REVISTA TÓPICOS
ISSN 2965-6672 | Qualis A2

MONITORAMENTO DA POLUIÇÃO SONORA URBANA POR MEIO DE TECNOLOGIAS DE INTERNET DAS COISAS APLICADAS ÀS CIDADES INTELIGENTES

MONITORING OF URBAN NOISE POLLUTION THROUGH INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES APPLIED TO SMART CITIES

Engenharias • 25/11/2026

REGISTRO DOI: 10.70773/revistatopicos/795526292

Marcos Tules Silva dos Santos Junior
Caio César Goulart Quintes
Diego Ramos Inácio
João Batista Lopes Coelho Júnior

RESUMO

O crescimento urbano intensifica problemas ambientais, entre eles a poluição sonora associada ao tráfego, às atividades comerciais e às obras. Este artigo analisa como tecnologias da Internet das Coisas (IoT), redes de sensores sem fio e protocolos de comunicação podem contribuir para o monitoramento da poluição sonora urbana. A pesquisa caracteriza-se como revisão narrativa, qualitativa e exploratória, baseada em publicações científicas, trabalhos acadêmicos e documentos técnicos. A comparação sistematizou nove estudos sobre arquitetura IoT, redes acústicas, sensores de baixo custo, integração de dados e monitoramento sonoro. Os resultados indicam que redes de sensores podem ampliar a cobertura temporal e espacial das medições, enquanto plataformas conectadas permitem reunir, processar e visualizar informações. MQTT e LoRaWAN apresentam funções distintas na comunicação dos dispositivos, e sua escolha depende do volume de dados, alcance, consumo energético e infraestrutura. Persistem desafios de calibração, confiabilidade, segurança, manutenção e integração. Conclui-se que a IoT pode apoiar a gestão ambiental urbana quando os sistemas são planejados e validados em campo.

Palavras-chave: Poluição sonora; Internet das Coisas; Cidades inteligentes; Redes de sensores acústicos; Monitoramento ambiental.

ABSTRACT

Urban growth intensifies environmental problems, including noise pollution associated with traffic, commercial activities, and construction. This article examines how Internet of Things (IoT) technologies, wireless sensor networks, and communication protocols can support urban noise monitoring. The study is a qualitative, exploratory narrative review based on scientific

publications, academic works, and technical documents. The comparison systematized nine studies on IoT architecture, acoustic networks, low-cost sensors, data integration, and noise monitoring. The findings indicate that sensor networks can expand the temporal and spatial coverage of measurements, while connected platforms can aggregate, process, and visualize information. MQTT and LoRaWAN serve different communication purposes, and their selection depends on data volume, range, energy consumption, and infrastructure. Challenges remain in calibration, reliability, security, maintenance, and integration. IoT can support urban environmental management when systems are properly planned and validated in the field.
Keywords: Noise Pollution; Internet of Things; Smart Cities; Acoustic Sensor Networks; Environmental Monitoring.

INTRODUÇÃO

O crescimento urbano amplia as demandas sobre a infraestrutura e a gestão das cidades, inclusive quanto aos impactos ambientais. Nesse cenário, as cidades inteligentes recorrem às tecnologias de informação e comunicação para produzir dados que apoiem o planejamento e a tomada de decisões. A Internet das Coisas (IoT) conecta dispositivos capazes de coletar e transmitir informações, integrando equipamentos físicos e serviços urbanos (Zanella *et al.*, 2014).

Entre os problemas ambientais urbanos está a poluição sonora, relacionada ao tráfego, às obras e à concentração de atividades comerciais. Como o ruído varia conforme o local e o horário, medições pontuais podem não representar a dinâmica acústica de uma área. Revisões sobre redes de sensores acústicos e sensores de

baixo custo discutem formas de ampliar a observação temporal e espacial do ambiente sonoro (Alías; Alsina-Pagès, 2019; Picaut *et al.*, 2020).

Estudos aplicados demonstram possibilidades de combinar sensores, processamento de sinais e plataformas digitais. TAN *et al.* (2021) descrevem um sistema IoT para extrair metadados sonoros em áreas residenciais, enquanto BATISTA *et al.* (2026) apresentam uma proposta de monitoramento georreferenciado com classificação por aprendizado de máquina.

Apesar desses avanços, a implantação de sistemas de monitoramento exige atenção à confiabilidade dos sensores, à comunicação, à segurança, à manutenção e à integração dos dados. A informação coletada precisa ser organizada e interpretada para apoiar a gestão ambiental e o planejamento urbano (Ribeiro; Braghetto, 2022; Sicari *et al.*, 2015).

