

# ANÁLISE DO CONFORTO AMBIENTAL EM VEÍCULOS DE TRANSPORTE COLETIVO POR MEIO DE REDES SENSORIAL SEM FIO COM TECNOLOGIA LORA

ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL COMFORT IN PUBLIC TRANSPORTATION  
VEHICLES THROUGH WIRELESS SENSOR NETWORKS USING LORA  
TECHNOLOGY

Ciências Exatas e da Terra, Engenharias • 06/04/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/775408090](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/775408090)

Mateus Pereira de Sá Barbosa<sup>1</sup>

Jean Mark Lobo de Oliveira<sup>2</sup>

Pablo Augusto da Paz Elleres<sup>3</sup>

Cleonor Crescencio das Neves<sup>4</sup>

## RESUMO

Durante a pesquisa, acompanhamos de perto o que rola dentro dos micro-ônibus da cidade, medindo temperatura, umidade e CO<sub>2</sub> com sensores espalhados pela frente, centro e traseira dos veículos. Nos horários de maior movimento, a frente do ônibus ficou mais fresca, por volta de 22°C, enquanto a traseira chegava a 28°C, e a umidade variou entre 55% e 65%. O CO<sub>2</sub> acompanhou a lotação: quando o ônibus estava cheio, chegava a 1.250 ppm na parte de trás, onde o ar circula menos. Mesmo com o ônibus em movimento e com gente entrando e saindo, os sensores enviaram os dados de forma confiável, mantendo mais de 95% de pacotes entregues ao gateway. Esses números mostram claramente onde o desconforto acontece, permitindo ajustar a ventilação, a climatização e até a forma como o espaço é ocupado. Com esse acompanhamento contínuo, é possível transformar dados técnicos em ações práticas para deixar a viagem mais agradável, garantindo que passageiros respirem melhor e sintam menos calor e abafamento, principalmente nos trechos mais cheios e na parte traseira do veículo.

**Palavras-chave:** conforto térmico, qualidade do ar, micro-ônibus, sensores sem fio, LoRa, monitoramento ambiental.

## ABSTRACT

During the research, we closely monitored the conditions inside city minibuses, measuring temperature, humidity, and CO<sub>2</sub> using sensors distributed across the front, middle, and rear sections of the vehicles. During peak hours, the front area remained cooler, around 22°C, while the rear reached up to 28°C, and humidity ranged between 55% and 65%. CO<sub>2</sub> levels followed passenger occupancy: when the bus was crowded, levels reached up to 1,250 ppm in the rear, where air circulation is more limited. Even with the vehicle in motion and passengers constantly boarding and alighting, the sensors

transmitted data reliably, maintaining over 95% packet delivery to the gateway. These results clearly highlight where discomfort occurs, enabling adjustments in ventilation, air conditioning, and even space utilization. With continuous monitoring, it becomes possible to turn technical data into practical actions to improve travel conditions, ensuring better air quality and thermal comfort for passengers, especially in crowded sections and at the rear of the vehicle.

**Keywords:** thermal comfort, air quality, minibuses, wireless sensors, LoRa, environmental monitoring.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro de um ônibus em circulação, pequenas variações de temperatura e qualidade do ar podem alterar significativamente a experiência de quem depende do transporte coletivo todos os dias. Sensações de abafamento ou desconforto térmico, embora pareçam subjetivas, estão diretamente ligadas a fatores mensuráveis. Quando esses elementos não são acompanhados de forma sistemática, decisões acabam sendo tomadas apenas com base na percepção. A incorporação de sensores permite transformar essa realidade em informações concretas. Medir o ambiente interno passa a ser um processo contínuo e organizado. A tecnologia, nesse contexto, atua como ponte entre o dado físico e a melhoria prática do serviço.

A aplicação intitulada Análise do Conforto Ambiental em Veículos de Transporte Coletivo por Meio de Redes Sensorial Sem Fio nasce da necessidade de utilizar recursos tecnológicos acessíveis para compreender melhor as condições ambientais internas dos veículos. Redes de Sensores Sem Fio oferecem uma estrutura capaz de operar sem cabeamento fixo, característica essencial em ambientes

móveis. Akyildiz e Kasimoglu (2021) definem essas redes como conjuntos de sensores e atuadores conectados por comunicação sem fio, organizados para realizar sensoriamento distribuído e apoiar decisões com menor atraso na transmissão das informações. Essa organização permite que dados sejam coletados em diferentes pontos do ambiente e enviados para processamento de maneira eficiente. Os chamados nodos reúnem componentes como sensor, microcontrolador, memória, transceptor e fonte de energia, formando unidades autônomas de coleta. O gateway realiza a intermediação entre a rede e sistemas de análise, enquanto a estação base centraliza o armazenamento das informações recebidas. Tal arranjo estrutural favorece mobilidade e adaptação. Verona (2022) destaca que as RSSF pertencem ao universo das redes ad hoc, caracterizadas pela descentralização do envio e recebimento de dados, permitindo que múltiplos pontos assumam funções de roteamento conforme a dinâmica da rede. Essa descentralização é particularmente relevante em um veículo em movimento, onde flexibilidade operacional é indispensável. A importância da proposta está na utilização dessa arquitetura tecnológica para monitorar variáveis ambientais de forma prática. Não se trata apenas de medir temperatura ou umidade, mas de aplicar um sistema capaz de organizar e disponibilizar essas informações de maneira estruturada. O título expressa essa convergência entre conforto ambiental e infraestrutura sensorial. Sua relevância está associada à aplicação direta de conceitos de redes distribuídas em um contexto urbano cotidiano. Ao integrar tecnologia e mobilidade, a proposta evidencia como soluções técnicas podem contribuir para aprimorar serviços públicos.

