

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR INTERNO (QAI) BASEADO NA INTERNET DAS COISAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

INTERNET OF THINGS BASED INDOOR AIR QUALITY (IAQ) MONITORING: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE LITERATURE

Luivi Moreno Farias¹
Marcele Fonseca dos Santos²

Resumo: A má qualidade do ar tem sido umas das problemáticas frequentes de discussão atuais, e principalmente os riscos relacionados à saúde, conforto e bem-estar. Neste artigo, é apresentado uma revisão sistemática literária (RSL) para analisar, identificar, e caracterizar o estado da arte sobre o uso da internet das coisas (IOT) no monitoramento da qualidade do ar interno (QAI). Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em quatro bibliotecas digitais. Um processo de triagem foi realizado em 508 publicações revisadas aplicando critérios de seleção adequados para definir os estudos apropriados ao escopo de RSL. Em seguida, 40 estudos analisados foram encaminhados para a fase de extração de dados. Após a análise dos estudos selecionados, foi possível analisar os benefícios no uso de IOT na QAI, suas aplicações, sensores e interfaces utilizadas para visualização das informações. Foi identificado um aumento significativo no número de artigos publicados nos últimos anos, indicando o crescente interesse da comunidade científica por esse tema.

Palavras-chave: Internet das coisas, Qualidade do ar interno, Poluição do Ar, Revisão Sistemática.

Abstract: Poor air quality has been one of the frequent issues of the current discussion, especially the risks related to health, comfort, and well-being. In this paper, a systematic literature review (SLR) is presented to analyze, identify, and characterize the state of the art on use of the Internet of Things (IoT) in indoor air quality (IAQ) monitoring. To this end, a literature search was conducted in four digital libraries. A screening process was performed on 508 reviewed publications applying appropriate selection criteria to define the studies appropriate to the scope of RSL. Then, 34 selected studies were forwarded to the data extraction phase. After analyzing the selected studies, it was possible to analyze the benefits of using IoT in QAI, its applications, sensors, and interfaces used for information visualization. A significant increase in the number of articles published in recent years was identified, indicating a growing interest of the scientific community in this topic.

Keywords: *Internet of Things, Indoor Air Quality, Air Pollution, Systematic Review.*

¹ Graduando em Engenharia da Computação. Ano 2022. 627171018@unifacs.edu.br

² Graduando em Engenharia da Computação. Ano 2022. 144181054@unifacs.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar interno é um dos principais fatores de risco relacionados à saúde, conforto e bem-estar, sendo perceptível alguns efeitos nocivos logo após a exposição ao ar poluído, como irritação no nariz, garganta e olhos, dores de cabeça, tonturas e fadiga, assim como a longo prazo despertando algumas doenças respiratórias, cardíacas e câncer, podendo ser altamente debilitantes ou fatais [1].

A falta de ventilação adequada nas estruturas dos edifícios compromete a qualidade do ar, tornando-se ambientes insalubres para se viver. Estudos demonstram que a poluição do ar interno é observada como uma das principais causas do aumento dos problemas de saúde associados à má ventilação, conforme estudo realizado em algumas aldeias remotas do distrito de Palpa, no Nepal, no qual o déficit percentual na ventilação foi de 80% em comparação com a taxa mínima sugerida pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado [2].

As pessoas passam cerca de 90% do tempo em ambientes fechados, e a inalação frequente de poluentes nesses locais prejudicam o desempenho profissional e produtividade das pessoas [2]. Um estudo publicado pela *Harvard Chan School of Public Health*, foi realizado um estudo com 300 funcionários de escritórios em cidades dos Estados Unidos, México, Índia, Tailândia, Reino Unido e China, demonstrou que a alta concentração de material particulado (PM) e CO₂ nos escritórios pode afetar a função cognitiva dos funcionários [3].