Diante desse cenário, a problemática da pesquisa é: como as tecnologias baseadas em Internet das Coisas, aplicadas às cidades inteligentes, podem contribuir para o monitoramento da poluição sonora em ambientes urbanos?

O objetivo geral deste estudo é analisar a aplicação de tecnologias de Internet das Coisas no monitoramento da poluição sonora urbana, considerando suas possibilidades, benefícios, limitações e contribuições para as cidades inteligentes.

Como objetivos específicos, busca-se compreender o problema da poluição sonora nos ambientes urbanos; discutir o conceito de cidades inteligentes; apresentar a aplicação da IoT ao monitoramento ambiental; analisar a utilização de redes de sensores

e protocolos de comunicação; e identificar impactos positivos, limitações e possibilidades de desenvolvimento desses sistemas.

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de compreender como as tecnologias disponíveis podem ampliar o acompanhamento dos problemas ambientais nas cidades. A análise de estudos sobre redes acústicas, sensores de baixo custo e integração de dados permite discutir tanto as oportunidades técnicas quanto as condições necessárias para uma aplicação responsável e sustentável.

REFERENCIAL TEÓRICO

Cidades Inteligentes e Tecnologias Aplicadas Ao Monitoramento Urbano

Cidades inteligentes articulam tecnologias de informação e comunicação à infraestrutura urbana para produzir e analisar dados que apoiem a gestão e o planejamento. Nesse contexto, a IoT conecta dispositivos físicos, redes e sistemas computacionais, permitindo integrar informações de diferentes serviços (Zanella *et al.*, 2014).

O crescimento urbano amplia a demanda por soluções que acompanhem mobilidade, infraestrutura e condições ambientais. As redes de sensores acústicos integram esse conjunto de ferramentas porque permitem observar o ambiente sonoro em diferentes locais e períodos (Alías; Alsina-Pagès, 2019).

A relação entre inovação tecnológica e sustentabilidade também aparece na discussão sobre cidades inteligentes 4.0. SOUZA SILVA e SANTANA (2025) abordam tecnologias voltadas à sustentabilidade

urbana e à redução de impactos ambientais. Já ZENG, PANG e TANG (2024) apresentam uma revisão sistemática sobre sensores em sistemas IoT e seu papel no desenvolvimento sustentável das cidades; portanto, suas contribuições são complementares, mas tratam de enfoques distintos.

mA utilização de tecnologias digitais pode apoiar diferentes dimensões do planejamento urbano. RIBEIRO e BRAGHETTO (2022), ao discutirem a integração do iCam 2.0 e de tecnologias da informação para a promoção da caminhabilidade, demonstram como sistemas de dados podem subsidiar decisões sobre mobilidade e qualidade dos espaços urbanos.

No monitoramento ambiental, sensores conectados podem acompanhar variáveis como qualidade do ar, temperatura, umidade e ruído. Para que essas informações sejam úteis, é necessário integrá-las a plataformas de armazenamento e análise, considerando a compatibilidade entre equipamentos, redes e sistemas.

A modernização tecnológica também depende da integração com estruturas já implantadas. NASCIMENTO (2026) discute a adaptação de sistemas legados por meio de tecnologias *Low-Code*, destacando a necessidade de compatibilidade entre equipamentos e plataformas.

A adoção de soluções inteligentes exige planejamento, profissionais capacitados, segurança e adequação às necessidades locais. Assim, cidades inteligentes não se definem apenas pela instalação de dispositivos, mas pela articulação entre infraestrutura, dados,

serviços e políticas públicas (Souza Silva; Santana, 2025; Zeng; Pang; Tang, 2024).

Poluição Sonora nos Ambientes Urbanos

A poluição sonora é um problema ambiental frequente nos espaços urbanos, onde o tráfego, as atividades comerciais, a indústria e as obras constituem fontes de ruído. A Organização Mundial da Saúde reconhece a exposição ao ruído ambiental como uma questão relevante para a saúde e o bem-estar, enquanto estudos sobre redes acústicas discutem métodos para acompanhar suas variações nas cidades (WORLD Health Organization, 2018; Alías; Alsina-Pagès, 2019).

As condições sonoras variam entre áreas residenciais, comerciais e vias de grande circulação. Por isso, a localização dos pontos de medição é importante para compreender a distribuição espacial do ruído. BATISTA *et al.* (2026) apresentam uma proposta de monitoramento georreferenciado que associa registros acústicos à classificação automatizada dos sons.