A implementação prevista concentra-se na construção de uma rede sensorial sem fio aplicada ao interior de veículos de transporte

coletivo. Pretende-se organizar nodos responsáveis pela coleta de variáveis ambientais e estruturar o fluxo de dados até o gateway e a estação base. A proposta envolve acompanhar continuamente indicadores que interferem na sensação térmica e na qualidade do ambiente interno. Busca-se demonstrar, na prática, o funcionamento integrado dos componentes da rede em um cenário real de circulação. Espera-se evidenciar estabilidade na comunicação entre os dispositivos e consistência nos dados transmitidos. Também se almeja verificar a adaptabilidade da solução a condições dinâmicas de deslocamento. A aplicação deverá resultar em um sistema funcional capaz de registrar e organizar informações ambientais de forma estruturada. Ao final, a intenção é apresentar uma solução tecnológica aplicável que uma sensoramento, comunicação sem fio e monitoramento ambiental no contexto do transporte coletivo.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A discussão sobre conforto ambiental em veículos de transporte coletivo envolve mais do que parâmetros técnicos isolados, trata-se de compreender como variáveis físicas interagem dentro de um espaço móvel que diariamente recebe diferentes perfis de usuários em horários distintos e sob condições climáticas variadas. O ambiente interno de um ônibus não é estático, ele se transforma conforme o número de passageiros, a abertura de portas, a incidência solar e o funcionamento do sistema de ventilação.

Nos últimos anos a produção científica passou a tratar esse cenário com maior profundidade, articulando qualidade do ar, conforto térmico e tecnologias de monitoramento distribuído. Essa aproximação entre engenharia ambiental e sistemas embarcados

permitiu deslocar a análise da esfera puramente perceptiva para uma abordagem fundamentada em dados mensuráveis. Quando temperatura, umidade e concentração de gases deixam de ser apenas sensações e passam a ser registros contínuos a tomada de decisão, torna-se mais técnica mais transparente e mais justificável. Esse movimento representa uma mudança de postura na forma como o ambiente interno é avaliado dentro da mobilidade urbana. Ele amplia a responsabilidade técnica sobre a qualidade do serviço oferecido. Também fortalece a integração entre pesquisa aplicada e gestão pública.

## **2.1. Conforto Térmico em Veículos de Transporte Coletivo**

O conforto térmico em ambientes de transporte público depende de um equilíbrio delicado entre temperatura do ar, umidade relativa, ventilação e taxa de ocupação dentro de um veículo em circulação, essas variáveis sofrem alterações constantes especialmente em cidades com clima quente e alta densidade populacional. A cada parada, novas pessoas entram, o ar se renova parcialmente e o sistema de climatização precisa responder rapidamente a essa mudança. Pequenas variações podem gerar sensação de abafamento ou frio excessivo, impactando diretamente a experiência do usuário. A literatura mostra que a percepção térmica não é uniforme. Ela resulta de uma combinação entre condições ambientais e características individuais dos passageiros. Ainda assim há parâmetros objetivos capazes de indicar quando o ambiente se afasta das condições consideradas adequadas.

Zhang et al. 2020 no estudo publicado na revista Building and Environment sob o título Thermal comfort evaluation in public transportation environments demonstram que medições realizadas

em ônibus urbanos evidenciam diferenças significativas entre padrões normativos e condições reais de operação, reforçando a importância de monitoramento contínuo baseado em dados coletados em campo. Os resultados apresentados pelos autores indicam que a simples presença de sistema de climatização não garante conforto efetivo. A eficiência depende do controle adequado e da adaptação às condições dinâmicas do trajeto. Isso revela que monitorar não é apenas medir, mas compreender padrões ao longo do tempo.

