

ANÁLISE DO RISCO DE TRANSMISSÃO DE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS UTILIZANDO SENSORES DE CO₂ CONECTADOS EM REDE LORAWAN

Caio Tácito Borges da Costa¹ (IC), Danilo Henrique Spadoti (PQ)¹
¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: COVID-19, LoRaWAN, Internet of Things

Introdução

Desde a primeira descoberta do vírus em Wuhan, China, em 31 de dezembro de 2019, o novo coronavírus tem se mostrado disruptivo para todas as atividades humanas. Dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) mostram que até as 6h11,421,786 casos e 6,512,438 mortes já haviam sido confirmados globalmente até 17 horas e 39 minutos do dia 24 de setembro de 2022 (WHO, 2022). A transmissão do coronavírus ocorre quando pessoas respiram ar contaminado por gotículas contendo partículas do vírus, e o risco de inalar essas partículas é maior quando as pessoas estão próximas, aglomeradas, especialmente em ambientes fechados. A transmissão também pode ocorrer através de contato com fluidos contaminados nos olhos nariz e boca, pessoas podem ficar contaminadas por até 20 dias e espalhar o vírus mesmo sem desenvolver sintomas. Partículas do vírus podem se acumular em locais fechados com ventilação inadequada, e o risco de infecção aumenta especialmente em situações onde as pessoas realizam atividades físicas ou aumentam o tom de voz (CDC, 2022). Com o recente retorno às atividades presenciais no ambiente universitário, o risco de exposição ao vírus aumenta, e quantificar esse risco nem sempre é uma tarefa simples (AZUMA et al., 2020). Portanto, a pesquisa realizada buscou um método para avaliar o risco de transmissão da doença ao observar o nível de gás carbônico presente no ambiente.

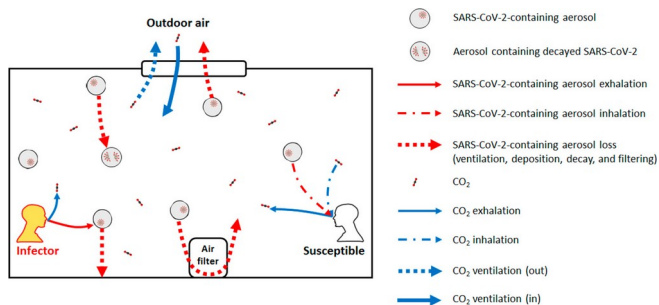


Figura 1 – Dispersão de aerossol no ar

O principal objetivo deste trabalho é encontrar uma solução barata, simples e escalável, para que a tecnologia possa ser implementada, por exemplo, em ambientes fechados com todo o monitoramento e processamento de dados sendo realizado externamente. Aproveitando o poder da tecnologia IoT (Internet of Things), cada sensor se comunica diretamente com o gateway LoRaWAN (LongRange Wide Area Network), eliminando a necessidade de construir infraestrutura adicional, como roteadores ou pontos Ethernet no local de instalação escolhido. Outra vantagem importante da rede LoRaWAN é o baixo consumo de energia, permitindo facilmente construir dispositivos alimentados por um carregador USB comum (5V). A Figura 1 mostra a dispersão dos aerossóis do vírus em ambiente fechado, destacando os caminhos percorridos pelas partículas no ar e sua relação com a exalação do gás CO₂.

Metodologia

O excesso de gás carbônico em um ambiente fechado pode ser atribuído à respiração dos indivíduos que o compartilham (PENG; JIMENEZ, 2021). A concentração média de CO₂ na atmosfera terrestre em novembro de 2021 era de 415,68 ppm (partes por milhão) (GLOBAL, 2022), e valores acima dessa média indicam que não há ventilação suficiente para renovar todo o ar do ambiente. Dessa forma, esses locais apresentam elevado risco de transmissão de doenças respiratórias, devido à maior probabilidade de inalação de aerossóis contendo patógenos, que são expelidos por pessoas contaminadas com o SARS-CoV-2 (COVID-19) ou outros vírus transmitidos pelo ar (PENG; JIMENEZ, 2021), (MORAWSKA; MILTON, 2020).

O sensor escolhido para detectar a quantidade de gás carbônico foi o MQ-135 (ABBAS et al., 2020). Esse sensor é utilizado para aferir a qualidade do ar e é capaz de detectar óxidos de nitrogênio, amônia, benzeno, álcool, fumaça e CO₂. Como o dióxido de carbono é o quarto gás mais abundante na atmosfera

(ATMOSPHERE, 2022), em um ambiente sem a presença artificialmente aumentada dos gases citados acima é razoável esperar que o MQ-135 detecte, principalmente, o CO₂ (KALRA et al., 2016).