O monitoramento distribuído permite comparar locais e horários, desde que os sensores sejam instalados adequadamente e apresentem medições confiáveis. PICAUT *et al.* (2020) discutem os desafios dos sensores de baixo custo, especialmente quanto à calibração, precisão e implantação em redes urbanas.

A coleta contínua pode revelar variações que medições isoladas não captam, como mudanças associadas ao fluxo de veículos, ao funcionamento de estabelecimentos e às atividades de construção. TAN *et al.* (2021) demonstram a aplicação de um sistema IoT para extração de informações sonoras em áreas residenciais.

Para transformar medições em informações úteis, os registros precisam ser associados ao local e ao período de coleta e, em seguida, organizados em plataformas de análise. Essa integração permite comparar áreas, identificar padrões e subsidiar o planejamento, mas não substitui medições tecnicamente válidas nem ações concretas de redução do ruído.

A sustentabilidade urbana constitui uma dimensão importante desse debate. SOUZA SILVA e SANTANA (2025) discutem cidades inteligentes 4.0 e tecnologias para reduzir impactos ambientais, enquanto ZENG, PANG e TANG (2024) analisam, em revisão sistemática, a contribuição de sensores IoT para o desenvolvimento sustentável das cidades.

Assim, o monitoramento sonoro deve ser entendido como parte da gestão ambiental: os dados podem apoiar o diagnóstico e a avaliação de políticas, mas precisam ser interpretados por profissionais e acompanhados de medidas de controle das fontes de ruído.

A implantação dessas redes envolve custos, manutenção, estabilidade da comunicação e autonomia energética. O consumo dos dispositivos influencia a duração de funcionamento e a frequência de intervenções técnicas, aspectos que devem ser considerados no planejamento de redes distribuídas (Gubbi *et al.*, 2013).

A segurança e a privacidade também precisam ser previstas desde o projeto. A literatura sobre IoT aponta a necessidade de autenticação, controle de acesso e proteção das informações durante a transmissão e o armazenamento (Sicari *et al.*, 2015).

As revisões de ALÍAS e ALSINA-PAGÈS (2019) e PICAUT *et al.* (2020) destacam que redes acústicas exigem equilíbrio entre cobertura, custo, precisão e manutenção.

O monitoramento da poluição sonora pode contribuir para o ODS 11, voltado a cidades e comunidades sustentáveis, ao fornecer informações para o diagnóstico ambiental e o planejamento urbano (ONU, s.d.).

Internet das Coisas (IoT) Aplicada Ao Monitoramento Ambiental

A Internet das Coisas (IoT) conecta objetos físicos dotados de sensores e recursos de comunicação a plataformas capazes de receber, armazenar e processar informações. Em aplicações urbanas, essa arquitetura permite integrar dispositivos distribuídos e serviços de gestão, conforme discutido por ZANELLA *et al.* (2014).

Em termos operacionais, um sistema IoT reúne sensores, módulos de comunicação, gateways ou redes de acesso, servidores e ferramentas de análise. Esses componentes cumprem etapas distintas de aquisição, transmissão, armazenamento e interpretação dos dados. GUBBI *et al.* (2013) apresentam fundamentos dessa arquitetura, mas não constituem evidência específica de monitoramento acústico.

No monitoramento sonoro, sensores acústicos instalados em pontos planejados registram níveis ou características do som e encaminham os dados para processamento. TAN *et al.* (2021) descrevem um sistema IoT aplicado a áreas residenciais, e BATISTA *et al.* (2026) apresentam uma proposta com classificação automática e georreferenciamento, fontes diretamente relacionadas ao objeto deste artigo.

A análise de grandes volumes de dados requer mecanismos de armazenamento, organização e processamento que permitam consultar registros e identificar padrões. MARJANI *et al.* (2017) discutem arquiteturas e desafios de análise de dados em IoT, enquanto RIBEIRO e BRAGHETTO (2022) abordam a integração escalável de fontes heterogêneas em cidades inteligentes.

A continuidade das medições depende da estabilidade dos sensores, da alimentação elétrica, da conectividade e da manutenção. Redes acústicas podem ampliar a cobertura temporal e espacial, mas a confiabilidade dos resultados depende de calibração, posicionamento e validação dos equipamentos (Alías; Alsina-Pagès, 2019; Picaut *et al.*, 2020).

