

Desenvolvimento de um Sistema Computacional Embarcado para Monitoramento de CO₂ in Situ

Caio Castro Rodrigues¹, William de Brito Pantoja¹, Otavio Andre Chase¹, Antônio Thiago Madeira Beirão², José Felipe de Almeida¹, Katiane Pereira da Silva¹

¹Instituto Ciberespacial – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
CEP 66.077-83 – Belém – PA – Brasil

²Campus de Parauapebas – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
68.515.-000 – Parauapebas – PA – Brasil

{caiocastro.eng,william.eng93}@gmail.com,
{otavio.chase,thiago.madeira,felipe.almeida,katiane.silva}@ufra.edu.br

Abstract. *This article presents the development of a system capable of measuring CO₂ autonomously in situ, based on the use of the NodeMCU platform and the MH-z19 sensor. An application in Blynk technology was developed to display the CO₂ application data in ppm with georeferenced collection points, this information was saved in a digital cloud. An experiment was carried out to determine the CO₂ concentration in busy streets in Belém - PA, the results obtained at Avenue Almirante Barroso as the road with the highest levels of carbon dioxide.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema capaz de medir CO₂ de forma autônoma in situ, baseado no uso da plataforma NodeMCU e do sensor MH-z19. Um App em tecnologia Blynk foi desenvolvido para exibir os dados de concentrações de CO₂ em ppm com pontos de coletas georreferenciados, essas informações foram guardadas em um digital cloud. Foi realizado um experimento para determinar a concentração de CO₂ em ruas movimentadas de Belém – PA, os resultados apresentaram a Av. Almirante Barroso como a via com maiores níveis de dióxido de carbono.*

1. Introdução

O Brasil é o 7º maior emissor de gases do efeito estufa (GEE) do mundo, produzindo cerca de 2,9% do total mundial, somente em 2019 houve alta de 9,6% nas emissões internas do país. As emissões brasileiras não indicam tendência de queda, com períodos de altas e baixas associados a recessão econômica e principalmente ao desmatamento e queimadas, conforme explica o relatório do Observatório do Clima (2020).

Nesse contexto, o desequilíbrio ambiental relacionado aos GEE vem sendo motivo de diversas discussões, o dióxido de carbono (CO₂) representa a parcela de contribuição mais importante para o aumento do efeito estufa no planeta Terra. O CO₂ funciona como um regulador térmico e da vida no planeta, no entanto, altas concentrações alteram as propriedades físicas e químicas do ar, com consequências nas dinâmicas atmosféricas e da vida no planeta, Seinfeld e Pandis, (1998).

O ano de 2020 foi avaliado pelos cientistas do NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*) como o segundo ano mais quente da série histórica

contabilizado a partir de 1880. Ademais, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) informou que o ano de 2020 superou todos os resultados anteriores de sua série histórica com uma diferença muito pequena para o ano de 2016, portanto foi considerado um empate técnico. Todavia a NASA enfatiza que embora haja variações nos resultados entre as agências de pesquisas do clima, todos apresentam similaridade entre picos e vales e indicando aquecimento acelerado nas últimas décadas NOAA (2021) e NASA (2021).

Um dos objetivos do desenvolvimento sustentável para a redução das emissões de poluentes atmosféricos e consequentemente a redução de dióxido de carbono equivalente (CO₂e), é tornando o transporte público mais eficiente, seguro, sustentável e acessível, possibilitando a redução da frota de veículos particulares, ONU (2015). A frota de veículos terrestre é responsável por grande parcela da emissão de GEE e de outros poluentes atmosféricos em grandes centros urbanos, causando impactos ambientais e na saúde pública. Somente na cidade de Belém – PA há uma frota de 483.435 veículos terrestres, resultando em aproximadamente 0,32 veículo por habitante, conforme dados do DENATRAN (2020) e IBGE (2020).

