PETRI; VOLLER, 2017)

Esse problema foi encontrado durante o desenvolvimento de um dispositivo desse tipo pelo Laboratório de Fabricação Eletrônica da UTFPR. Se mostrou difícil trabalhar para reduzir a quantidade de ozônio gerada sem determinar precisamente quanto estava sendo gerado, e os aparelhos comerciais disponíveis para essa medição são caros e de difícil acesso. O sensor MQ131, porém, é relativamente barato, e é mais facilmente encontrado à venda. Mas não foi encontrado nenhum exemplo na literatura de uma avaliação do desempenho deste sensor na medida efetiva da concentração de ozônio no ambiente. Este estudo foi realizado com precisamente esse objetivo: determinar se é possível obter uma medida confiável a partir do MQ131, e até que ponto ele se mostra uma alternativa aos métodos usuais de medição de ozônio.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sensor MQ131 é baseado no trióxido de tungstênio (WO_3). Esse material possui vacâncias de oxigênio em sua superfície, que são supridas no contato com o ozônio do ar:



Onde V representa uma vacância de oxigênio e X representa uma vacância preenchida. Portadores de carga são produzidos quando os elétrons dos íons de tungstênio presentes nas vacâncias são excitados termicamente. Uma mudança na concentração de vacâncias na superfície do material, na presença de uma alta temperatura, gera uma variação na condutividade do mesmo. (ALIWELL et al., 2001). O sensor inclui um pequeno aquecedor resistivo, que deve ser alimentado com 5 V para manter uma temperatura que permita a produção de portadores de carga suficientes para um funcionamento adequado do dispositivo. (ZHENGZHOU WINSEN ELECTRONICS TECHNOLOGY, 2014)

O fabricante do MQ-131 disponibiliza a curva característica dele, relacionando a concentração de ozônio ao qual o sensor está exposto à resistência dele nessas condições. Para obter uma equação a partir dessa curva, primeiro inseriu-se cada um dos pontos destacados nela em uma planilha, para então retrair

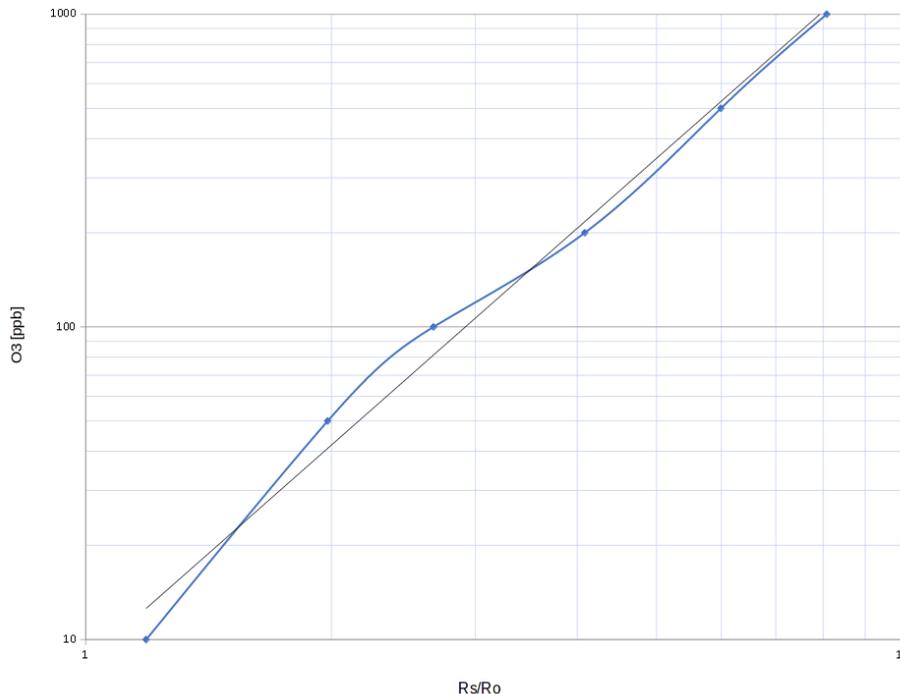


o gráfico e obter a equação. É preciso encontrar dois parâmetros, a distância do ponto sob análise à referência do gráfico, chamada aqui de y , e a distância entre divisões do gráfico, denominada y_0 . Com essas duas medidas é possível calcular a razão D , definida como $y \div y_0$.