A segurança deve ser incorporada à arquitetura desde o planejamento. Entre os cuidados necessários estão autenticação dos dispositivos, controle de acesso, proteção da comunicação, atualização dos componentes e gestão responsável dos dados. SICARI *et al.* (2015) discutem esses requisitos no contexto de segurança, privacidade e confiança em sistemas IoT.

Em síntese, a IoT pode integrar sensores acústicos, redes de comunicação e plataformas de análise. Sua contribuição para o monitoramento da poluição sonora depende, porém, da qualidade das medições, da segurança, da manutenção e da capacidade de transformar registros em informações relevantes para a gestão urbana (Tan *et al.*, 2021; Batista *et al.*, 2026).

Redes de Sensores Sem Fio e Protocolos de Comunicação Aplicados Ao Monitoramento Sonoro

As redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks* – WSN) são formadas por dispositivos distribuídos que coletam e transmitem informações sem depender de conexões físicas entre todos os pontos. Em aplicações acústicas, a distribuição dos sensores pode ampliar a cobertura de monitoramento, desde que a localização e a qualidade das medições sejam planejadas (Alías; Alsina-Pagès, 2019; Picaut *et al.*, 2020).

No monitoramento da poluição sonora, os sensores devem ser posicionados de acordo com as fontes de ruído e os objetivos da análise. TAN *et al.* (2021) descrevem um sistema IoT para obtenção de informações sonoras em áreas residenciais, enquanto BATISTA *et al.* (2026) exploram classificação e georreferenciamento de registros acústicos.

A cobertura efetiva da rede depende da densidade e do posicionamento dos sensores, das condições físicas do ambiente, da calibração e da manutenção. Revisões sobre monitoramento acústico destacam a necessidade de equilibrar custo, precisão e capacidade de processamento (Alías; Alsina-Pagès, 2019; Picaut *et al.*, 2020).

A escolha da comunicação deve considerar distância, volume e frequência das mensagens, consumo energético e disponibilidade de infraestrutura. Não existe um protocolo único adequado a todas as situações: a decisão depende das características do território e do tipo de dado que será transmitido.

MQTT é um protocolo de mensagens baseado no modelo publicação/assinatura, especificado pela OASIS (2019), que pode ser utilizado para encaminhar leituras dos sensores a serviços de

processamento e armazenamento. LoRaWAN é uma tecnologia de rede de longo alcance e baixo consumo, cuja especificação é mantida pela LoRa Alliance (2023). Portanto, OASIS e LoRa Alliance são as fontes técnicas utilizadas para descrever, respectivamente, MQTT e LoRaWAN.

No uso de MQTT, a configuração deve prever autenticação, autorização, proteção do transporte e disponibilidade do broker. A especificação técnica descreve o protocolo, mas a segurança efetiva depende da implementação e das políticas adotadas em cada sistema (OASIS, 2019; Sicari *et al.*, 2015).

LoRaWAN pode ser considerado em redes distribuídas que transmitem mensagens pequenas e precisam alcançar áreas extensas com baixo consumo. Sua adequação depende da cobertura, das condições de propagação, da frequência de envio e dos limites de transmissão definidos pela especificação (Lora Alliance, 2023).

e A autonomia energética influencia o tempo de operação e a necessidade de manutenção dos sensores. Por isso, o intervalo de transmissão e o consumo dos dispositivos devem ser definidos conforme a finalidade do monitoramento e a disponibilidade de energia (Gubbi *et al.*, 2013).

Além da comunicação, é necessário planejar a integração entre os dispositivos, as plataformas e os sistemas já existentes. A interoperabilidade e a organização de fontes heterogêneas são importantes para que os dados possam ser comparados e utilizados na gestão urbana (Ribeiro; Braghetto, 2022).

No monitoramento sonoro, a integração entre medição, processamento e visualização é essencial para transformar registros em informações interpretáveis. Estudos de redes acústicas e sistemas IoT aplicados a áreas residenciais apontam a importância dessa cadeia de processamento (Alías; Alsina-Pagès, 2019; Tan *et al.*, 2021).

Quando os registros são organizados por local e período, podem apoiar a identificação de áreas que merecem investigação e a avaliação de mudanças no ambiente sonoro. A interpretação deve considerar a confiabilidade dos sensores e critérios consistentes de análise (Picaut *et al.*, 2020; Batista *et al.*, 2026).

A gestão de grandes volumes de dados requer armazenamento, organização e ferramentas de análise. MARJANI *et al.* (2017) discutem desafios de análise de dados em IoT, e RIBEIRO e BRAGHETTO (2022) apresentam uma arquitetura de integração de dados heterogêneos para cidades inteligentes.