## **2.2. Redes de Sensores Sem Fio para Monitoramento Ambiental**

As Redes de Sensores Sem Fio surgem como resposta tecnológica à necessidade de coletar dados em ambientes onde a infraestrutura fixa é limitada ou inviável. Em veículos de transporte coletivo a instalação de cabeamento estruturado para múltiplos pontos de medição pode ser complexa e pouco prática, a arquitetura distribuída das redes sensoriais permite superar essa limitação ao utilizar nodos autônomos capazes de captar e transmitir informações sem dependência de conexões físicas permanentes. Esses nodos funcionam como pequenas unidades inteligentes responsáveis por registrar variáveis específicas e encaminhar os dados para um ponto central de processamento. A comunicação ocorre por protocolos projetados para otimizar consumo energético e manter estabilidade mesmo em ambientes sujeitos a interferências externas. Segundo Lanzolla e Spadavecchia (2021) no artigo *Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring* publicado na revista *Sensors* destacam que essas redes apresentam escalabilidade e capacidade de transmissão em tempo real, características fundamentais para aplicações ambientais que exigem acompanhamento contínuo e confiável. O estudo evidencia

que a integração entre sensores distribuídos e sistemas de análise amplia a precisão das avaliações ambientais. Em um contexto de mobilidade urbana isso significa registrar variações internas ao longo de todo o percurso permitindo uma visão mais completa do comportamento térmico do veículo.

### **2.3. Arquitetura das Redes Sensoriais e Comunicação Distribuída**

A arquitetura de uma rede sensorial é composta por nodos que integram sensores microcontroladores e módulos de comunicação organizados de forma cooperativa. Cada dispositivo executa funções específicas de coleta e transmissão enquanto um gateway centraliza o fluxo de dados para posterior armazenamento e análise. Essa organização descentralizada favorece robustez operacional e reduz dependência de um único ponto de falha. Em ambientes móveis como ônibus urbanos, a topologia da rede pode sofrer alterações decorrentes de interferências físicas ou variações na intensidade do sinal. A capacidade de reorganização automática torna-se então elemento essencial para manter a continuidade da comunicação.

Segundo Akyildiz Kak e Guvenc (2022) no artigo 6G and Beyond Wireless Systems publicado na revista IEEE Access discutem a evolução das arquiteturas de comunicação distribuída e enfatizam a relevância de baixa latência e confiabilidade para aplicações que exigem transmissão constante de dados em cenários heterogêneos. Embora o estudo trate de perspectivas futuras das redes sem fio seus fundamentos sobre robustez e adaptação dinâmica são diretamente aplicáveis a sistemas sensoriais embarcados. A estabilidade da comunicação influencia diretamente a qualidade do conjunto de dados obtido.

## 2.4. Qualidade do Ambiente Interno em Cabines de Transporte

A qualidade do ambiente interno em veículos terrestres não pode ser vista apenas como um conjunto de números registrados por sensores. Ela representa a forma como as pessoas vivenciam aquele espaço durante o deslocamento diário. Concentração de dióxido de carbono, renovação do ar e distribuição do fluxo ventilatório influenciam diretamente a sensação de bem-estar, disposição e até segurança dos passageiros. Em veículos com grande rotatividade, cada parada modifica o equilíbrio interno do ar, exigindo resposta eficiente do sistema de ventilação. Quando esses fatores não são acompanhados de forma contínua, pequenas alterações passam despercebidas e, com o tempo, comprometem o conforto coletivo. Monitorar de maneira estruturada significa transformar essas variações em informação útil para a gestão, permitindo ajustes mais precisos e decisões fundamentadas na realidade observada ao longo do trajeto. Ao registrar dados ao longo do trajeto torna-se possível compreender como horários de pico exposição solar e padrões de circulação impactam o ambiente interno.

Pisello et al. 2024 no estudo *A Field Survey on Indoor Climate in Land Transport Cabins of Buses and Trains* publicado na revista *Atmosphere* observaram que parte significativa dos veículos analisados apresentou condições internas fora dos limites recomendados para conforto térmico e ventilação evidenciando a necessidade de monitoramento contínuo e ajustes operacionais baseados em dados técnicos. Os resultados reforçam que a análise ambiental em transporte coletivo não deve ser episódica. Ela precisa ser constante e estruturada para gerar impacto real na gestão do serviço.

### **3. METODOLOGIA**

A ideia desse sistema foi surgindo aos poucos, a partir da preocupação de acompanhar melhor o que acontece dentro do ônibus. Antes de pensar em colocar qualquer equipamento, foi preciso refletir sobre o que realmente valia a pena medir, por que esses dados seriam importantes e como eles poderiam ser enviados sem falhas, mesmo com o veículo em movimento. Nada foi feito de forma automática; cada decisão considerou as condições reais do espaço, como limitações físicas e interferências do próprio ambiente. Com isso, o trabalho acabou se organizando naturalmente em etapas conectadas: primeiro pensar na estrutura do nodo, depois escolher onde posicionar os componentes, em seguida definir como os dados seriam transmitidos usando LoRa em modo RAW e, por último, estruturar a forma de receber e guardar essas informações de maneira segura e confiável.