Metade da população global e 95% das pessoas em países de baixa e média renda dependem de combustíveis sólidos, como biomassa e carvão, para executar suas necessidades cotidianas de cozimento e aquecimento. A combustão incompleta de combustíveis de biomassa em fogões tradicionais, especialmente em casas mal ventiladas, leva a níveis mais altos de monóxido de carbono (CO), PM, óxidos de nitrogênio (NO_x), formaldeído, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, benzeno e outros compostos orgânicos tóxicos, o que leva ainda mais a problemas de saúde crônicos [4].

Desta maneira, a fim de analisar esta problemática de uma forma rápida e dinâmica, surgiu em diversas partes do mundo a motivação de buscar soluções tecnológicas que possam monitorar em tempo real as condições ambientais do ar em locais

internos. Uma das metodologias adotadas é o uso da interação do mundo real com virtual, baseando-se na arquitetura da internet das coisas (IOT). Com esta tecnologia foi estudado que era possível o monitoramento da qualidade do ar interno em tempo real e com isso era mais fácil diagnosticar e levantar conclusões mais diretas e rápidas sobre os problemas afetados no ambiente.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão sistemática literária do atual estado da arte em sistemas de monitoramento da qualidade do ar interno baseado na Internet das Coisas. Esta revisão propõe apresentar o diferencial através de proposições das questões de pesquisa específicas e que se difere das revisões encontradas. Este artigo está organizado em seções, iniciando com esta introdução. Na seção 2 são discutidos os principais conceitos da qualidade do ar interno e internet das coisas; seção 3 a metodologia utilizada; seção 4 a condução dos estudos; seção 5 respostas de pesquisa; seção 6 discussões e seção 7 a conclusão deste artigo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Qualidade do ar interno

A Qualidade do Ar Interior (QAI) é determinada pelas condições de poluição do ar, comportamento de residência, fontes e infraestrutura ambiental [5]. A QAI está relacionada a concentrações de poluentes no ambiente interno que afetam diretamente a qualidade do ar, tais como NO₂, HCHO, O₃, CO, CO₂, PM_{2.5}, e compostos voláteis, tais como tinta, móveis, equipamentos de escritório, lixo, respiração exalada, e/ou transpiração. A *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) declarou que o QAI é uma preocupação com a saúde ambiental, onde muitos lugares públicos monitoram e lidam com a qualidade do ar [6].

2.1.1. Doenças associadas à qualidade do ar interno

Em um ambiente interno sem renovação de ar com presença de pessoas podem provocar um aumento de concentração de poluentes químicos e microrganismos e conseqüentemente uma série de doenças respiratórias causadas por componentes biológicos ou não-biológicos [7]. Como componentes biológicos temos microrganismos que produzem reações alérgicas e componentes não biológicos agentes físicos e substâncias químicas como, monóxido de carbono, dióxido de carbono, amônia, óxido de enxofre e nitrogênio [8].

Os riscos dos níveis de poluição do ar para crianças, idosos, pacientes deficientes e funcionários de escritórios que permanecem em ambientes fechados por um período prolongado são grandes. A exposição mais comum é o aumento de concentração de CO₂ expirado. Desta maneira o nível de oxigênio no ambiente diminui e o organismo começa a desacelerar o metabolismo causando sono, irritabilidade, falta de concentração, entre outros sintomas [7].

2.2. Internet das Coisas (IOT)

O termo "Internet das Coisas", também denominado de "Internet de Tudo", surgiu em 1999, em um artigo no RFID Journal, no qual se sugeria a interligação da cadeia de suprimentos de uma empresa usando RFID. Atualmente, a conectividade de dispositivos utilizando IOT ultrapassam 15 bilhões e existem previsões de dispositivos conectados com perspectiva de aumento para 35 bilhões em 2025 [9].

2.2.1. Plataforma IOT

A plataforma IoT é a camada de *middleware* responsável pela utilização dos dados de sensores e dispositivos. Geralmente têm aplicativos bem definidos por meio dos quais os desenvolvedores podem conectar qualquer plataforma de hardware e usar seus serviços baseados em nuvem. São considerados ambientes de desenvolvimento de aplicativos e de tempo de execução porque podem oferecer suporte a milhões de conexões de dispositivos simultâneos e configurá-los facilmente para comunicação máquina a máquina [10].