A implantação de redes distribuídas envolve custos de aquisição, infraestrutura, conectividade e manutenção. A segurança também precisa ser prevista desde o projeto, com autenticação, controle de acesso e proteção das comunicações (Sicari *et al.*, 2015; Lora Alliance, 2023; OASIS, 2019).

A definição das tecnologias deve considerar o território, os objetivos do monitoramento e os recursos disponíveis. Redes destinadas a pequenas áreas podem exigir soluções diferentes daquelas instaladas em regiões urbanas extensas.

A inovação tecnológica precisa estar associada ao planejamento e à sustentabilidade urbana. SOUZA SILVA e SANTANA (2025) discutem

tecnologias para cidades inteligentes 4.0, enquanto ZENG, PANG e TANG (2024) analisam o papel dos sensores IoT no desenvolvimento sustentável.

Dessa forma, redes de sensores sem fio e protocolos de comunicação integram a infraestrutura necessária ao monitoramento distribuído. MQTT pode organizar a troca de mensagens, enquanto LoRaWAN pode atender a aplicações de longo alcance e baixo consumo, desde que a escolha respeite os requisitos técnicos de cada cenário (OASIS, 2019; Lora Alliance, 2023).

No caso da poluição sonora, sensores acústicos, comunicação e plataformas digitais podem apoiar a coleta e a análise de registros em diferentes pontos da cidade. A aplicação de classificação automática e georreferenciamento descrita por BATISTA *et al.* (2026) é diretamente relacionada a essa finalidade.

A eficiência do sistema depende da integração entre equipamentos, redes, protocolos, plataformas e infraestrutura urbana. Também devem ser considerados custos, manutenção, consumo energético, segurança e capacidade técnica para interpretar os dados.

METODOLOGIA

O estudo caracteriza-se como revisão narrativa de literatura, de abordagem qualitativa e finalidade exploratória. O objetivo foi discutir como tecnologias de Internet das Coisas podem contribuir para o monitoramento da poluição sonora urbana, considerando sensores acústicos, redes de comunicação, processamento e integração de dados. Por não se tratar de revisão sistemática, a pesquisa não pretende esgotar toda a produção científica sobre o tema.

O corpus comparativo foi composto por nove trabalhos apresentados no Quadro 1: estudos sobre arquitetura IoT e cidades inteligentes, revisões de redes acústicas e sensores de baixo custo, sistemas de monitoramento sonoro, integração de dados e um trabalho acadêmico aplicado a monitoramento ambiental agrícola. Este último foi mantido apenas como exemplo de arquitetura de coleta e transmissão remota, não como evidência de monitoramento acústico urbano. Documentos técnicos e institucionais foram utilizados complementarmente para descrever protocolos e contextualizar o tema.

As buscas bibliográficas foram realizadas na Scientific Electronic Library Online (SciELO) e no Google Acadêmico. Foram utilizados, de forma combinada, termos em português e inglês relacionados ao tema, incluindo “poluição sonora”, “monitoramento de ruído”, “wireless acoustic sensor networks”, “smart cities”, “Internet of Things”, “IoT”, “MQTT”, “LoRaWAN”, “low-cost noise sensors” e “data integration”. Não foi estabelecido um recorte temporal para a seleção: foram considerados trabalhos publicados em qualquer ano, desde que apresentassem relevância e contribuição para a compreensão do problema investigado. A seleção priorizou a pertinência temática e a contribuição das publicações para a discussão sobre monitoramento acústico, sensores, comunicação, integração e análise de dados.

Foram priorizadas publicações com identificação bibliográfica verificável e contribuição para pelo menos uma dimensão da pesquisa: monitoramento acústico, sensores de baixo custo, arquitetura IoT, comunicação, integração de dados ou impacto do ruído ambiental. Foram desconsideradas fontes sem registro localizável ou cuja relação com o problema fosse apenas indireta.

A seleção foi conduzida por leitura de títulos, resumos e, quando disponível, texto completo. Não foram atribuídos quantitativos de estudos encontrados ou excluídos, pois esses números não estavam documentados. A revisão deve ser interpretada como narrativa e não exaustiva, sujeita à seleção das fontes acessíveis e à heterogeneidade entre artigos revisados por pares, documentos técnicos e trabalhos acadêmicos.