Dessa forma, o estudo propõe o desenvolvimento de um sistema computacional embarcado capaz de realizar medições de CO₂ em ruas com alto tráfego de veículos, baseado na plataforma *NodeMCU* que utiliza o *ESP8266* como placa de aquisição e processamento, programado na linguagem C Arduino. Utilizando o sensor de dióxido de carbono MH-z19 através do método de absorção de radiação infravermelho em um comprimento de onda selecionado para determinação da concentração de CO₂ *in situ* na unidade ppm (partes por milhão).

Os dados processados pelo *NodeMCU* são enviados pela rede de internet via *Wi-Fi* para um *digital cloud* integrado a um *App* desenvolvido na plataforma *Blynk*, todos os dados são georreferenciados no datum WGS 84. Dessa forma, o sistema proposto possibilita estudos pontuais sobre a dinâmica do elemento observado em ruas com alto tráfego de veículos na cidade de Belém – PA.

2. Materiais e Métodos

O estudo foi desenvolvido na cidade de Belém (Lat. -1.45502; Long. -48.5024), capital do estado do Pará, região compreendida pelo bioma Amazônia. Conforme classificação de Köppen, a cidade é considerada do tipo *Af*, apresentando clima tropical chuvoso de floresta e bastante úmido, Moreira et al. (2017).

Com a finalidade de obtenção de resultados no monitoramento de CO₂ *in situ*, o desenvolvimento metodológico deste trabalho ocorreu em duas etapas: Desenvolvimento do *Hardware*; Desenvolvimento do *Software* e do *App*, para monitoramento e gerenciamento dos dados obtidos.

2.1. Desenvolvimento do *Hardware*

Para realizar a aquisição de dados utilizou-se o sensor MH-z19, este sensor possui todas as características necessárias para medição de CO₂ mencionadas por Paulino (2017), que são: amplitude em partes por milhão, alta precisão ($\pm 5\%$), fácil empregabilidade e tempo de vida maior que 3 anos, além de apresentar baixo custo (US\$ 30,00) em relação a sistemas proprietários e comerciais.

Este sensor funciona a partir de radiação infravermelho (IR) não dispersiva e possui sistema que compensa a leitura do sensor de acordo com a temperatura do ambiente. Conforme Leite (2010) este método de medição do gás é bastante eficiente devido as características físicas e químicas intrínsecas do gás analisado, pois permite absorção de IR em comprimentos de ondas conhecidos e a partir dessa absorção, é possível determinar a concentração do gás no ambiente.

O sinal emitido pelo sensor contendo os dados de concentração de CO₂ e a temperatura do ar medido pelo próprio MH-z19 na câmara de análise é obtido através de comunicação UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) pelo microcontrolador *NodeMCU*, sua programação foi desenvolvida em linguagem C na IDE (*Integrated Development Environment*) Arduino onde é possível realizar o processamento e análises de confiabilidade da comunicação com o sensor. Após o processamento dos dados o programa retorna concentração do CO₂ no ambiente em ppm e a temperatura do ar em ° C. A Figura 1 apresenta o esquemático do circuito elétrico do sistema proposto.