Essas plataformas oferecem um ponto de partida combinando muitas das ferramentas necessárias para gerenciar sua implantação, desde o gerenciamento de dispositivos até a previsão de dados e *insights* em um único serviço. Há muitas opções, incluindo plataformas públicas que oferecem serviços em horários específicos ou recursos limitados e plataformas proprietárias que oferecem grandes quantidades de recursos e serviços para conectar até centenas de dispositivos em tempo real. [11]

2.2.2. Placas de Prototipagem

A tecnologia de prototipagem está se tornando cada vez mais sofisticada, e softwares interativos bem como placas de prototipagem multifuncionais estão desvanecendo o mercado como o Arduino, *Raspberry* e *NodeMCU* [12].

O Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto que, ao longo dos anos, tem sido o cérebro de milhares de projetos. A plataforma nasceu no *Ivrea Interaction Design Institute* como uma ferramenta fácil para prototipagem rápida, destinada a estudantes. Assim que atingiu uma comunidade mais ampla, a placa Arduino começou a mudar para se adaptar às novas necessidades e desafios, diferenciando sua oferta de placas de 8 bits simples para produtos voltados à IoT, *wearable*, impressão 3D e ambientes incorporados [13].

RaspberryPi é um microcomputador que abriga estruturas miniaturizadas de um computador pessoal, como processamento gráfico, portas USBs, saída de vídeo HDMI etc. A plataforma é amplamente utilizada em projetos de IoT e sistemas embarcados, pois possui módulo de conexão à internet [14].

O *NodeMCU* é uma plataforma *open source* criada para ser utilizada no desenvolvimento de projetos IoT. Possui características singulares que a fazem se destacar como, por exemplo, seu baixo custo, suporte integrado a redes WiFi, tamanho reduzido e baixo consumo de energia. É composta basicamente por um chip controlador, porta micro USB para alimentação e programação além de um conversor USB serial integrado [15].

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A fundamentação de novos estudos tal como o direcionamento futuro de novas pesquisas na área de interesse é requerida uma análise delineada, criteriosa e precisa da tese explanada. Por estas razões, a realização da revisão sistemática literária (RSL) garante a confiabilidade no processo de condução do campo de conhecimento, permitindo avançar em questões de pesquisa não respondidas no estudo primário, além de identificar hipóteses teóricas que estão sujeitas a limitação de testes nas primeiras linhas de pesquisas [16].

Esta revisão foi conduzida com base no guia de revisão sistemática de literatura de engenharia de software por *Kitchenham* e *Chartes* [16] e realizada em três etapas: planejamento, condução e publicação de resultados, na qual foram desenvolvidas com o auxílio da plataforma *Parsifa*³, uma ferramenta online que apoia o desenvolvimento da documentação dos processos de uma RSL. Nesta seção serão

³ <https://parsif.al/>

apresentados os objetivos, questões da pesquisa, estratégia de busca, critérios de seleção (inclusão e seleção), análise de qualidade e extração de dados.

3.1. Objetivo, contribuições esperadas e questões de pesquisa

O objetivo desta RSL é apresentar análise de estudos na área de monitoramento da QAI baseado em IoT, bem como ressaltar possíveis lacunas no campo de conhecimento, reforçando os potenciais e desafios destes sistemas para a saúde. Como contribuição do estudo, espera-se que sirva para direcionar outras pesquisas na área de estudo. Para tal finalidade, foram definidas as seguintes questões de pesquisa:

QP1: Quais são os cenários da utilização da arquitetura IOT para o monitoramento da qualidade do ar em ambientes internos?

QP2: Quais são os parâmetros e tecnologias sensoriais utilizadas?

QP3: Quais foram as plataformas IOT utilizadas no sensoriamento da qualidade do ar?

QP4: Como a internet das coisas beneficia o monitoramento da qualidade do ar interno?

QP5: Quais são as interfaces utilizadas para visualização das informações monitoradas nos sistemas existentes?