O elemento sensor é constituído por uma camada de SnO₂ que varia sua resistência devido à ocorrência de uma reação química causada pelo contato direto do dióxido de estanho com o gás carbônico (ABBAS et al., 2020).

Por tratar-se de um sensor que usa a variação de resistência provocada por uma reação química, o MQ-135 pode ser afetado por mudanças na temperatura e umidade do ambiente (KALRA et al., 2016). Para compensar essas oscilações empregou-se um sensor DHT11 de temperatura e umidade.

O DHT11 fornece um valor de temperatura com precisão de 2 °C e de umidade relativa com precisão de 5%.

Para a coleta dos dados foram utilizados 3 modelos de placas de desenvolvimento: STM32 Blue Pill, ESP32 NODEV2 e ESP32 Heltec LoRaWAN v2. Montaram-se 5 protótipos, 3 com módulos da Heltec, um com o ESP32 e um com o STM32.

Para os MCUs STM32 e ESP32 ligou-se um módulo LoRaWAN SX1276 externo via protocolo SPI, já para os ESP32 Heltec foi utilizado o SX1278 integrado. Os sensores foram conectados em uma protoboard seguindo o esquema mostrado na Figura . O software foi desenvolvido em C++ com a biblioteca LoRaWAN MAC IN C (LMIC). O código escrito para esse estudo pode ser encontrado no github do autor.

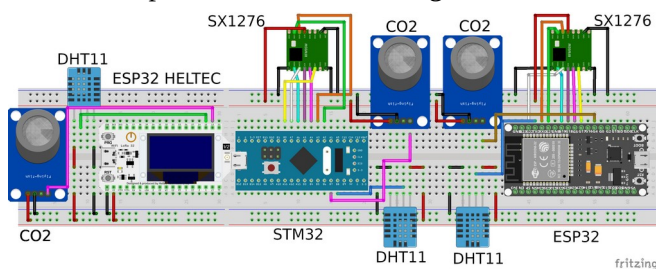


Figura 2 – Montagem dos protótipos

Para a calibração inicial do MQ-135 é necessário conhecer o valor de CO₂ em ppm no ambiente em que o sensor está instalado. Para a obtenção desse dado, foi utilizado um sensor HAQSPA-R WiFi da Honeywell, que forneceu um valor de 436 ppm no momento da calibração. Com essa informação calcula-se o R₀, que foi então gravado na memória dos microcontroladores e usado para obter o valor de ppm com (KALRA et al., 2016):

$$ppm = a \times \left(\frac{R_s}{R_o} \right)^b$$

onde R_s é a resistência do elemento sensor e a = 121,4517 e b = -2,78054 são valores obtidos através de uma regressão exponencial (KALRA et al., 2016) dos dados fornecidos pelo fabricante. É importante notar que o valor de R_s precisa ser corrigido para considerar as variações de temperatura e umidade, usando as leituras fornecidas pelo DHT11 empregou-se a seguinte equação (KALRA et al., 2016):

$$R_s = R_{medido}/R_c$$

Onde R_c é um fator de calibração calculado com a umidade h e a temperatura t (KALRA et al., 2016):

$$R_c = 1,6979 - 0,012t - 0,00612h$$

Os 5 protótipos foram conectados a um gateway LoRaWAN instalado na Unifei, integrado a rede The Things Network (TTN). Utilizou-se a faixa de 915-928 MHz (AU915_928_FSB_1), autenticação OTAA e uma frequência de envio de 60 segundos. Antes da transmissão, os dados coletados são tratados e cada valor é representado por um inteiro de 16 bits, que são então transferidos para o buffer de envio em formato big endian. Os 6 bytes de informação resultantes são enfileirados e enviados para a rede em formato binário bruto e sem qualquer preenchimento. Este método de organização de dados difere da codificação ASCII que é comumente usada em comunicações LoRaWAN, e foi escolhido para reduzir a quantidade de bytes por valor necessário, otimizando o consumo de energia e largura de banda para cada transmissão.