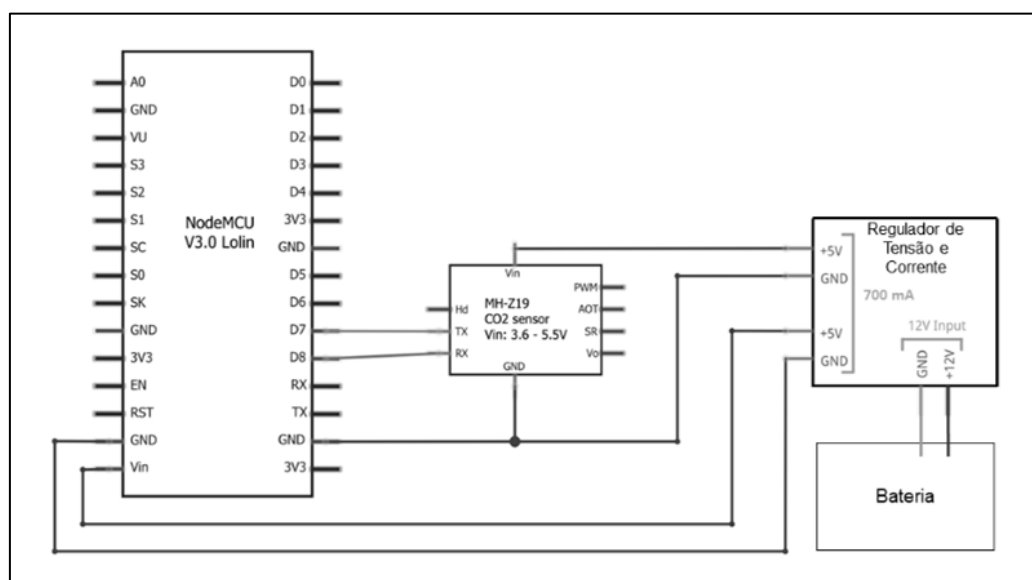


Figura 1. Esquemático elétrico do sistema de CO₂

Um regulador de tensão e corrente do modelo MB102 (2,5 U\$), com tensão de saída de 5 e 3.3 V e corrente máxima de 700 mA foi utilizado para a adequação do fornecimento de energia, necessário para o bom funcionamento do protótipo. O fornecimento de energia ao regulador foi através de uma bateria 12 V com corrente nominal de até 5 Ah, modelo MA5-D (25,00 U\$).

Os equipamentos mencionados foram interligados entre si utilizando fios elétricos, acoplados sob uma placa ilhada de fenolite 6x10 cm (2,00 U\$). Os dispositivos foram conectados e soldados na placa de fenolite, dessa forma, o sistema eletrônico foi acoplado em uma caixa hermética (3,00 U\$) juntamente com um abrigo meteorológico (1,00 U\$) para proteger o sensor de CO₂ da incidência direta das radiações solares.

Com o circuito eletrônico montado e acondicionado (custo total de 63,50 U\$), foi possível desenvolver a programação embarcada no microcontrolador, e o *App* para acompanhamento e registro online do funcionamento do sistema de medição de temperatura, dióxido de carbono e coordenadas GPS. Na Figura 2 podemos observar o protótipo proposto.

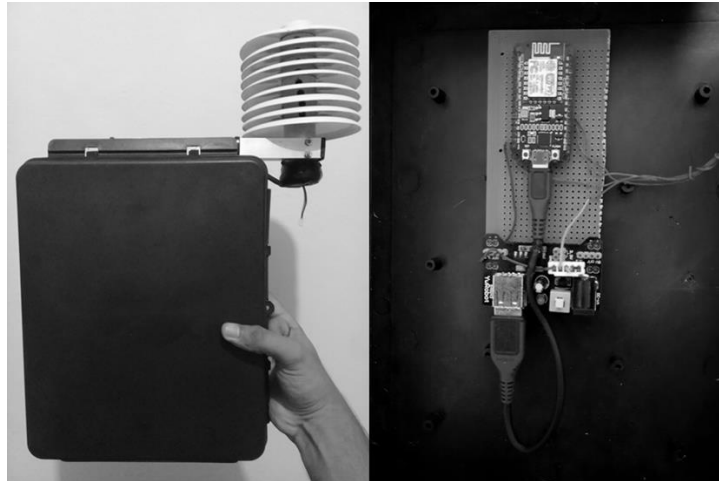


Figura 2. Protótipo acoplado a caixa hermética com abrigo meteorológico

2.2. Desenvolvimento *Software* e do *App*

Utilizou-se o ambiente de desenvolvimento IDE Arduino para o desenvolvimento lógico, essa plataforma auxilia no desenvolvimento de programas baseados na linguagem computacional C. O programa desenvolvido processa os dados do sensor MH-z19 através da comunicação serial com o microcontrolador *NodeMCU*, que por sua vez conecta-se à rede de internet via *Wi-Fi*, processa, e envia as concentrações de CO_2 a um *digital cloud* (*Blynk Cloud*) que dispõe os dados digitalmente em um *App* desenvolvido na tecnologia *Blynk*, podendo ser utilizado em plataformas operacionais *Android* e *iOS*.

