

Uma Solução Internet das Coisas para Monitoramento de Gases Poluentes na Amazônia Legal

Jhon Wallacy Virginia da Cruz¹, José Ítalo da Costa Silva¹, Romário da Costa Silva¹, Maria Vitória Rodrigues Oliveira¹, Rafael Câmara Sousa¹, Hygor Jardim da Silva¹, José Jailton Henrique Ferreira Junior¹

¹ Faculdade de Computação – Universidade Federal do Pará (UFPA)
Castanhal – PA – Brasil

jhonskaz@gmail.com, euvivirodrigues@gmail.com,
rom.silva60@gmail.com, hygorjardim@gmail.com
jitalocsilva@gmail.com, ffael.sousa1@gmail.com,
jjj@ufpa.br

Resumo: Este trabalho apresenta uma pesquisa sobre o monitoramento de gases poluentes na Amazônia utilizando Internet das Coisas. Para isso, desenvolveu-se o protótipo utilizando-se Arduino UNO, ESP8266/01 e sensores. Além disso, também foi desenvolvido o software para monitorar os índices de gases poluentes e armazenar as informações coletadas em um servidor, para que os relatórios gerados a partir do histórico de índices sejam utilizados em estudos posteriores. Foram realizados testes em três diferentes ambientes e situações e a partir dos resultados concluiu-se que a pesquisa traz uma solução de baixo custo e aplicável no monitoramento da concentração de gases poluentes.

Palavras-Chave: Internet das Coisas, RSSF, Monitoramento Ambiental.

Abstract. This work presents a survey on the monitoring of pollutant gases in the Amazon using the Internet of things. For this, the prototype was developed using Arduino UNO, ESP8266/01 and sensors. In addition, the software was also developed to monitor the contents of pollutant gases and to store the information collected on a server, so that reports generated from the index history are used in later studies. Tests were carried out in three different environments and situations and from the results it was concluded that the research brings a low cost solution and applicable in the monitoring of the concentration of pollutant gases.

Keywords: Internet of Things, , Environmental Monitoring.

1. Introdução

Os problemas ambientais são, em sua maioria, consequências da ação humana sobre o equilíbrio dos ecossistemas, afetando de diferentes formas a qualidade de vida da fauna e flora. Dentre os principais, encontram-se: o desmatamento, a poluição da água e a poluição atmosférica que vem aumentando significativamente desde a revolução industrial. As concentrações de CO₂ na atmosfera passaram de 272 ppm (parte por milhão) na era pré-industrial para 346 ppm em 1986 (HALL, 1989, p. 175), e em 2020 atingiu-se a marca de 413.2 ppm (OMM, 2021). Com o auxílio de novas tecnologias, a

detecção e identificação de poluentes podem servir como base para a elaboração de soluções, políticas públicas e ambientais.

A emissão do dióxido de carbono está relacionada principalmente com os processos de queima de combustíveis fósseis e alterações não naturais no ciclo biológico do carbono, como desmatamento e queimadas. Os efeitos da exposição humana ao CO₂ por longos períodos de tempo ou grande concentração de partículas, pode ocasionar graves consequências. Que vão desde asfixia, náuseas, mobilidade limitada, parada respiratória e em casos extremos pode ser fatal, ressaltando assim a importância do monitoramento da concentração de CO₂ no meio ambiente (VALLADÃO, 2019).

O atual avanço tecnológico e a globalização revolucionaram a comunicação e a interação humana, principalmente com a popularização da internet. Haverá 5,3 bilhões de usuários totais da Internet (66% da população global) até 2023, conectados por meio de computadores, tablets e smartphones e uma série de dispositivos como sensores, webcams, console para jogos, e até mesmo equipamentos domésticos. (CISCO, 2020). Isso mostra que os dispositivos conectados à rede mundial de computadores se tornaram cada vez mais heterogêneos.

Diante desse contexto, surgiu nos últimos anos o conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT), que compreende a integração de dispositivos, físicos e virtuais, com capacidade computacional e de comunicação em redes conectadas à internet, permitindo a conexão de dispositivos, denominados “coisas”, coletem, distribuam e armazenem uma considerável quantidade de dados. De modo que após processados e analisados, geram informações e serviços em grande escala (HALEEN, 2019).