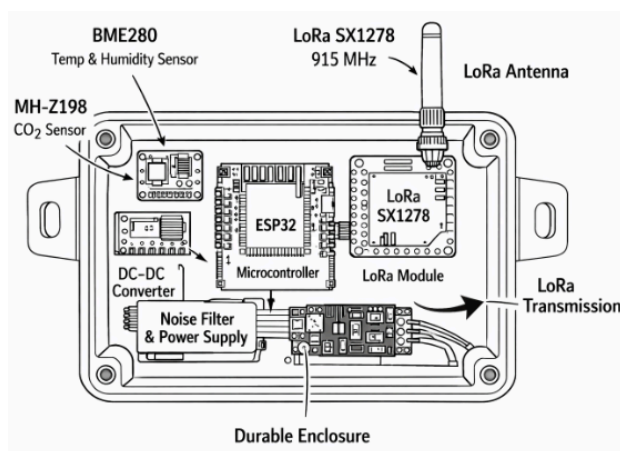
#### **3.1. Desenvolvimento do Nodo Sensorial com Lora RAW**

A primeira etapa consistiu na concepção física e lógica do nodo sensorial. Optou-se por utilizar microcontrolador ESP32 integrado a módulo LoRa SX1278 operando em 915 MHz, frequência adequada ao território brasileiro. A escolha pelo modo LoRa RAW ocorreu pela necessidade de controle direto sobre os parâmetros da camada física, permitindo ajuste manual de spreading factor, largura de banda e taxa de codificação.

Os sensores selecionados foram BME280 para temperatura e umidade e MH-Z19B para concentração de dióxido de carbono. O microcontrolador executa ciclos periódicos de leitura, organiza os valores em estrutura compacta e realiza transmissão direta ao

gateway, sem dependência de servidor LoRaWAN externo. A alimentação foi derivada da rede elétrica do ônibus por meio de conversor DC-DC estabilizado, incluindo filtragem contra ruídos do sistema automotivo. O encapsulamento foi projetado para suportar vibração constante e variações térmicas internas. Como é a apresenta na Figura 1.

**Figura 1:** Arquitetura Física e Lógica do Nodo Sensorial Baseado em Esp32 com Comunicação Lora Raw para Monitoramento Ambiental Embarcado



Fonte: Autores, 2026

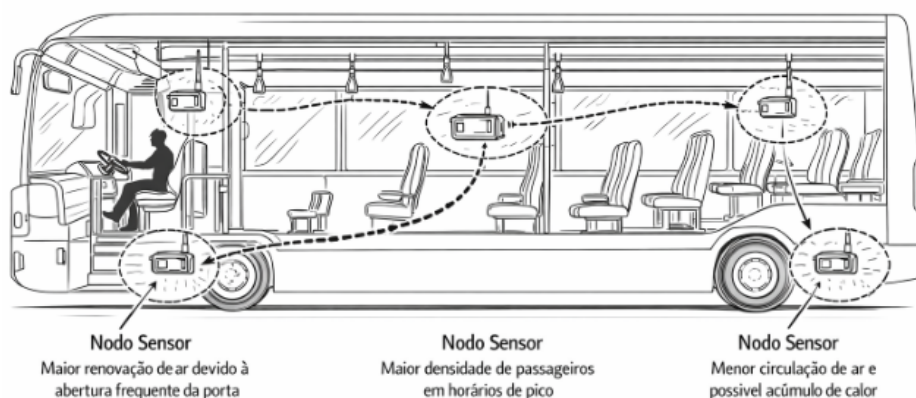
### 3.2. Definição Estratégica da Localização dos Nodos

Com os nodos montados e testados em bancada, iniciou-se a análise espacial do interior do veículo. A escolha dos pontos de instalação não ocorreu de maneira aleatória. Foram observados fluxo de passageiros, incidência solar pelas janelas e comportamento do sistema de ventilação. Três regiões foram selecionadas para permitir leitura distribuída do ambiente interno. A parte frontal próxima ao motorista representa área com maior renovação de ar devido à abertura frequente da porta. A região central concentra maior densidade de passageiros em horários de pico. A parte traseira

costuma apresentar menor circulação de ar, podendo acumular calor.

Os dispositivos foram fixados em suportes discretos, afastados de saídas diretas de ar condicionado para evitar distorção nas medições. Figura 2, a intenção foi capturar o ambiente real experimentado pelos usuários.

**Figura 2:** Distribuição Espacial dos Nodos Sensoriais no Interior do Ônibus com Comunicação Lora Raw Entre Regiões Frontal Central e Traseira