No dispositivo móvel onde o *App* funciona, é realizado a conexão com o sistema de GPS (*Global System Position*) do próprio celular através da ferramenta *Maps* da Google®, a fim de salvar os dados de CO_2 e temperatura junto com as coordenadas geográficas no próprio *App*. Dessa forma, é importante que o sensor e o celular estejam próximos.

Após a montagem e configuração do protótipo foi possível realizar o experimento de medição de CO_2 *in situ*, que será apresentado na seção seguinte. A Figura 3 apresenta uma visão geral do sistema de medição de CO_2 *in situ*.

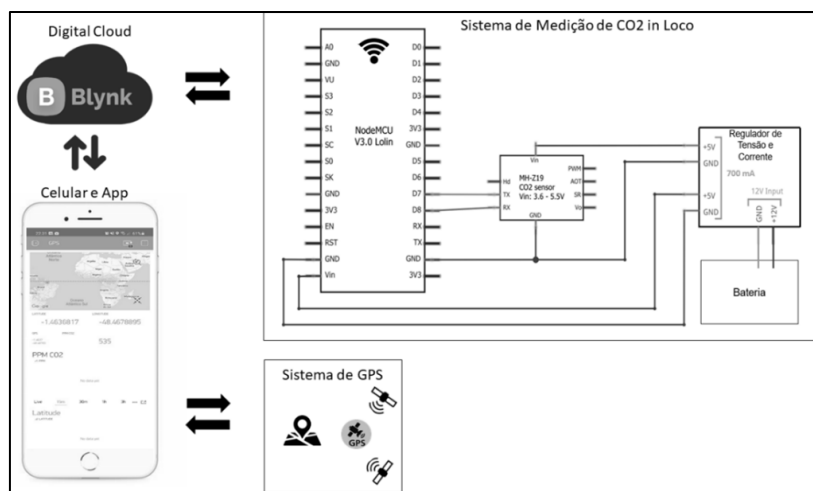


Figura 3. Visão geral do sistema de medição de CO_2

A Figura 4 apresentam o fluxograma contendo os processos realizados pelo microcontrolador *NodeMCU*.

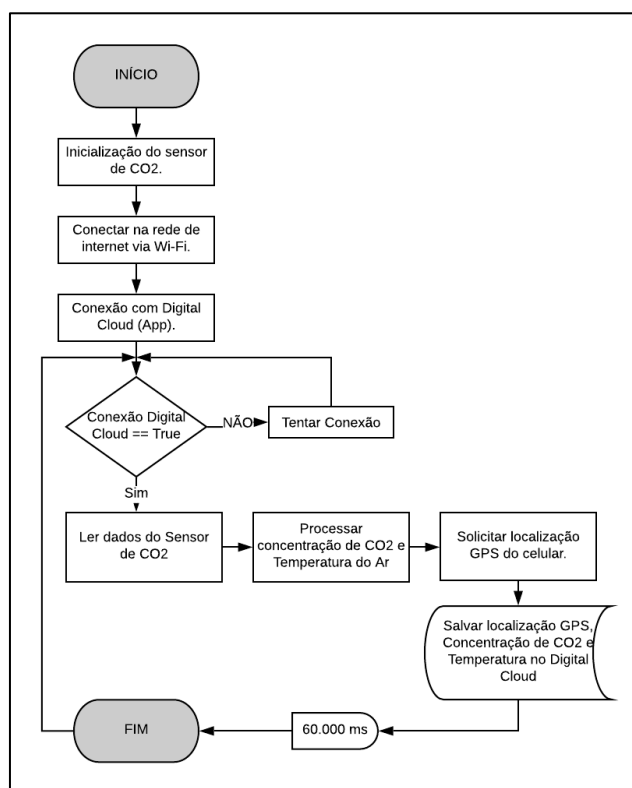


Figura 4. Fluxograma do programa embarcado no *NodeMCU*

3. Resultados e Discussão

Um experimento foi conduzido a fim de se obter resultados práticos sobre a concentração de CO₂ em ambiente urbano *in situ*. As medições foram realizadas dentro de um ônibus com itinerário iniciando na estação rodoviária da UFPA (Universidade Federal do Pará) localizada no bairro do Guamá e terminando no bairro Campina de Icoaraci.