Atualmente destaca-se também a utilização de redes de sensores sem fio (RSSFs), que consistem em dispositivos de sensoriamento com poder de processamento e comunicação limitados e com restrições energéticas, mas que ao serem utilizadas em conjunto, atuam como um grande sistema distribuído, autônomo e cooperativo (Jondhale, 2021). A junção desta tecnologia autônoma, por cumprir as características essenciais dos sistemas autônomos: execução sistemática de processos, adaptabilidade, autogovernança e autocontenção (MÜLLER, 2021), com IoT passou a ser considerada como uma solução para aplicações de monitoramento de dados.

A principal solução para monitoramento de dados presente na Amazônia Legal é o sistema de combate a queimadas desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Através do sensoriamento remoto de imagens via satélite, o sistema consegue identificar possíveis incêndios na região, frequentemente, provocados pelo desmatamento ilegal.

Em consonância com o avanço tecnológico e industrial, a urbanização cresce comumente em áreas específicas. A forte dependência do modal rodoviário e a ocorrência de queimadas impactam diretamente na qualidade do ar na região, degradando não só a saúde do meio ambiente como também a vida humana. Portanto, este trabalho apresenta um sistema autônomo de monitoramento ambiental através da medição dos índices de gases poluentes em determinados pontos.

Este artigo está organizado em seções. A seção II apresenta um breve estudo comparativo com os trabalhos relacionados encontrados sobre o tema. A Seção III descreve o levantamento bibliográfico e os componentes utilizados para realização do

protótipo. A seção IV apresenta a arquitetura dos componentes utilizados para a elaboração do protótipo e o funcionamento do sistema de monitoramento. Em seguida, a seção V mostra os resultados experimentais e análise de desempenho e por fim, a seção final concluirá o trabalho.

2. Trabalhos Relacionados

Dentre as pesquisas relacionadas com o monitoramento ambiental de áreas utilizando tecnologias de baixo custo, está o trabalho desenvolvido por (Viloria1, Valencia and Ceballos, 2016). Que descreve um sistema de monitoramento da poluição do ar, com o intuito de facilitar a implementação de uma rede de coleta de dados e estender o alcance do monitoramento. Este projeto utiliza um sistema de armazenamento de dados em nuvem que pode ser visualizado na plataforma web *ThingSpeak™*. Os dados amostrados na plataforma foram captados pelos sensores e enviados para o NodeMCU ESP8266, que publica no servidor da *ThingSpeak™* (Viloria1, Valencia and Ceballos, 2016, p.3).

Dessa forma, o sistema de coleta de dados é bem estruturado e apesar da coleta ter sido efetuada apenas em dois locais, as medições são satisfatórias e potencialmente aproveitadas. Sua desvantagem é a interação com a aplicação final, com uma interface pouco intuitiva.

Já o trabalho de (Kodali and Mahesh, 2016, p.1) tem como foco o monitoramento de temperatura e umidade de forma eficiente, com baixo custo de implementação e manutenção. Para isso, utiliza-se o sensor DHT22 e a placa ESP8266, que tem baixo consumo de energia, o que é uma ótima característica para aplicações IoT. Além disso, a linguagem de programação utilizada é o micropython devido a sua maior velocidade em relação às outras (Kodali and Mahesh, 2016, p.1).

Dessa forma, este trabalho mostra as vantagens da placa ESP8266 e as potencialidades desse componente, que pode integrar um sistema de monitoramento ambiental focado em baixo consumo de energia. Seu ponto negativo é o pouco aprofundamento nos testes práticos, trazendo poucos resultados. Assim como o fato de não ter sido desenvolvido nenhuma tecnologia para apresentação dos dados coletados.

O trabalho de (Kodali and Sarjerao, 2017, p.1) demonstra uma pesquisa que utilizou sensores de Monóxido de carbono (CO), sensor de poeira e uma placa ESP8266 combinada com o NodeMCU-12E. Os dados são enviados para um servidor na nuvem utilizando a ESP8266 por meio do protocolo Message Queue Telemetry Transport (MQTT).

A partir desta última pesquisa foi possível reafirmar as vantagens da placa ESP8266 em aplicações envolvendo a internet das coisas, junto com sensores de captação de dados de monitoramento ambiental com baixo custo de investimento. Diferente dos trabalhos anteriores, utiliza o protocolo MQTT na comunicação, que é mais leve e otimizado em comparação ao HTTP.

3. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa aplicada, com foco no desenvolvimento de uma solução prática para o monitoramento de gases poluentes na Amazônia. Portanto, é necessário prezar pela consistência das informações obtidas através das medições. Para tanto, utiliza-se de recursos e avaliações quantitativas para gerar resultados qualitativos. Todas

as informações são descritas valendo-se de notações matemáticas para melhor análise do comportamento dos fenômenos observados.

O planejamento foi dividido em quatro fases: levantamento bibliográfico; documentação; prototipação de hardware e software; testes.

Na primeira etapa, foi feito o levantamento bibliográfico para analisar melhor a situação dos gases poluentes na região amazônica, a forma de como o monitoramento dos poluentes se dá nessa região e compreender de que maneira é possível tornar esse monitoramento mais inteligente, eficiente e de baixo custo.

Por meio do levantamento bibliográfico obteve-se informações valiosas que mostraram como alternativa a arquitetura IoT para o desenvolvimento do sistema de monitoramento de poluentes no ar.

Também foi necessário realizar a busca de todo o conhecimento técnico necessário para o desenvolvimento do protótipo para a pesquisa.

Na segunda etapa foi realizado o levantamento de requisitos para o desenvolvimento do protótipo de hardware e software. Foi definido o modelo entidade relacionamento para organização de um banco de dados que suportasse as informações coletadas das unidades de sensoriamento, bem como o modelo relacional do banco de dados.

Para a prototipação do hardware utilizou-se: Arduino UNO, ESP8266/01, Sensores de gases e NodeMCU ESP 8266. Para prototipação do software foram utilizadas as linguagens de programação: Java, C++ e SQL, e o sistema de gerenciamento de banco de dados utilizado foi o MySQL.

A quarta e última fase foi a etapa de testes. Escolheu-se o centro da cidade de Castanhal, no estado do Pará, como primeiro local. O segundo foi o campus da UFPA Castanhal e o terceiro, a rodovia federal BR 316. Onde foram feitas as medições em condições ambientes.

Através das informações obtidas pelo protótipo, foi possível relacionar os valores dos dados coletados com valores que descrevem a qualidade do ar. E dessa maneira definir o índice de CO₂ na região onde foi aplicada a coleta de informações. Seguindo o objetivo de pesquisa descritiva que possui finalidade relatar e relacionar características de um objeto de pesquisa (RODRIGO, J. G. [2019], p. 3-4).

Após o envio das informações do ambiente sob análise para nosso servidor local, é necessário que as informações estejam dispostas de uma maneira que faça sentido, permitindo formulação de dados estatísticos que possam ser acessados em tempo real e através de relatórios. Os dados recolhidos podem ser utilizados por outras pessoas para melhor entendimento das causas e consequências do problema, assim como auxiliar no desenvolvimento de medidas preventivas e corretivas para a situação.

4. Proposta

A arquitetura da proposta foi subdividida em 4 entidades: a Unidade de Sensoriamento Remoto (USR), a Estação Base (EB), o Servidor Central (SC) e a Plataforma de Visualização (PV).

4.1. Unidade de Sensoriamento Remoto (USR)

Essa entidade é responsável pela coleta dos dados através dos sensores, armazenar e retransmiti-los para a Estação Base periodicamente utilizando seu módulo de comunicação. Foi projetada para ficar a aproximadamente 2 metros de altura em relação ao solo, para garantir um alcance de comunicação de com a EB que fica a 10 metros de altura. Os cálculos para chegar a esse resultado foram realizados com base nas especificações dos equipamentos listados nesse esquema e também utilizando a plataforma Symphony Link para criar as simulações (LINK-LABS, 2018). A construção dessa entidade foi embasada pelo trabalho de (SILVA, Marcel Salvioni da et al. 2013), que apresenta o projeto de um sistema embarcado usando rede de sensores sem fio para aplicações que envolvam monitoramento ambiental, com uma abordagem de baixo custo para medidas de temperatura ambiente, umidade relativa do ar e pressão barométrica.