Observe que, caso o eixo R_s/R_0 estivesse em uma escala linear, bastaria multiplicar a razão D pela escala do gráfico para obter o valor desejado. Por exemplo: para um eixo linear de 20 unidades por divisão, $y=2$ e $y_0=5$, a razão D seria $2 \div 5$, e o valor respectivo seria $20 \cdot 2 \div 5=8$. Mas como o gráfico em questão está em escala logarítmica, na realidade o valor desejado é obtido por 10^D . Para uma concentração de 200 ppb, a altura do ponto no gráfico é de 16,5 pixels, e a altura por divisão no mesmo gráfico é 27 pixels. Portanto a razão D é de $16,5 \div 27$, ou 0,61111. O valor de R_s/R_0 é, então, expresso por $10^{0,61111}$, ou 4,08424.

Após determinar os valores exatos de cada ponto do gráfico, é possível obter a função inversa; ao invés de representar o valor da relação da resistência em função da concentração temos a concentração em função da relação. Assim podemos uma equação aproximada para determinar a concentração de ozônio em ppb a partir da relação da resistência. A função que mais se aproximou foi uma potência de segundo grau expressa por $f(x)=8,49267 \cdot x^{2,30379}$, com um R^2 de 0,98927

Figura 1 - Curva de resposta do sensor



Fonte: Autoria própria (2021).

Com essa equação é possível calcular a concentração de ozônio medida, sabendo a resistência atual do sensor, a resistência que o resistor apresenta em um ar livre de O_3 . Há um problema, porém: a resistência do sensor também é afetada pela temperatura e umidade do ambiente, seguindo curvas também documentadas no *datasheet* do sensor. Os pontos dessas curvas foram obtidos da mesma forma que no



caso anterior, e a partir desses pontos foram gerados dois fatores de correção, um para temperatura e outro para umidade.

O fator para temperatura pode ser obtido diretamente pelo gráfico dado, seguindo a curva para 60% de umidade relativa, e resulta em $f_{\text{temperatura}}(x) = -0,012x + 1,3328$, com um R^2 de 0,9965. Já o fator de umidade é um pouco mais complicado, pois o fabricante não disponibiliza um gráfico só para a umidade, mas sim três curvas diferentes de temperatura para condições de umidade de 30%, 60% e 85%. Ao escolher uma temperatura qualquer, como 20 graus, selecionar o valor do fator de temperatura resultante para cada uma das curvas, e normalizar os valores para a condição de 60% de umidade obtemos os seguintes valores: 1,176687 para 30%, 1 para 60% e 0,870429 para 85%. Esses valores, quando multiplicados pelo fator de correção de um ponto qualquer da curva de temperatura para 60% de umidade, resultam aproximadamente em um ponto da curva de temperatura para a umidade respectiva. Tendo esses valores, é possível obter uma função que descreve um fator de correção aproximado para um valor arbitrário de umidade. Essa função é descrita por $f_{\text{umidade}}(x) = 0,00558x + 1,3411$. Assim é possível obter uma equação final para a concentração de ozônio:

$$C = 8,4927 \cdot \left(\frac{R_s}{R_0} \cdot f_{\text{temperatura}} \cdot f_{\text{umidade}} \right)^{2,3038}$$

No medidor descrito neste trabalho, foi usado uma placa de desenvolvimento Arduino UNO para medir a resistência do sensor, e encontrar a concentração de ozônio a partir da equação acima. Os valores de temperatura e umidade para correção são fornecidos por um sensor DHT11, posicionado ao lado do MQ-131.

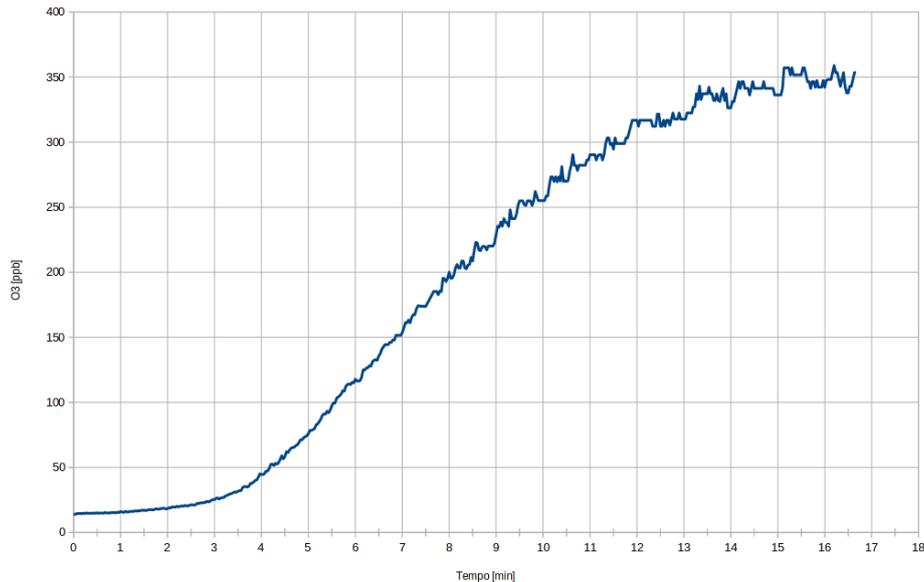
A geração de ozônio para os testes foi feita com uma descarga corona positiva, a partir de um fio de cerca de 10 cm de comprimento posicionado a 5 cm de uma placa de alumínio em potencial de terra. Ao aplicar-se uma alta tensão no fio, o forte campo elétrico resultante promove a dissociação de moléculas de oxigênio molecular (O_2) em oxigênio atômico (O). Esse último então se recombina com outra molécula de O_2 para formar o ozônio (O_3). A alta tensão foi gerada com um transformador *flyback*, conectado a um multiplicador de tensão.