A síntese comparativa considerou o tipo de publicação, a tecnologia ou protocolo abordado, a finalidade, os principais achados e a força da evidência para o tema. Foram diferenciadas revisões de literatura, artigos que descrevem sistemas implementados, trabalhos acadêmicos aplicados e especificações técnicas, evitando tratar protótipos e documentos técnicos como evidência equivalente à de estudos revisados por pares.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos selecionados evidencia diferentes níveis de aplicação das tecnologias digitais. O Quadro 1 apresenta os nove trabalhos que compuseram a comparação, identificando o tipo de publicação, a tecnologia abordada, a aplicação e a contribuição de cada fonte para o problema investigado.

Autor/ano	**Tipo de publicação / evidência**	**Tecnologia ou foco**	**Aplicação analisada**	**Contribuição e limites para este artigo**
GUBBI *et al.* (2013)	Artigo de periódico; revisão conceitual	Arquitetura IoT, sensores, comunicaçã o e	Fundament os para sistemas conectados	Oferece base arquitetural; não compara especificament e MQTT e LoRaWAN.

		processamento		
ZANELLA *et al.* (2014)	Artigo de periódico; estudo de arquitetura	IoT aplicada a cidades inteligentes	Serviços e infraestrutura urbana	Relaciona dispositivos conectados e dados a serviços urbanos; contribuição geral, não específica à acústica.
ALÍAS e ALSINA-PAGÈS (2019)	Artigo de revisão por pares; evidência diretamente temática	Redes de sensores acústicos sem fio	Monitoramento de ruído em cidades inteligentes	Reúne arquiteturas, tipos de sensores e desafios de implantação.
PICAUT *et al.* (2020)	Artigo de revisão por pares; evidência diretamente temática	Sensores de baixo custo e redes de monitoramento	Medição de ruído urbano	Discute custo, precisão, calibração e desafios de implantação em larga escala.
TAN *et al.* (2021)	Artigo de periódico revisado por pares; sistema implementado	IoT ponta a ponta, processamento de áudio e nuvem	Metadados sonoros em áreas residenciais	Descreve coleta e análise em nove áreas residenciais e desafios de manutenção.
RIBEIRO e BRAGHETTO (2022)	Artigo de periódico; arquitetura e avaliação experimental	Integração escalável de dados e microsserviços	Dados heterogêneos em cidades inteligentes	Contribui para discutir armazenamento, processamento e escalabilidade;

				não é específico de ruído.
ZENG, PANG e TANG (2024)	Revisão sistemática por pares	Sensores IoT, protocolos, análise, privacidade e segurança	Cidades inteligentes sustentáveis	Analisa 73 publicações sobre IoT e desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes, abrangendo comunidades inteligentes, transporte, gestão de desastres, privacidade e segurança; não é uma revisão específica de poluição sonora.
MEDEIROS (2025)	Trabalho acadêmico aplicado; evidência de protótipo	IoT, LoRa, ESP32 e plataforma em nuvem	Monitoramento ambiental agrícola	Ilustra coleta e transmissão remota; não valida monitoramento acústico urbano.
BATISTA *et al.* (2026)	Artigo de periódico; estudo aplicado diretamente ao tema	Georreferenciamento e classificação por aprendizado de máquina	Monitoramento colaborativo de poluição sonora	É diretamente relacionado ao tema; interpretar conforme escopo e validação descritos.

Os trabalhos comparados mostram que a utilidade dos sistemas inteligentes não está apenas na coleta, mas na integração entre

sensores, comunicação, armazenamento, processamento e visualização. GUBBI *et al.* (2013) e ZANELLA *et al.* (2014) oferecem fundamentos gerais para compreender a arquitetura IoT; já os estudos de TAN *et al.* (2021) e BATISTA *et al.* (2026) tratam de aplicações diretamente relacionadas à informação sonora.

No campo específico da poluição sonora, BATISTA *et al.* (2026) apresentam uma proposta de monitoramento georreferenciado com classificação de sons por aprendizado de máquina. A contribuição está na associação entre registros acústicos, processamento e localização, embora a aplicação deva ser interpretada conforme os limites e a validação descritos pelos próprios autores.

A comparação com MEDEIROS (2025) deve ser feita com cautela: o trabalho é um TCC sobre monitoramento de condições ambientais em cultivos de abacaxi, não sobre ruído urbano. Sua contribuição para este artigo limita-se a ilustrar uma arquitetura de aquisição e transmissão remota de dados com IoT e LoRa; não constitui evidência de desempenho de sensores acústicos.