- a) Sensores: Um dos principais componentes dessa entidade é o sensor, que detecta a condição física do ambiente. Na proposta foram utilizados dois tipos de sensores: o sensor MQ-9 capaz de medir concentrações de CO na faixa de 10 a 10.000ppm e gases inflamáveis na faixa de 100 a 10.000 ppm, como por exemplo: monóxido de carbono, gás de carvão, gás liquefeito, entre outros (MACHADO, 2017); e o sensor MQ-135 por apresentar baixo custo e capacidade de detecção de uma grande variedade de gases nocivos à saúde (LIMA e SILVA, 2015).
- b) Arduino Uno: A plataforma de prototipagem com o microcontrolador ATMEL AVR possui suporte embutido com 14 pinos de entrada/saída digital, e seis deles podem ser usados como saídas de modulação de largura de pulso (PWM). Além disso, apresenta seis entradas analógicas, um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB e um conector de energia (D'AUSILIO, 2012).
- c) Módulo Wi-Fi ESP 8266: Este módulo envia dados de forma serial pela rede WiFi em que é conectado. Apresentando como principal vantagem a ausência da necessidade de conexão física com a porta serial do Arduino para o recebimento dos dados que serão transmitidos (KOLBAN, 2015).

4.2. Estação Base (EB)

É responsável por receber informação de uma ou mais USRs através de comunicação sem fio. Essa entidade atua como um *Gateway*, ou seja, uma ponte de ligação entre as Unidades de Sensoriamento Remoto e o Servidor Central.

- a) NodeMCU ESP8266-12: Esse componente tem todas as características da ESP 8266, mas também tem a vantagem de possuir pinos digitais e interface USB para programação.

4.3. Servidor Central (SC)

De maneira geral, o servidor é responsável pelo armazenamento de todos os dados gerados pelos sensores das USRs. Além dessa tarefa, o servidor tem comunicação com a Plataforma de Visualização (PV), onde são apresentados os dados coletados pelos sensores. Os dados são armazenados em um banco de dados MySQL, para que possam ser analisados, processados e publicados na Plataforma de Visualização. A Figura 1 mostra o modelo relacional do banco de dados.

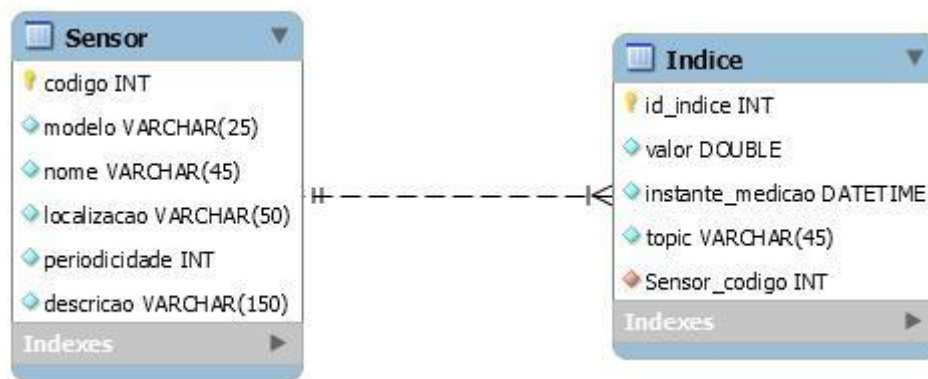


Figura 1 - Modelo Relacional do Banco de Dados

4.4. Plataforma de Visualização (PV)

A quantidade de partículas de cada gás poluente em determinadas áreas e os relatórios periódicos gerados pelo sistema são mostrados em um programa local java. Os dados são coletados a partir da mensagem enviada para o servidor HTTP em tempo real. A Figura 2 mostra a PV desenvolvida em Java.