Os testes ocorreram em uma cabine de cerca de 1 m^3 , feita com filme plástico transparente fixado sobre uma armação de PVC. O gerador foi inserido dentro dela juntamente com a fonte de alta tensão, que foi ajustada para fornecer uma corrente de $100 \mu\text{A}$ ao filamento.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 2 - Descarga corona de 100 μA a 5 cm, por 5 min



Fonte: Autoria própria (2021).

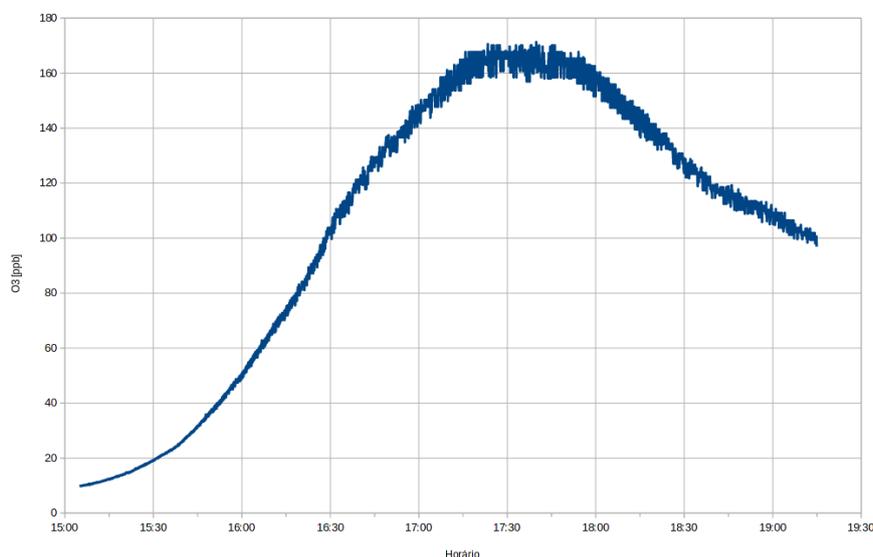
A figura acima mostra o gráfico da concentração de ozônio medida durante um dos testes. A descarga corona foi iniciada no instante 0 e durou 5 minutos. Observe que mesmo depois da interrupção da descarga a concentração de ozônio continua subindo dentro da cabine, pois o ozônio é gerado somente na parte de baixo dela, e a medição é realizada na parte de cima, portanto é necessário um intervalo de tempo para o ozônio gerado se difundir pela cabine e ser detectado pelo sensor.

Junhong Chen e Jane Davidson (2002) fornecem um modelo numérico para calcular a taxa de produção de ozônio para uma descarga corona fio-placa. A partir do comprimento do fio (7 cm) e da corrente que flui por ele (100 μA), temos que a densidade linear de corrente no fio é igual a cerca de 14 $\mu\text{A}/\text{cm}$, que pelo modelo em questão resulta em uma taxa de produção de ozônio de 10 $\mu\text{g}/\text{s}\cdot\text{m}$, isto é, 10 μg por segundo por metro de fio de descarga. Como o fio de descarga tem 7 cm de comprimento, ou 0,07 m, isso resulta em uma taxa de 0,7 $\mu\text{g}/\text{s}$. A descarga do teste durou 5 min, ou 300 s, então a massa total de ozônio gerada deveria ser de 210 μg , que para uma câmara de 0,9 m^3 resultaria em uma concentração de 233 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Em CNTP, 1995 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozônio corresponde a uma concentração de 1000 ppb, portanto a concentração esperada para o teste seria de 116,96 ppb de ozônio, cerca de um terço da concentração medida pelo sensor.

Também foram realizadas medidas da concentração de ozônio no ambiente do Laboratório de Fabricação Eletrônica, na sede centro do Câmpus Curitiba da UTFPR, registradas no gráfico a seguir.



Figura 3 - Concentração de O₃ ambiente no laboratório, em 01/07/2021



Fonte: Autoria própria (2021).