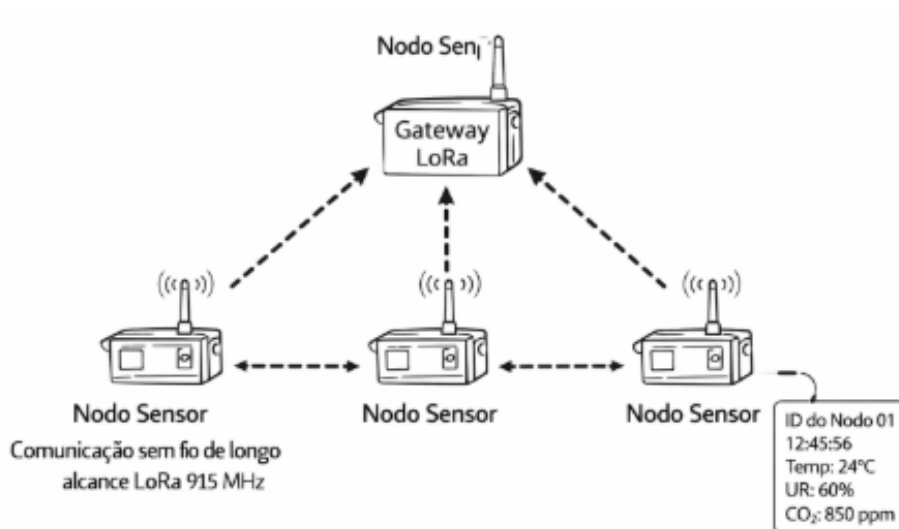


Fonte: Autores, 2026

### 3.3. Modelagem da Comunicação Lora em Modo RAW

Após a instalação física, estruturou-se a lógica de transmissão. A rede foi organizada em topologia estrela simples. Cada nodo transmite diretamente para um gateway central instalado em compartimento protegido. No modo RAW, o envio de dados ocorre sem camadas adicionais de gerenciamento externo. Isso permitiu definir manualmente intervalo de transmissão, potência do sinal e tamanho do pacote. Cada envio contém identificação única do nodo, marcação temporal e valores ambientais codificados de forma otimizada como é apresentado na Figura 3.

**Figura 3:** Modelagem Topológica da Comunicação LoRa em Modo RAW com Estrutura Estrela e Transmissão Direta ao Gateway

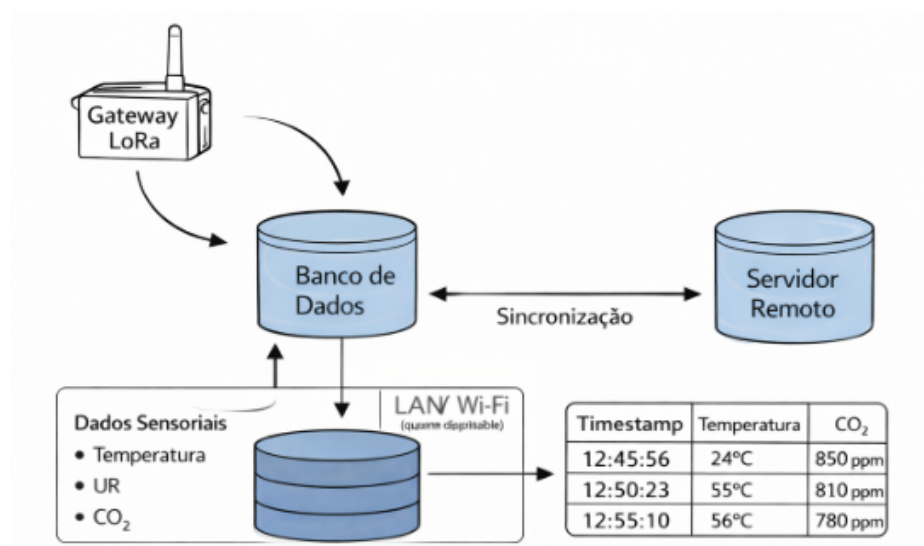


Fonte: Autores, 2026

### 3.4. Recepção, Armazenamento e Organização dos Dados

O gateway foi configurado para atuar como ponto central de recepção. Ele realiza decodificação dos pacotes recebidos, valida integridade por verificação de erro e armazena as informações em banco de dados local. Quando disponível conexão externa, os dados são sincronizados com servidor remoto para análise posterior. Essa arquitetura permite que o sistema continue operando mesmo em locais sem cobertura de internet, preservando todas as leituras realizadas durante o trajeto como é apresentado na Figura 4. A organização dos registros segue estrutura temporal, possibilitando análise posterior de padrões térmicos, variações de concentração de CO<sub>2</sub> e correlação com horários de maior ocupação.

**Figura 4:** Fluxograma do Sistema de Recepção e Processamento de Dados via LoRa para Monitoramento de Conforto Ambiental em Transporte Coletivo