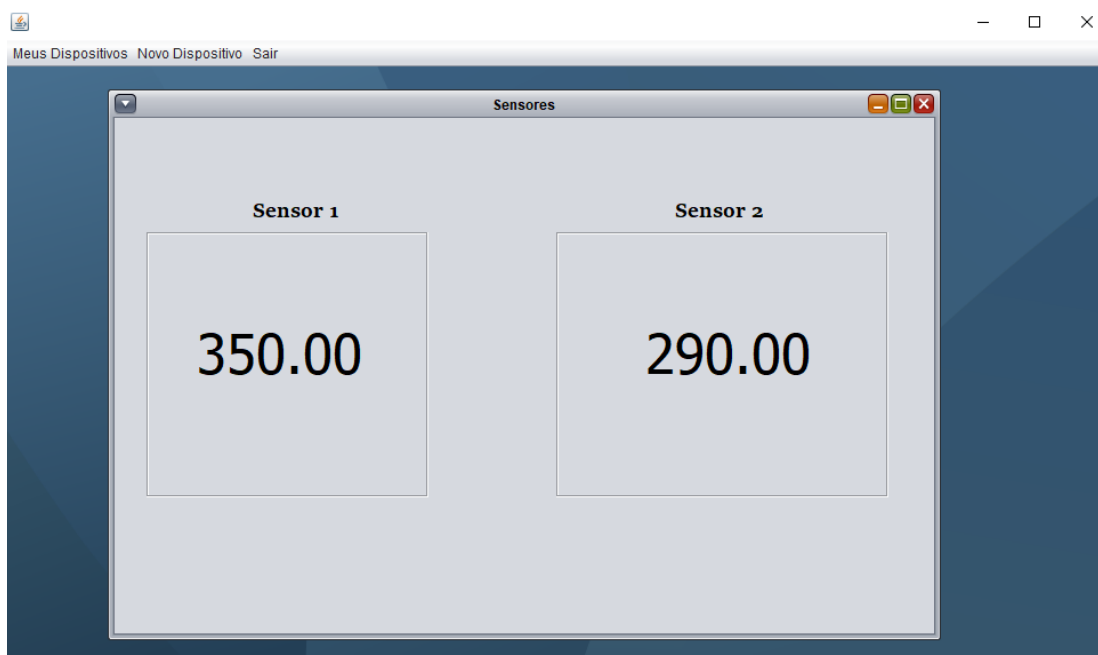


Figura 2 - Interface da aplicação Java

A Figura 3 mostra uma visão geral da proposta e os componentes que fazem parte das entidades USR, EB, e SC.

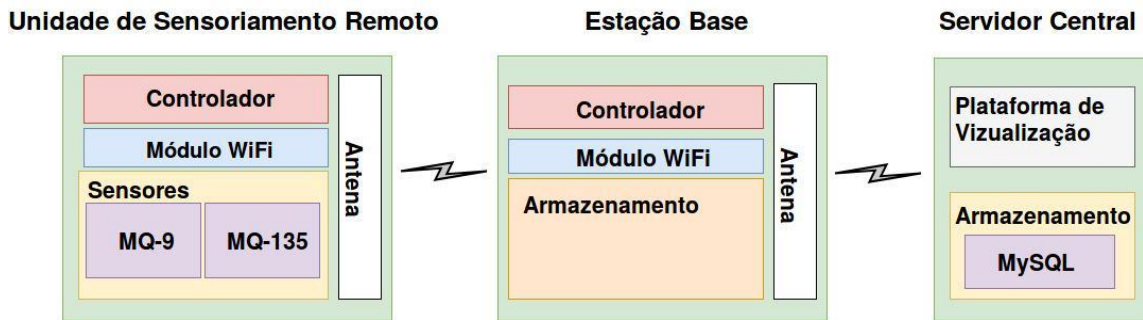


Figura 3 - Componentes das entidades

A partir desses componentes foram realizados os testes para validar o funcionamento do sistema.

5. Resultados

Para avaliar o desempenho do sistema de monitoramento da qualidade do ar utilizando RSSF's, foram realizados três testes práticos utilizando o protótipo.

O primeiro teste ocorreu às 12 horas em uma temperatura ambiente de 30°C no centro da cidade de Castanhal. As medições da concentração de CO₂ estão ilustradas no gráfico da Figura 4.