Dentro do ônibus o dispositivo desenvolvido foi acomodado próximo a uma janela aberta, a uma altura do solo de aproximadamente 2,10 m, de forma a representar o usuário do transporte público. O programa embarcado foi configurado para conectar-se ao *Wi-Fi* roteado de um celular com conexão internet, as coordenadas de GPS foram coletas do mesmo dispositivo móvel utilizado.

Foram realizadas 78 medições de concentração de dióxido de carbono ambiente de forma automática, em pontos diferentes, o experimento iniciou às 10:27 h e teve seu término às 11:36 h, configurado com frequência de amostragem de um minuto. A temperatura média foi de 30,04° C com tempo nublado durante todo o trajeto realizado no dia 20 de fevereiro de 2021.

Nessa época do ano a Região Metropolitana de Belém passa por um período chuvoso, apresentando altas taxas de precipitação principalmente por conta da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e de circulações de brisas, conforme mencionam Sousa e Neu, (2021).

Os dados de localização geográfica foram registrados com precisão de 5 m georreferenciados no sistema de coordenadas geográficas WGS 84. Tanto os dados de GPS quanto a concentração de CO₂ foram armazenados simultaneamente no *digital cloud Blynk* e exibidos no *App* desenvolvido, conforme ilustra a Figura 5.



Figura 5. Sistema de medição de CO₂ em coleta e tela do App

O *hardware* e o *software* apresentaram robustez e estabilidade quanto ao experimento realizado, em conformidade com pesquisa realizada por Lapshina, Kurilova & Belitsky (2019), onde afirmam que o sensor utilizado para a construção do dispositivo sugerido na presente pesquisa pode ser aplicado em ambientes a fim de evitar consequências negativas a vida humana.

As concentrações de CO₂ e as coordenadas geográficas foram registradas e recuperadas do *digital cloud* a fim de se analisar a disponibilidade dos dados e a confiabilidade do servidor Nariya et al., 2009.

Os pontos de medição foram classificados em três áreas: Guamá/São Braz, Av. Almirante Barroso e Av. Augusto Montenegro. A Tabela 1 apresenta as médias de concentrações em ppm e temperatura em cada área analisada.

Tabela 1. Médias de concentrações de CO₂ e temperatura do ar

	Concentração de CO ₂	Desvio Padrão CO ₂	Temperatura
Guamá / São Braz	583,40 ppm	56,67 ppm	29,81° C
Almirante Barroso	678,65 ppm	88,15 ppm	30,18° C
Augusto Montenegro	573,25 ppm	30,05 ppm	30,13° C
Geral	611,77 ppm	58,15 ppm	30,04° C

As concentrações de dióxido de carbono no bairro do Guamá / São Braz e na Av. Augusto Montenegro apresentam valores mais baixos ao comparar com a Av. Almirante Barroso devido a maior fluidez do trânsito.

A concentração média geral de CO₂ do experimento apresentou valores próximos ao observado por Teixeira et al. (2018) em horários semelhantes, por mais que esses valores não apresentem efeitos nocivos à saúde já é possível alterar a taxa de respiração instintiva (acima de 600 ppm), que varia a sensação de falta de ar conforme aumenta a concentração de CO₂ no ambiente, Prochnow (2003).