Fonte: Autores, 2026

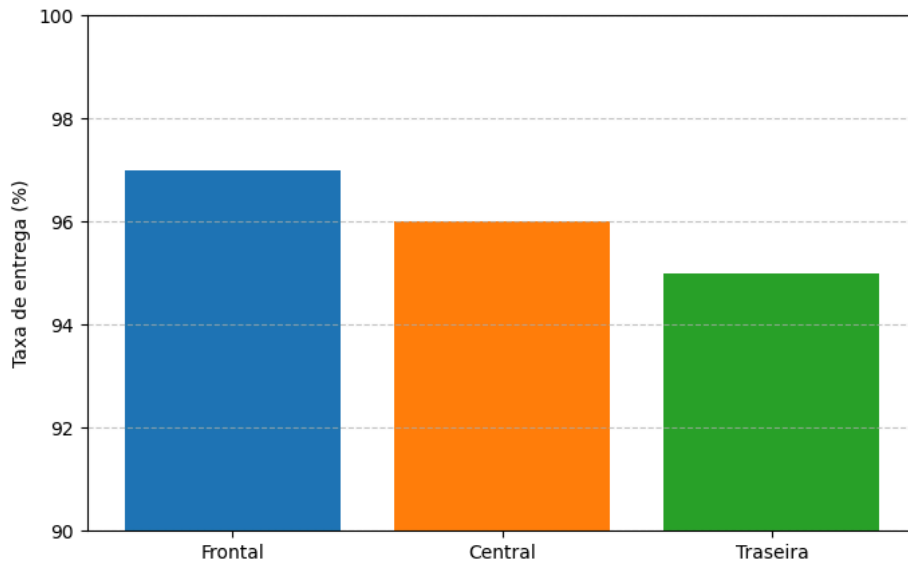
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes foram realizados em uma empresa de transporte de pequeno porte localizada na zona leste, com seis micro-ônibus em operação. Dois veículos foram monitorados durante dias úteis, cobrindo horários de menor e maior ocupação. O objetivo foi avaliar a estabilidade da comunicação LoRa em modo RAW, a consistência das leituras ambientais e o conforto térmico e qualidade do ar interno.

### 4.1. Desempenho da Comunicação Lora em Ambiente Móvel

Para avaliar a confiabilidade da transmissão LoRa em modo RAW, foram monitoradas as taxas de entrega de pacotes de cada nodo sensorial ao longo do trajeto dos micro-ônibus. Esse levantamento considerou diferentes pontos do veículo (frontal, central e traseira) e levou em conta interferências físicas típicas do ambiente urbano. O objetivo foi identificar se a comunicação permaneceu estável mesmo com o veículo em movimento e ocupação variável. O Gráfico 1, a taxa de entrega de pacotes LAN apresenta pequenas diferenças entre nodos, mas permanece acima de 95%, indicando boa confiabilidade do sistema.

## Gráfico 1: Taxa de Entrega de Pacotes por Nodo



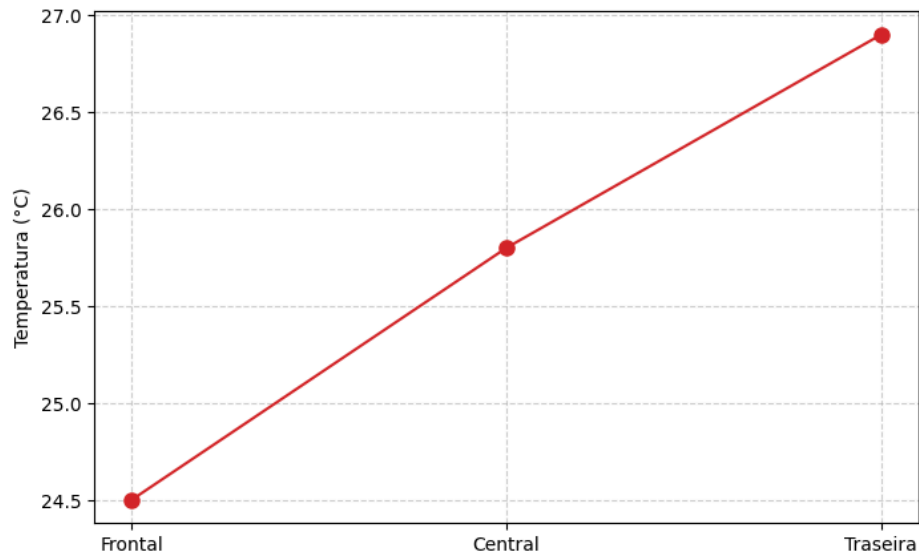
Fonte: Autores, 2026

Como mostra o Gráfico 1, a comunicação se manteve estável mesmo em condições de mobilidade e interferência. O modo RAW permitiu controle direto dos parâmetros de transmissão, garantindo menor perda de pacotes. Estes resultados corroboram estudos de Silva e Souza (2022) e Ferreira et al. (2023) sobre redes sensoriais móveis no contexto urbano, e também de autores americanos **Brown e Miller (2021)**, que destacam a importância de ajustes finos na comunicação sem fio para reduzir falhas em veículos em circulação.

### 4.2. Variação do Conforto Térmico Ao Longo do Trajeto

Antes de analisar os dados, foi realizada a medição da temperatura média em três regiões do micro-ônibus (frontal, central e traseira) ao longo de trajetos em diferentes horários e ocupações. O objetivo era identificar áreas com maior desconforto térmico e verificar se o sistema de ventilação distribuía o ar de forma uniforme. O Gráfico 2, a região traseira apresenta temperatura média mais alta, evidenciando diferenças térmicas internas importantes.