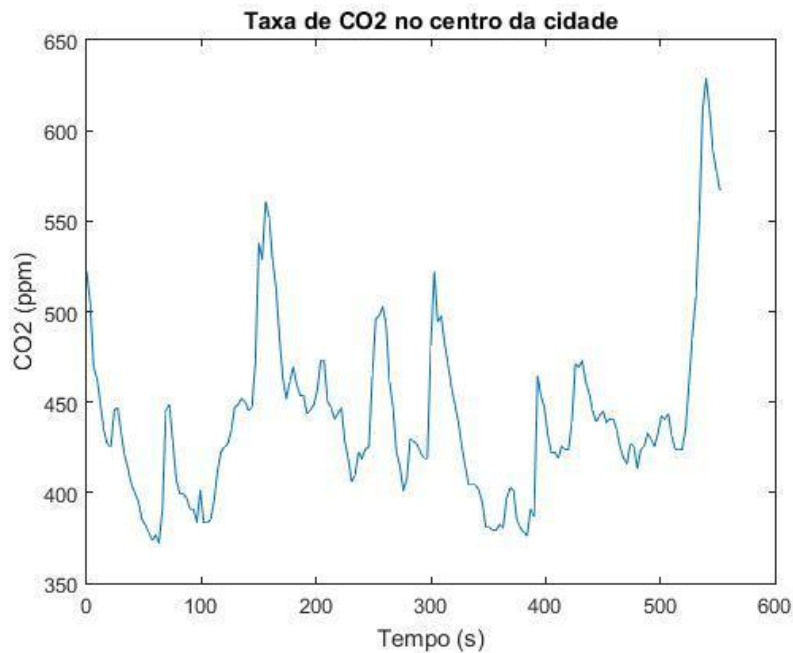


Figura 4 - Concentração de CO₂ no primeiro teste

Posteriormente, foi realizado o segundo teste às 14 horas, com temperatura ambiente de 31 °C. Em ambiente simulado, a partir da combustão de papel próximo ao sensor, em local aberto. Os dados obtidos nestas verificações estão apresentados de forma gráfica na Figura 5.

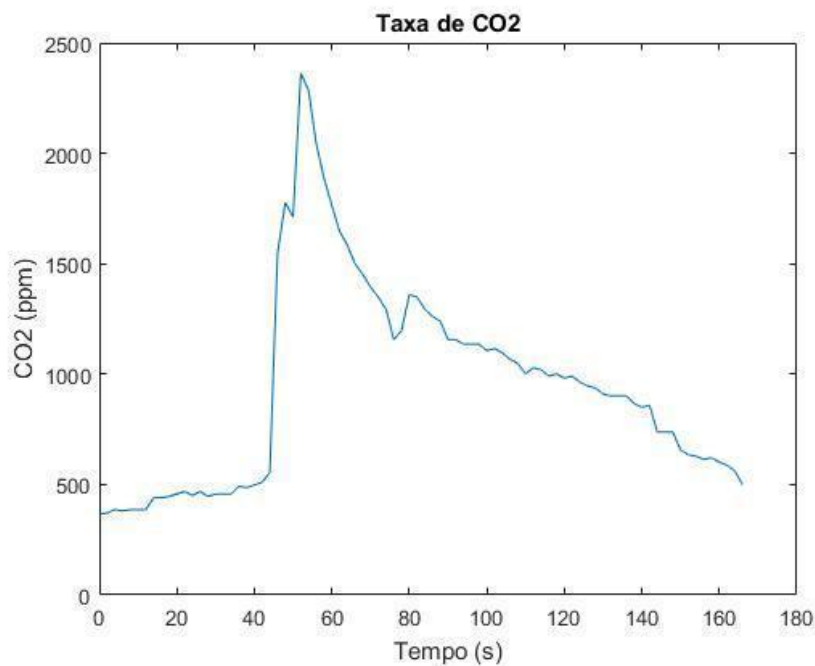


Figura 5 - Concentração de CO2 no segundo teste

A partir da análise da Figura 5 é possível perceber que ocorreu um pico na taxa de CO2, correspondendo a presença de fumaça provocada pela combustão de papel nas proximidades do sensor.

No último teste verificou-se a concentração de CO2 em local com grande tráfego de carros, às 11 horas. A temperatura era 29 °C e a medição ocorreu na BR 316, em Castanhal, Pará. A Figura 6 mostra as medições graficamente.