O aumento da concentração na Almirante Barroso ocorre devido a intensidade de veículos, causando engarrafamentos, que por sua vez aumentam a densidade de descargas veiculares expelindo gases. Essa característica foi observada por Stacke et al. (2009) ao realizar o experimento exemplificando concentração de dióxido de carbono expelida por veículos em relação a distância do sensor.

Os dados da coleta *in situ* foram exportados em formato de arquivo Excel[®]. No *software* QGIS 3.10 as coordenadas foram convertidas para o Datum SIRGAS 2000. A Figura 6 apresenta o mapa dos pontos de medição.

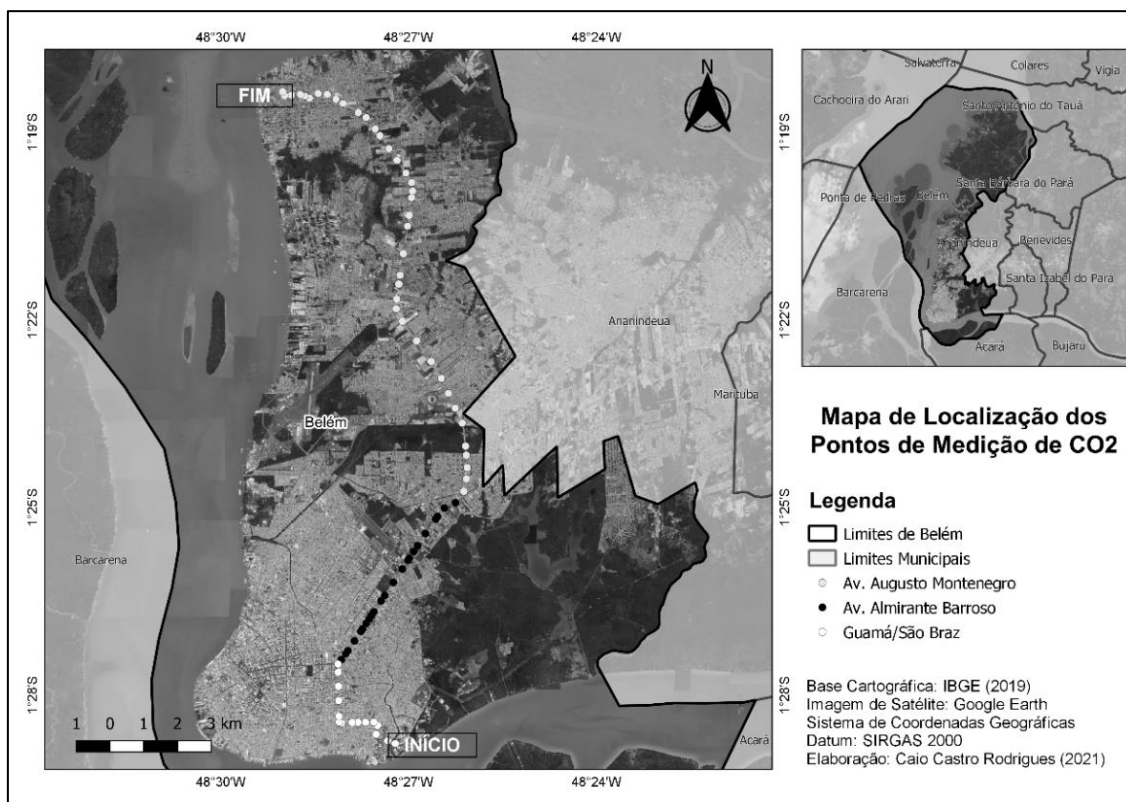


Figura 6. Mapa de localização dos pontos de medição

No presente estudo observamos que a concentração média de CO₂ da Av. Almirante Barroso apresentou valores compatíveis aos observados por Brabo e Miyagawa (2014). No entanto, apresentou valor maior ao observado por Moreira et al. (2017), no qual sua pesquisa constatou 533 ppm ao analisar o ar em área urbana (próximo a Av. Almirante Barroso), durante o período de inverno, através do método de análise em equipamento de cromatografia gasosa.