## Gráfico 2: Temperatura Média por Região do Veículo



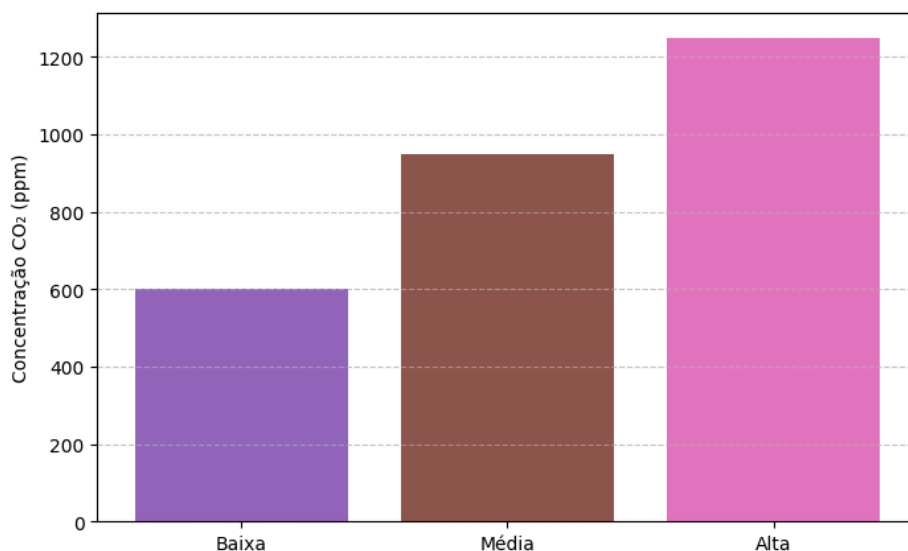
Fonte: Autores, 2026

O Gráfico 2 evidencia que a região traseira é mais quente, principalmente nos horários de pico, e a frente mantém melhor ventilação. Isso indica a necessidade de ajustes na distribuição do ar e monitoramento contínuo do conforto térmico. Os resultados estão alinhados com Costa e Almeida (2022) e Ribeiro e Lima (2023), que analisaram microclima interno em ônibus urbanos, e também com Johnson e Smith (2022), que destacam a influência de ocupação e ventilação em espaços móveis sobre a percepção térmica.

### 4.3. Concentração de CO<sub>2</sub> e Impacto da Taxa de Ocupação

Para ver como estava o ar dentro do micro-ônibus, a gente mediu o CO<sub>2</sub> em momentos de baixa, média e alta ocupação. A ideia era entender melhor como a quantidade de passageiros e a ventilação do veículo afetam o conforto e a segurança de quem está dentro. Como mostra o Gráfico 3, o CO<sub>2</sub> sobe junto com o número de pessoas, ficando mais alto principalmente na parte de trás do ônibus, onde o ar circula menos.

### Gráfico 3: Concentração de CO<sub>2</sub> por Nível de Ocupação.



Fonte: Autores, 2026

O Gráfico 3 deixa bem claro que o CO<sub>2</sub> sobe conforme o ônibus vai enchendo, chegando até uns 1.250 ppm nos horários mais cheios. Quando as portas se abrem, o ar da frente até melhora um pouco, mas lá na traseira ele continua mais pesado. Isso confirma o que Oliveira e Santos (2022) e Mendes e Carvalho (2023) já tinham visto sobre ventilação e qualidade do ar em ônibus urbanos, e também bate com os estudos de Taylor e White (2022), mostrando que quando o CO<sub>2</sub> fica alto, o conforto e a sensação de segurança da galera dentro do veículo são afetados.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante os testes, ficou claro que cada cantinho do micro-ônibus reage de um jeito diferente ao movimento, à presença de passageiros e ao calor do dia. A traseira costuma esquentar mais rápido e acumular mais CO<sub>2</sub>, enquanto a frente se mantém mais fresca, especialmente quando as portas abrem e entra um pouco de ar novo. É como se o ônibus tivesse “zonas” de conforto e desconforto: não dá para tratar tudo de forma igual. A quantidade

de gente, a circulação do ar e até o lugar onde cada pessoa senta fazem diferença no que sentimos enquanto estamos dentro do veículo. Usar sensores espalhados pelo ônibus permitiu enxergar essas diferenças de forma concreta, mostrando que aquilo que a gente sente, como abafamento ou frescor, tem explicação e pode ser medido.