Os dados começaram a ser gravados às 15:05 do dia 1 de julho, e o teste se estendeu até às 19:14. Como o laboratório se encontrava completamente fechado desde o dia anterior, e sem fontes de ozônio internas, havia uma quantidade desprezível de ozônio no ambiente, sendo que o sensor se encontrava em seu fundo de escala de 10 ppb. Após a abertura das janelas, por volta do mesmo horário do início das medições, a concentração subiu ao longo de toda a tarde, até alcançar um pico por volta das 17h e começar a decair, como o esperado para medidas de ozônio atmosférico durante o dia.

O valor pico de 160 ppb, porém, de novo se mostra significativamente maior do que o esperado. Em seu relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba, o Instituto Ambiental do Paraná (2015), registrou em setembro deste ano uma média horária máxima da concentração de ozônio de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ou cerca de 60 ppb, na estação da praça Ouvidor Pardinho, que fica a menos de 1 km do laboratório. É improvável que a concentração em julho de 2021 tenha superado por quase 3 vezes a concentração máxima de 2015, e como no experimento anterior o valor medido foi também de cerca de 3 vezes o esperado, a hipótese mais provável é de que haja uma diferença sistemática entre o comportamento previsto pelo *datasheet* e o comportamento real do sensor. Infelizmente não foi possível ter acesso a um medidor de ozônio devidamente calibrado e preciso o suficiente para refazer os experimentos e confirmar diretamente essa hipótese.

Um problema que também foi observado ao longo dos experimentos foi a dificuldade em obter uma boa repetibilidade nos valores das medidas. Em algumas ocasiões, valores completamente diferentes foram obtidos no mesmo ambiente em questão de minutos, após simplesmente retirar o sensor da área de teste e inseri-lo novamente. Uma explicação provável para esse comportamento é a falta de controle preciso da temperatura da superfície sensora. Uma alteração na temperatura do sensor resulta em uma variação significativa na sensibilidade (ALIWELL et al., 2001), e por isso sem um controle preciso desse parâmetro a superfície sensora fica vulnerável a mudanças repentinas de temperatura, possivelmente causadas por correntes de ar induzidas pela movimentação do dispositivo.



O sensor MQ-131 não possui tal controle, apenas um simples aquecedor resistivo que, com uma alimentação especificada pelo fabricante de 5 V, leva a superfície a uma temperatura compatível com a obtenção de uma medida. Mas também não há como garantir que o sensor utilizado neste trabalho tenha alcançado a mesma temperatura que o sensor de referência usado para obter as curvas do *datasheet*, e isso portanto é também uma possível explicação à aparente superestimação observada dos valores de ozônio nos experimentos.

CONCLUSÃO

O sensor MQ-131 se mostra uma alternativa mais barata e acessível de detecção de ozônio, quando comparado aos métodos de absorvância UV e quimiluminescência, mas a resposta incompatível com a especificação do fabricante e a instabilidade das medidas se mostram obstáculos para seu uso para obter valores exatos da concentração de ozônio do ambiente. Mas se usado em uma posição fixa dentro de um ambiente com um fluxo de ar relativamente estável, após uma calibração com um medidor de referência, talvez seja possível obter medidas relativamente precisas a partir do MQ-131.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Agradeço também à Fundação Araucária, pelo apoio financeiro, e ao Laboratório de Fabricação Eletrônica, pelo suporte no desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

ALIWELL, S. R. et al. Ozone sensors based on WO_3 : a model for sensor drift and a measurement correction method. *Measurement Science and Technology*, Institute of Physics Publishing, v. 12, p. 684–690, 2001.

BOELTER, K. J.; DAVIDSON, J. H. Ozone generation by indoor, electrostatic air cleaners. *Aerosol Science and Technology*, American Association for Aerosol Research, v. 27, p. 689–708, 1997.

CHEN, J.; DAVIDSON, J. H. Ozone production in the positive DC corona discharge: Model and comparison to experiments. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, Springer Nature, v. 22, n. 4, 2002.

CURTIUS, J.; GRANZIN, M.; SCHROD, J. Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. *Aerosol Science and Technology*, American Association for Aerosol Research, v. 55, p. 586–599, 2021.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Relatório anual da qualidade do ar de Curitiba e Região Metropolitana. IAP, Curitiba, 2015.

MORAWSKA, L.; MILTON, D. K. It is time to address airborne transmission of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases*, Oxford University Press, v. 71, n. 9, p. 2311–2313, 2020.

NUVOLONE, D.; PETRI, D.; VOLLER, F. The effects of ozone on human health. *Environmental Science and Pollution Research*, European Chemical Society, v. 25, p. 8074–8088, 2017.

ZHENGZHOU WINSSEN ELECTRONICS TECHNOLOGY. MQ131 ozone gas sensor (low concentration). Zhengzhou Winsen Electronics Technology, Zhengzhou, 2014.