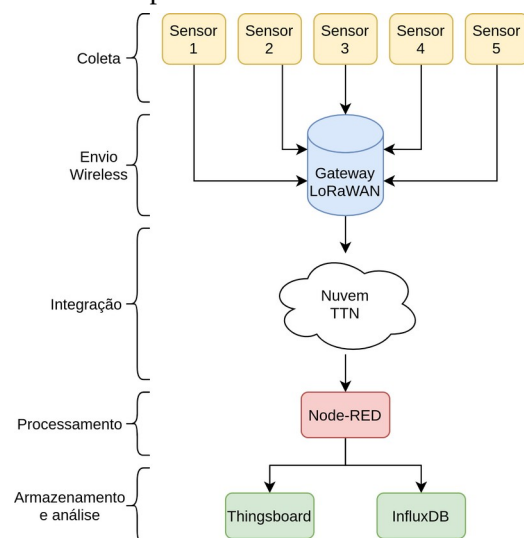


Figura 3 – Fluxo de dados

Os dados enviados para a nuvem TTN via

LoRaWAN são transferidos em seguida para um servidor linux por meio do protocolo MQTT. Esse servidor usa a ferramenta Node-RED para converter os pacotes em valores inteiros de 16 bits que são então salvos em um banco de dados influxDB e carregados em um dashboard Thingsboard para armazenamento e acompanhamento. O encapsulamento do protótipo foi projetado usando o software CAD SolidWorks e a fabricação foi realizada por modelagem de deposição fundida em material ABS MG-94. A impressão 3D é estratégica devido a sua agilidade inigualável no processo de fabricação e baixo custo de material, resultando em cada carcaça pesando apenas 57 gramas. Analisando o preço médio do filamento ABS no mercado, o custo de produção fica em torno de 3,42 reais por protótipo fechado. O custo total do aparelho, incluindo os eletrônicos, fica em torno de 115 reais.

Resultados e discussão

Para a primeira coleta de dados, os protótipos foram instalados no *Laboratório de Aplicação de Internet das Coisas – LAIoT* da Unifei. A Figura 4 mostra os níveis de CO₂ observados num período de 18 horas dentro do laboratório onde cada ponto representa a média aritmética simples dos valores coletados pelos 5 dispositivos.

Coletaram-se 5056 amostras de 5012 enviadas pelos dispositivos, uma perda de 0,87 % das mensagens transmitidas por LoRaWAN. Utilizando a calculadora disponibilizada pelos autores do estudo (PENG et al., 2022) calcularam-se valores do parâmetro de risco de transmissão H (Baixo: $H < 0,05$; Médio: $0,05 < H < 0,5$; Alto: $H > 0,5$) relacionados com o CO₂ exalado em uma sala de 7,20 x 7,20m e montou-se a Tabela 1.

CO2 (PPM)	Risco de transmissão (H)	Classificação
505,07	0	Baixo
715,21	0,01	Baixo
1135,49	0,02	Baixo
1450,69	0,03	Baixo
1976,04	0,05	Baixo
2291,25	0,06	Médio

Tabela 1 – Risco de transmissão baseado em emissão de CO₂

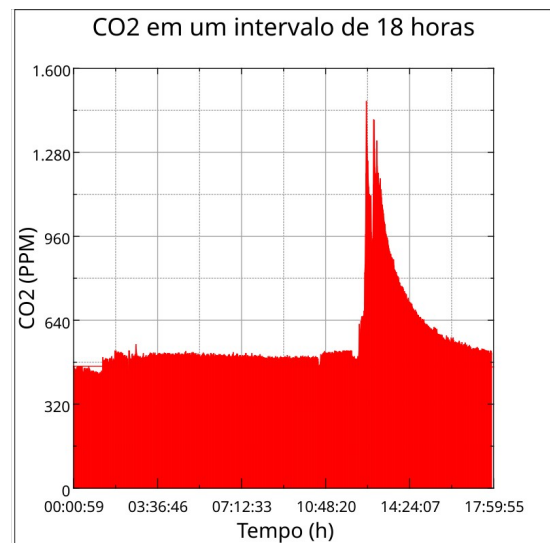


Figura 4 – Níveis de CO₂ do primeiro experimento

Para a segunda coleta de dados, o dispositivo foi instalado dentro de uma sala de laboratório durante 3 dias. Na Fig. 5 é possível observar os níveis de CO₂ subindo e descendo de acordo com os movimentos dos alunos no ambiente interno. A linha azul mostra a leitura bruta do sensor enquanto a linha vermelha usa a fórmula de (KALRA et al., 2016) para compensar as variações de temperatura e obter uma leitura mais precisa.