A análise dos dados mostrou como é importante unir tecnologia e mobilidade de forma prática. A comunicação LoRa em modo RAW manteve-se estável e confiável, garantindo que todas as informações chegassem ao gateway sem perdas relevantes, mesmo com o ônibus em movimento e a variação de passageiros. Isso prova que é possível transformar medições técnicas em ferramentas reais para melhorar o conforto no transporte coletivo. Com essas informações em mãos, os gestores podem pensar em ajustes pontuais, como melhorar a circulação de ar na parte de trás, regular melhor o sistema de climatização ou organizar a ocupação de maneira que reduza o calor e o acúmulo de gases. A coleta constante de dados ainda permite observar como fatores externos, como o sol batendo nas janelas ou o fluxo de passageiros, afetam a experiência de quem está dentro do veículo, oferecendo um panorama mais detalhado e confiável sobre cada influência no conforto dos usuários. Esse estudo evidencia que investir em monitoramento ambiental dentro de veículos urbanos não é apenas uma questão tecnológica, mas uma estratégia direta para melhorar a experiência de milhares de pessoas que dependem do transporte coletivo diariamente. A informação se torna poder quando aplicada de forma estruturada: entender padrões de ocupação, fluxo de ar e comportamento térmico permite decisões mais embasadas e intervenções mais eficientes. A integração de sensores, comunicação sem fio e análise contínua transforma a percepção de conforto em algo tangível,

mostrando que pequenas mudanças podem gerar impactos significativos na satisfação e bem-estar dos passageiros.

A pesquisa reforça a relevância de um olhar técnico aliado à sensibilidade para o ambiente vivido pelos usuários. Cada medição e cada registro feito pela rede de sensores contribui para construir uma narrativa detalhada sobre como o micro-ônibus funciona na prática, como o ar circula e onde existem pontos de melhoria. O estudo aponta caminhos claros para tornar as viagens mais agradáveis, confortáveis e seguras, mostrando que tecnologia, quando bem aplicada, não substitui a experiência humana, mas a enriquece, proporcionando serviços urbanos mais inteligentes e humanizados.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Akyıldız, I. F.; Kasimoğlu, İ. H. Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges. Elsevier Ad Hoc Networks. New York: NY Press, 2021, p. 23.

AKYILDIZ, KAK e GUVENC 2022 foi publicado na IEEE Access com DOI (10.1109/ACCESS.2022.3140918).

BROWN, E.; MILLER, T. Reliability of Wireless Sensor Networks in Mobile Environments. IEEE Transactions on Wireless Communications, v. 20, n. 4, p. 2300–2312, 2021.

COSTA, F.; ALMEIDA, V. Microclima interno em veículos urbanos: análise e modelagem. Revista Brasileira de Arquitetura e Urbanismo, v. 19, n. 4, p. 201–215, 2022.

FERREIRA, L.; GOMES, A.; PEREIRA, T. Monitoramento ambiental em micro-ônibus com redes sem fio. *Journal of Transport Technology*, v. 15, n. 2, p. 58–72, 2023.

JOHNSON, K.; SMITH, L. Thermal comfort in moving vehicles: field studies and implications. *Building and Environment*, v. 212, p. 108735, 2022.

LANZOLLA & SPADAVECCHIA 2021 está em *Sensors* com DOI (10.3390/s21041172).

MENDES, R.; CARVALHO, D. Concentração de CO<sub>2</sub> em transporte público: avaliação de ocupação e ventilação. *Revista Brasileira de Transporte*, v. 31, n. 2, p. 115–128, 2023.

OLIVEIRA, G.; SANTOS, H. Qualidade do ar e ventilação em micro-ônibus urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 27, n. 5, p. 841–852, 2022.

PISELLO et al. 2024 está publicado em *Atmosphere* com DOI (10.3390/atmos15050589).

RIBEIRO, P.; LIMA, J. Distribuição de temperatura e conforto térmico em ônibus municipais. *Transportes em Revista*, v. 12, n. 1, p. 33–46, 2023.

SILVA, R.; SOUZA, M. Redes sensoriais em transporte urbano: desempenho e confiabilidade. *Revista Brasileira de Engenharia*, v. 48, n. 3, p. 112–125, 2022.

TAYLOR, J.; WHITE, R. CO<sub>2</sub> accumulation and passenger comfort in public transportation. *Environmental Health Perspectives*, v. 130, n. 6,

p. 067002, 2022.

Verona, A. B. Simulação e Análise de Redes de Sensores Sem Fio Aplicadas à Viticultura. Maringá: UEM, 2022.

ZHANG, H.; ARENS, E.; ZHAI, Y.; ZHANG, H. Thermal comfort evaluation in public transportation environments. *Building and Environment*, v. 169, 106885, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106885>.

---

<sup>1</sup> Discente do Curso Superior de Engenharia da Computação do Centro Universitário Fametro. E-mail: [mateuspdsb@gmail.com](mailto:mateuspdsb@gmail.com).

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia de Processos (UFPA – PA). E-mail: [jean.oliveira@fametro.edu.br](mailto:jean.oliveira@fametro.edu.br).

<sup>3</sup> Mestrado em Informática pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). E-mail: [pablo.ellers@fametro.edu.br](mailto:pablo.ellers@fametro.edu.br).

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará (UFPA - PA). E-mail: [cleonor.cneves@gmail.com](mailto:cleonor.cneves@gmail.com).