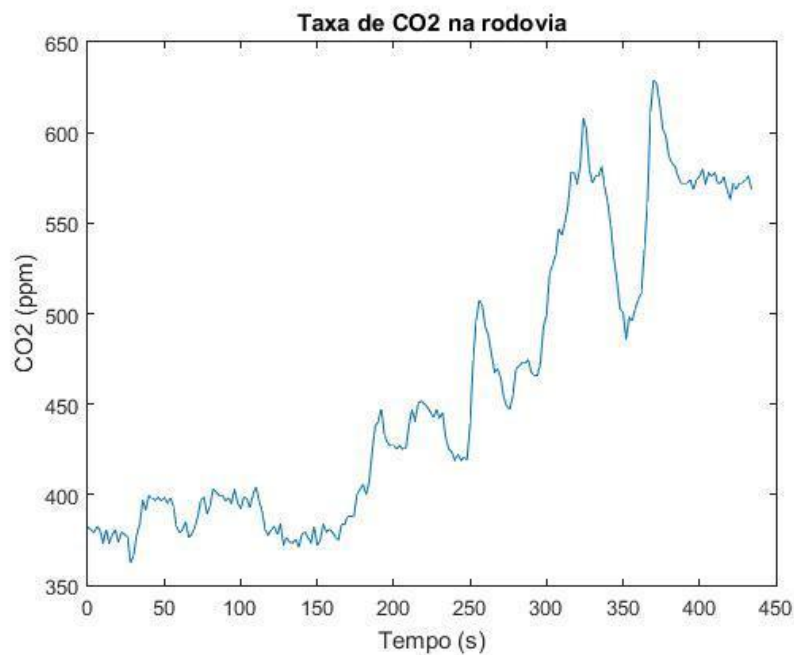


Figura 6 - Concentração de CO2 no terceiro teste

A partir dos testes, foi possível validar a capacidade e sensibilidade do equipamento quanto ao monitoramento de CO₂ e seu comportamento frente às distintas situações.

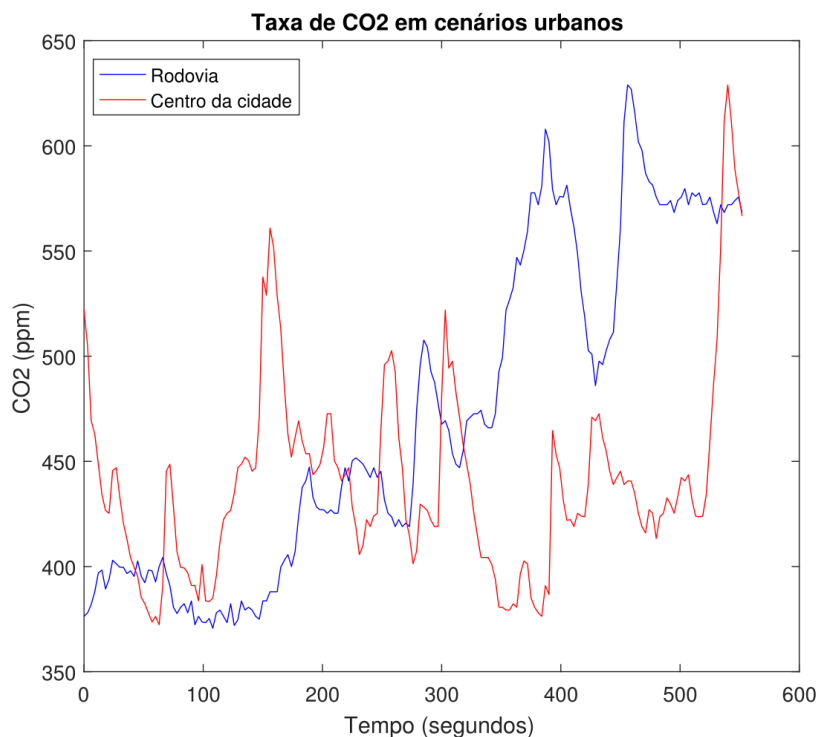


Figura 7 - Comparativo Centro Urbano (1ª coleta) e próximo de Rodovias (2ª coleta)

Além disso, é possível perceber também que a concentração de CO₂ nas regiões onde foram realizadas as medições está acima da média mundial. Segundo (Bernabeo, R. Alberto et al, 2018, p. 3), na era pré-industrial a concentração de CO₂ se dava em torno de 280 ppm, enquanto que hoje em dia se dá por volta de 430 ppm. Porém, foram detectados valores bem mais altos do que esses, o que indica uma situação alarmante na região.

6. Conclusão

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado, pode-se notar a presença de uma lacuna no monitoramento em tempo real de gases poluentes na região amazônica. De forma que as análises atualmente ocorrem apenas em grandes centros urbanos, sendo realizada somente por pólos de pesquisas limitadas. Enquanto que em regiões de floresta é efetuado apenas o sensoriamento remoto de queimadas pelo INPE.