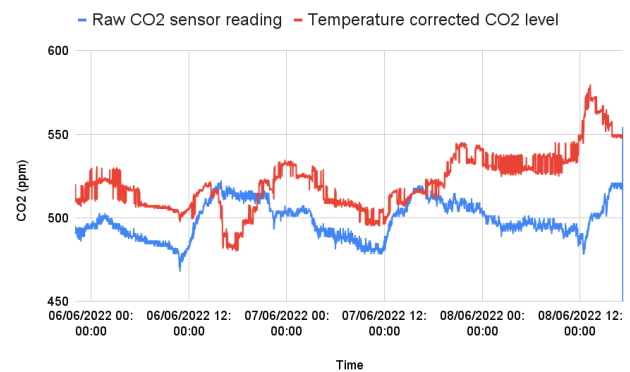


Figura 5 – Níveis de CO₂ do segundo experimento

Conclusões

Os níveis de CO₂ no interior do laboratório tiveram um pico de aproximadamente 1475 PPM, o que coloca o risco de transmissão entre 0,03 e 0,04, considerado baixo (PENG et al., 2022). O envio de dados por LoRaWAN ocorreu com uma perda inferior

a 1% das mensagens enviadas ao gateway. Esses resultados mostram que os sensores desenvolvidos podem ser utilizados para quantificar os níveis de dióxido de carbono em ambientes como salas de aula, laboratórios e auditórios, possibilitando análises posteriores da sua relação com a transmissão de patógenos pelo ar. O objetivo do autor é continuar trabalhando no desenvolvimento de dispositivos que utilizem a concentração de CO₂ como indicador de segurança do ar, mas com foco no funcionamento usando baterias e sistemas de ultra baixa potência. Isso aumentaria ainda mais a versatilidade do dispositivo, pois poderia ser instalado virtualmente em qualquer ambiente, mesmo sem rede elétrica disponível. Para atingir este objetivo, está previsto desenvolver um sensor de CO₂ NDIR, similar aos propostos em (JIA et al., 2019) e (GIBSON; MACGREGOR, 2013). O sensoriamento de CO₂ absorve linhas em torno de 4300nm em um arranjo de emissores e detectores de luz infravermelha, eliminando o aquecedor encontrado no sensor eletroquímico, que é o maior dreno de energia do projeto atual.

Agradecimento

Os autores agradecem à FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio dado à pesquisa e à toda equipe do Labetel-LaIoT pelo suporte técnico.

Referências

ABBAS, F. N. et al. Capable of gas sensor mq-135 to monitor the air quality with arduino uno. *Int J Eng Res Technol*, v. 13, n. 10, p. 2955–2959, 2020.

ATMOSPHERE. 2022. Disponível em: <<https://bit.ly/34XLXXs>>.

AZUMA, K. et al. Environmental factors involved in SARS-CoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control. *Environmental Health and Preventive Medicine*, Springer Science and Business Media LLC, v. 25, n. 1, nov 2020.

CDC. U.S. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). 2022. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/faq.html>>. Acesso em: 24/10/2022.

GIBSON, D.; MACGREGOR, C. A novel solid state non-dispersive infrared co2 gas sensor compatible with wireless and portable deployment. *Sensors, Molecular Diversity Preservation International (MDPI)*, v. 13, n. 6, p. 7079–7103, 2013.

GLOBAL Mean CO2. 2022. Disponível em: <<https://bit.ly/3haFtGZ>>.

JIA, X. et al. On-chip non-dispersive infrared co2 sensor based on an integrating cylinder. *Sensors, MDPI*, v. 19, n. 19, p. 4260, 2019.

KALRA, V. et al. Influence of temperature and humidity on the output resistance ratio of the mq-135 sensor. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, v. 6, n. 4, p. 423–429, 2016.

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

PENG, Z.; JIMENEZ, J. L. Exhaled co2 as a covid-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. *Environmental Science & Technology Letters, ACS Publications*, v. 8, n. 5, p. 392–397, 2021.

PENG, Z. et al. Practical indicators for risk of airborne transmission in shared indoor environments and their application to covid-19 outbreaks. *Environmental science & technology, ACS Publications*, 2022.

WANG, X. et al. In-edge ai: Intelligentizing mobile edge computing, caching and communication by federated learning. *IEEE Network, IEEE*, v. 33, n. 5, p. 156–165, 2019.

WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. 2022. Disponível em: <<https://covid19.who.int/>>.