As revisões de ALÍAS e ALSINA-PAGÈS (2019) e PICAUT *et al.* (2020) oferecem suporte mais direto à discussão sobre redes acústicas, sensores de baixo custo, calibração e implantação. ZENG, PANG e TANG (2024) ampliam o contexto ao revisar aplicações de sensores IoT em cidades sustentáveis, enquanto SOUZA SILVA e SANTANA (2025) abordam tecnologias para cidades inteligentes 4.0.

Quanto à comunicação, a especificação da LoRa Alliance (2023) descreve recursos e limites do LoRaWAN, e a especificação da OASIS (2019) define o MQTT. Essas fontes são documentos técnicos

normativos, utilizados para caracterizar os protocolos, e não estudos empíricos de monitoramento sonoro.

O processamento dos dados também é decisivo. BATISTA *et al.* (2026) descrevem classificação automática e georreferenciamento de sons urbanos. MARJANI *et al.* (2017) discutem arquiteturas e desafios para análise de grandes volumes de dados em IoT, oferecendo fundamento para a etapa de armazenamento e análise, inclusive em aplicações de *big data*.

Entre os desafios apontados pelos trabalhos estão a calibração e a confiabilidade dos sensores, a integração entre sistemas, a manutenção, a segurança e a disponibilidade de infraestrutura. Essas questões são discutidas nas revisões de redes acústicas (Alías; Alsina-Pagès, 2019; Picaut *et al.*, 2020), na literatura sobre segurança e privacidade em IoT (Sicari *et al.*, 2015) e nos estudos de integração de dados (Ribeiro; Braghetto, 2022).

A comparação também revela uma lacuna: ainda são necessárias aplicações de longa duração em diferentes realidades urbanas, com comparação entre bairros, horários, fontes de ruído e condições de infraestrutura. As fontes diretamente voltadas ao monitoramento acústico são menos numerosas do que as referências gerais sobre IoT, o que recomenda cautela ao generalizar resultados de protótipos ou de aplicações ambientais de outros setores.

Em síntese, os estudos de ALÍAS e ALSINA-PAGÈS (2019), PICAUT *et al.* (2020), TAN *et al.* (2021) e BATISTA *et al.* (2026) sugerem que redes acústicas e sistemas IoT podem ampliar a frequência, a abrangência e a capacidade analítica do monitoramento sonoro. Essa

contribuição depende de sensores confiáveis, comunicação adequada, processamento consistente e validação em campo.

CONCLUSÃO

A revisão permitiu atingir o objetivo geral de analisar a aplicação de tecnologias de Internet das Coisas no monitoramento da poluição sonora urbana, considerando possibilidades, benefícios, limitações e contribuições para as cidades inteligentes. Os estudos diretamente relacionados ao ruído indicam que sensores conectados, redes de comunicação e plataformas de dados podem ampliar a coleta e a interpretação de informações acústicas.

Em relação ao primeiro objetivo específico, compreender o problema da poluição sonora nos ambientes urbanos, a análise evidenciou que o acompanhamento contínuo e espacialmente distribuído é relevante para identificar variações e áreas de concentração de ruído. O estudo de BATISTA *et al.* (2026) demonstra essa possibilidade ao associar registros acústicos, classificação automática e georreferenciamento.

Quanto ao segundo objetivo, discutir o conceito de cidades inteligentes, verificou-se que a literatura relaciona esse modelo à integração entre infraestrutura, dispositivos conectados, dados e sistemas de apoio à gestão. GUBBI *et al.* (2013) e ZANELLA *et al.* (2014) apresentam fundamentos para compreender a IoT como parte dessa estrutura, enquanto estudos mais recentes ampliam a discussão para sustentabilidade e integração de dados.

No terceiro objetivo, relativo à aplicação da Internet das Coisas ao monitoramento ambiental, os resultados mostraram que a IoT permite conectar sensores, redes e plataformas digitais para coleta e

transmissão de informações. O trabalho de MEDEIROS (2025) foi considerado apenas como exemplo de arquitetura de monitoramento ambiental agrícola, sem ser tomado como validação de aplicação acústica urbana.

Em relação ao quarto objetivo, verificou-se que a escolha da infraestrutura de comunicação deve considerar distância, consumo energético, volume de dados e características do território. As especificações da OASIS (2019) e da LoRa Alliance (2023) permitem caracterizar MQTT e LoRaWAN, enquanto os estudos de redes acústicas ajudam a discutir as exigências específicas do monitoramento sonoro.