Em vista disso, buscou-se efetuar a detecção dos níveis de gases poluentes nas proximidades de centros urbanos e rodovias, demonstrando-se como uma possível solução, viável e adequada, para o monitoramento de cenários urbanos e rurais. Ao consolidar e realizar os testes práticos, analisou-se as informações necessárias quanto ao funcionamento e a coleta de dados e seu gerenciamento, além do modo de análise e armazenamento em um banco de dados. Para que os índices obtidos pudessem ser recuperados e dispostos em relatórios periódicos.

Portanto, com os resultados obtidos podemos concluir que a utilização de tecnologias acessíveis e de baixo custo proporcionou a realização do monitoramento em tempo real dos gases. A pesquisa traz uma solução importante e aplicável no monitoramento da poluição do ar quanto à concentração de CO₂ na região amazônica. De modo que futuramente poderá servir como base para trabalhos futuros que visem verificar possíveis relações com problemas relacionados à saúde, ao meio ambiente, ou diversas outras aplicações.

7. Referências

- HALEEM, Abid; JAVAID, Mohd; KHAN, Ibrahim. Internet of things (IoT) applications in orthopaedics. *Jornal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, [S. l.], ano 2020, v. 11, n. 1, p. 105-106, 17 jul. 2019.
- JONDALE, Satish; MAHESWAR, R.; LLORET, Jaime. Fundamentals of Wireless Sensor Networks. Received Signal Strength Based Target Localization and Tracking Using Wireless Sensor Networks, [S. l.], p. 1-19, 29 jul. 2021.
- MÜLLER, Manuel et al. Industrial autonomous systems: a survey on definitions, characteristics and abilities. *at-Automatisierungstechnik*, v. 69, n. 1, p. 3-13, 2021.
- BERNABEO, R. Alberto. The impact of climate change and weather on air transport in the UAE: Reduction of CO₂ emissions. *Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, IEEE, ano 2018, p. 1-7, 11 jun. 2018.
- David HALL (1989), - Carbon flows in the biosphere: present and future - *Journal of the Geological Society*, vol. 146.
- D'Ausilio, A. Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment. *Behavior research methods*, v. 44, n. 2, p. 305-313, 2012.
- D. Marquez-Viloria, J. S. Botero-Valencia and J. VillegasCeballos. A low cost georeferenced air-pollution measurement system used as early warning tool. 2016 XXI Symposium on Signal Processing, Images and Artificial Vision (STSIVA), Bucaramanga, 2016, pp. 1-6.
- RODRIGO, J. G. Como fazer um projeto de pesquisa de um artigo de revisão de literatura. *JRG de Estudos Acadêmicos, Brasília*, volume II, n.5, p. 2-28, 2019.
- Hejazi, H. et al. Survey of platforms for massive iot. In: *Future IoT Technologies (Future IoT)*, 2018 IEEE International Conference on. IEEE, 2018. p. 1-8.
- Kodali, R. K. and Mahesh, K. S. Low cost ambient monitoring using ESP8266, 2016.
- Kodali, R. K. and Sarjerao, B. S. MQTT based air quality monitoring, 2017.
- Kolban, N. Kolban's book on the ESP8266. 2015. Disponível em: <<http://neilkolban.com/tech/esp8266>>, acesso em: julho de 2018.
- CISCO. Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2018–2023 white paper, 2020. acesso em: Novembro de 2022.
- Lima, A. L.; Silva, V. L. Micro sensor para monitoramento da qualidade do ar. In: *Workshop de Gestão, Tecnologia Industrial e Modelagem Computacional*. 2015.

Machado, B. L. F.. Sistema de monitoramento da qualidade do ar por meio de micro sensores aplicado ao conceito de cidade inteligente. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VALLADÃO, Manoel M. J. A importância do monitoramento atmosférico contínuo, nas atividades e resgates em espaços confinados. Monografia (especialização em engenharia de segurança do trabalho) – Faculdade de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Taubaté. São Paulo, p. 28. 2019.

Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero Disponível em: <<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/un-año-más-las-concentraciones-de-gases-de-efecto-invernadero-volvieron>>. acesso em: Novembro de 2022.

LINK-LABS. “Symphony Link™ A revolutionary wireless system for wide-area IoT networks.” Disponível em: <https://www.link-labs.com/symphony#calc>, Acesso em: 5 de Maio de 2018.

SILVA, Marcel Salvioni da et al. Rede de sensores sem fio de baixo custo para monitoramento ambiental. 2013.