A Figura 7 exibe a condição do trânsito na avenida Almirante Barroso durante o experimento.



Figura 7. Trânsito na Avenida Almirante Barroso

Conforme estudo de Nascimento et al. (2015) o tráfego de ônibus urbanos na Av. Almirante Barroso representa a segunda maior frota circulante em relação aos demais tipos de veículos. Somando todas as emissões veiculares o estudo retorna valor de 421,15 kg/h de CO₂ na avenida.

Por outro lado Assumpção, Tavares e Coutinho (2019) fizeram levantamento de emissão e sequestro de CO₂ na cidade de Belém, tendo como base de cálculos a frota de ônibus urbanos, distância percorrida, número de viagens por ano e áreas capazes de absorver esse carbono emitido. Verificou-se que apenas 3,48% do CO₂ emitido é absorvido dentro de Belém.

Os estudos correlacionados citados no texto, corroboram na urgência de um sistema de transporte coletivo urbano mais eficiente, favorecendo a diminuição do número de veículos particulares. Um método bastante eficaz é o emprego de forma eficiente do BRT (*Bus Rapid Transit*). Esse modelo de transporte com rota partindo de São Brás, Av. Almirante Barroso e por fim chegando no bairro da Campina de Icoaraci, pode evitar o lançamento de 196.922 tCO₂e (toneladas de CO₂ equivalentes) em um período de 20 anos, Hashino (2019).

Ademais em nenhum ponto do experimento deste estudo foi percebido concentrações acima do nível de 1.000 ppm, nessa concentração é possível perceber sintomas como dor na cabeça, fadiga, diferentes tipos de irritações, como explicam Bujdei e Moraru (2011).

No entanto, boas práticas de políticas de mobilidade urbana devem ser empregadas para evitar o sub aproveitamento do transporte público, tornando-o cada vez mais eficiente de acordo com estratégias do desenvolvimento urbano sustentável e inclusivo. Essas ações ajudam na contenção das emissões de CO₂ e demais poluentes atmosféricos.

4. Conclusão

Dispositivos proprietários de medição de CO₂ apresentam valor elevado, dessa forma o dispositivo desenvolvido nesse estudo apresenta uma viabilidade técnica e econômica adequada para a situação do experimento realizado. Os diferenciais do dispositivo desenvolvido são: plataforma aberta onde é possível alterar as configurações de processamento e de análises de dados; facilidade de manuseio do equipamento; conectividade com internet; automação na coleta de dados; visualização e recuperação dos dados de forma simples e gratuita, entre outros.

Os resultados apresentaram dados sobre a dinâmica do CO₂ em três áreas de Belém com características diferentes no trânsito de veículos. Foi possível perceber a influência que a densidade de veículos causa na dinâmica do CO₂ para um usuário do transporte coletivo, ademais, um estudo mais aprofundado em diferentes condições ambientais é necessário para complementar este estudo, para explicar possíveis riscos que as pessoas correm relacionados ao dióxido de carbono.

Dessa forma, conclui-se que o desenvolvimento do sistema computacional embarcado para monitoramento de CO₂ *in situ*, cumpriu com os objetivos técnicos no qual norteou o estudo e apresenta potencial para estudos ambientais em diversas áreas.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica (PROIC) da Universidade Federal Rural da Amazônia, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a CAPES pelo suporte de desenvolvimento científico da pesquisa.