Por fim, quanto ao quinto objetivo, identificar impactos positivos, limitações e possibilidades de desenvolvimento, a revisão mostrou como benefícios a coleta contínua, o monitoramento remoto, a organização espacial dos dados e o apoio ao planejamento urbano. Entre as limitações estão os custos, a infraestrutura, a manutenção, a integração entre sistemas, a segurança das informações e a necessidade de profissionais capacitados. Como possibilidade de desenvolvimento, destacam-se a ampliação de redes de sensores, a integração de dados e o uso de métodos de inteligência artificial para classificação e análise.

Conclui-se, portanto, que as tecnologias de Internet das Coisas apresentam potencial para qualificar o monitoramento da poluição sonora em ambientes urbanos, mas sua aplicação depende de planejamento técnico, infraestrutura adequada e continuidade operacional. Estudos futuros podem avançar com protótipos instalados em diferentes áreas urbanas, séries temporais de dados, comparação entre protocolos de comunicação e avaliação da

utilidade das informações produzidas para ações de gestão ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÍAS, Francesc; ALSINA-PAGÈS, Rosa Ma. Review of wireless acoustic sensor networks for environmental noise monitoring in smart cities. Journal of Sensors, v. 2019, art. 7634860, 2019. DOI: https://doi.org/10.1155/2019/7634860.

BATISTA, Fani Tamires de Souza *et al.* Um sistema colaborativo de monitoramento georreferenciado de dados de poluição sonora classificados por modelo de aprendizado de máquina. Revista de Geopolítica, v. 17, n. 2, e1670, 2026. DOI: https://doi.org/10.56238/revgeov17n2-138. Disponível em: https://mail.revistageo.com.br/revgeo/article/view/1670. Acesso em: 13 out. 2026.

GUBBI, Jayavardhana *et al.* Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, v. 29, n. 7, p. 1645–1660, 2013. DOI: https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010.

LORA ALLIANCE. LoRaWAN specification v1.0.3. 2023. Disponível em: https://resources.lora-alliance.org/home/lorawan-specification-v1-0-3. Acesso em: 13 out. 2026.

MARJANI, Mohsen *et al.* Big IoT data analytics: architecture, opportunities, and open research challenges. IEEE Access, v. 5, p. 5247–5261, 2017. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2689040.

MEDEIROS, Gustavo Borburema Ramos. Monitoramento ambiental com IoT para apoio ao controle de pragas em cultivos de abacaxi. 2025. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2025. Disponível em: https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/44602. Acesso em: 13 out. 2026.

NASCIMENTO, Eduardo Vieira do. Integração de CLPs legados com tecnologias Low-Code: uma abordagem de retrofit digital para a Indústria 4.0. 2026. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2026. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/23984. Acesso em: 13 out. 2026.

OASIS. MQTT Version 5.0. OASIS Standard, 2019. Disponível em: https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html. Acesso em: 13 out. 2026.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 11: cidades e comunidades sustentáveis. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11. Acesso em: 13 out. 2026.

PICAUT, Judicaël *et al.* Low-cost sensors for urban noise monitoring networks: a literature review. Sensors, v. 20, n. 8, art. 2256, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/s20082256.

RIBEIRO, Murilo Borges; BRAGHETTO, Kelly Rosa. A scalable data integration architecture for smart cities: implementation and evaluation. Journal of Information and Data Management, v. 13, n. 2, p. 207–223, 2022. DOI: https://doi.org/10.5753/jidm.2022.2485.

SICARI, Sabrina; RIZZARDI, Alessandra; GRIECO, Luigi Alfredo; COEN-PORISINI, Alberto. Security, privacy and trust in Internet of Things: the road ahead. Computer Networks, v. 76, p. 146–164, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.11.008.

SOUZA SILVA, Fabricio Henrique de; SANTANA, Cristiana de Cerqueira Silva. Cidades inteligentes 4.0 e mudanças climáticas: tecnologias para sustentabilidade urbana e redução de impactos ambientais. Revista Ecologias Humanas, v. 12, n. 16, 2025. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.18109654.

TAN, Ee-Leng *et al.* Extracting urban sound information for residential areas in smart cities using an end-to-end IoT system. IEEE Internet of Things Journal, v. 8, n. 18, p. 14308–14321, 2021. DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3068755.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018. ISBN 978-92-890-5356-3. Disponível em: https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563. Acesso em: 13 out. 2026.

ZANELLA, Andrea *et al.* Internet of Things for Smart Cities. IEEE Internet of Things Journal, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014. DOI: https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2306328.

ZENG, Fan; PANG, Chuan; TANG, Huajun. Sensors on Internet of Things systems for the sustainable development of smart cities: a systematic literature review. Sensors, v. 24, n. 7, art. 2074, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/s24072074.