Referências

- Assumpção, M. P., Tavares, P. A., & Coutinho, E. C. (2019) “Balanço de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém, Brasil”, In: Revista Brasileira de Gestão Urbana, Curitiba, v. 11 (e20180186), p. 1-17.
- Brabo L. D. M., Miyagawa L. T. (2014) “Avaliação da Poluição e Qualidade do Ar, e Seus Possíveis Efeitos Sobre a Saúde Humana na Cidade de Belém”, In: Anais do V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo Horizonte, p. 1-6.
- Nascimento W. A., Serra I. S. D., Soares J. M., Araújo I. R. S. (2015) “Estudo da Estimativa das Emissões Veiculares Geradas no Eixo da Avenida Almirante Barroso no Município de Belém – PA”, In: Anais do 28º CBESA. Rio de Janeiro - RJ, p. 1-7.
- Teixeira R. R. C., Matos A.C.S., Lima I. S., Coutinho E.C., (2018) “Qualidade do Ar e Acessibilidade: A Situação do Bairro de Nazaré, Município de Belém – PA”, In: Anais do XIV Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Foz do Iguaçu - PR, p. 1-12.
- Bujdei, C., Moraru, S. A., (2011) “Ensuring confort in office buildings: desinging a KNX monitoring and control system”, In: Intelligent Environments (IE), 7th International Conference on, IEEE, p. 222-229.
- Denatran – Departamento Nacional de Trânsito. (2020) “Quantidade de Veículos por UF Município Ano de Fabricação Modelo”, <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2020>, Janeiro.

- Hosinho, C. S., (2018) “Potencial de Redução de Emissões Atmosféricas a partir da Implantação do BRT: Estudo de Caso em Belém – PA”. Dissertação de Mestrado, PPGPS, Universidade Estadual de Campinas.
- IBGE, (2020) “População estimada: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Estimativas da população residente com data de referência 01/07/ 2020”, <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>, Janeiro.
- Lapshina P. D., Kurilova S. P., Belitsky, A. A., (2019) “Development of an Arduino-based CO₂ Monitoring Device”, In: Conference of Russian Young Researchers, Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), IEEE, p. 595-597. Publicação Eletrônica.
- Leite, V. D. P. O., (2010) “Transporte de CO₂ no Sistema Solo-Planta-Atmosfera”, Dissertação de Mestrado, PPGF, UNESP, Rio Claro. Publicação Impressa.
- Moreira, J, D.P., Silva, C.M., Bueno, C., Corrêa, S. M., Arbilla, G., (2017) “Determinação de Gases do Efeito Estufa em Cinco Capitais de Diferentes Biomas Brasileiros”, Revista Virtual de Química, v.9(5), p. 2032-2051. Publicação Eletrônica.
- Nariya, T., Seong, Y., Hashida, T., Naemura, T., (2009) “Spatio-temporal sensing and visualizing of CO₂”, In: SIGGRAPH '09: Posters. New Orleans, Louisiana: ACM.
- NASA, (2021) “2020 Tied for Warmest Year on Record, NASA Analysis Shows”, <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20210114/>, Janeiro.
- NOAA, National Oceanic Atmospheric Administration. (2021) “State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020”, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>, Janeiro.
- Observatório do Clima. (2020) “Análise das Emissões Brasileiras de Gases do Efeito Estufa e Suas Implicações Para as Metas do Brasil (1990 a 2019)”, <http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>, Janeiro.
- ONU, (2015) “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>, Dezembro.
- Paulino, M. L., (2017) “Monitoramento e Gestão de Variáveis em Ambiente Fechado por Meio de Rede de Sensores sem Fio (RSSF)”, Dissertação de Mestrado, PGEE, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.
- Prochnow, M. A. (2003) “Monitoramento de gases – estudo comparativo das principais tecnologias de sensores e aspectos relacionados”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Porto Alegre: Escola de Engenharia, UFRGS.
- Seinfeld, J. H., Pandis S.N., (1998) “Atmospheric Chemistry and Physics from air pollution to climate change”, In: Toronto: Wiley-Interscience.
- Sousa, A. M. L., Neu V, (2021) “Porque chove tanto em Belém?”, Diário do Pará, Belém, 38, (13.342), 21 de fevereiro de 2021, p. A6. Publicação Impressa.
- Stacke, J., Dettenborn, E., Tomazi, R., Silveira, R. J., Santana, R. M. C., (2009) “Estudo Comparativo dos Poluentes Emitidos por Ônibus e Micro-ônibus de Transporte Coletivo”, 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p.1-8.