3.2. Estratégia de pesquisa

Foi utilizada como base de dados 04 bibliotecas digitais: *Science Direct*⁴, *ACM Digital Library*⁵, *IEEE Xplore*⁶ e *PubMed*⁷. O objetivo da pesquisa é coletar estudos que apresentassem o uso de IoT no monitoramento da qualidade do ar interno. Com foco na ampliação da pesquisa, foi utilizado o critério PICOC, onde P se refere a população utilizada para extração das evidências; I indica a intervenção aplicado ao

⁴ <https://www.sciencedirect.com/>

⁵ <https://dl.acm.org/>

⁶ <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>

⁷ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

estudo; C se refere a comparação; O indica resultados (do termo em inglês *outcomes*); e C se refere ao contexto.

A *string* de busca utilizada com seus respectivos sinônimos é apresentada na Tabela 1 e ela foi definida da seguinte maneira: O primeiro termo é referente a qualidade do ar interno, o segundo termo está relacionado ao uso do IoT e o terceiro termo reforça que a *query* deve estar relacionada ao monitoramento do sistema. Para esta revisão foram selecionados estudos nos metadados (título, resumo, palavras-chave), publicados entre os anos de 2017 e 2022.

Tabela 1: String de Busca

("Indoor air quality" OR "Indoor air contamination" OR "IAQ" OR "Indoor air pollution") AND ("internet of things" OR "IOT" OR "IOT sensor" OR "IOT technology") AND ("monitoring" OR "analysis" OR "evaluation" OR "study")

Fonte: Autoria Própria

3.3. Critério de Seleção e Exclusão de Trabalhos

Esta fase contemplou avaliações de quais estudos já importados no *Parsifal* satisfazem os critérios desta RSL. Para uma melhor relevância dos estudos pesquisados, os critérios de seleção de inclusão foram: (i) estudos publicados em inglês; (ii) estudos que fornecem informações sobre parâmetros relevantes da QAI; (iii) estudos que incluem dados sobre a poluição do ar interno; (iv) estudos que se baseiam na arquitetura IoT; e (v) estudos que trazem informações compreensíveis sobre a metodologia do sistema.

Os critérios de exclusão foram: (i) estudos duplicados; (ii) estudos publicados em outros idiomas além do inglês; (iii) estudos que se baseiam na qualidade do ar em ambientes externos; (iv) estudos que não utilizam a arquitetura IoT; (v) estudos secundários; e (vi) estudos que não trazem informações compreensíveis sobre o monitoramento da qualidade do ar.

3.4. Avaliação de Qualidade

Após a aplicação dos critérios de seleção nos estudos selecionados, a avaliação da qualidade é um passo importante na RSL, pois garante uma análise detalhada, mensurando possíveis vieses e erros sistemáticos. Os critérios utilizados foram propostos por *Dybbå* e *Dingsøy* [17], onde consiste em 8 questões selecionadas e classificadas por três categorias: rigidez, credibilidade e relevância. A rigidez avalia

os métodos de pesquisa, a credibilidade avalia se os resultados são bem apresentados e relevância se os resultados são úteis para o grupo de pesquisa. Na Tabela 2 é apresentado cada Critério de Qualidade (QC). Para medir a conformidade dos estudos selecionados com os critérios de qualidade, foi usada uma escala de três itens: satisfaz = 1, satisfaz parcialmente = 0,5 e não satisfaz = 0.

Tabela 2: Critério de qualidade utilizado nesta RSL

ID	Questões	Aspectos
CQ1	Os objetivos da pesquisa são bem definidos?	Rigidez
CQ2	Existe uma descrição adequada do contexto em que a pesquisa foi realizada?	Rigidez
CQ3	A pesquisa foi bem estruturada para atender os seus objetivos?	Rigidez
CQ4	O estudo identificou um cenário para avaliar a aplicação?	Relevância
CQ5	Existe um processo de avaliação e validação, bem como uma declaração dos resultados alcançados?	Relevância
CQ6	Os autores citam quais os benefícios do monitoramento da qualidade do ar interno com IOT?	Credibilidade
CQ7	O estudo descreve quais tecnologias sensoriais IoT foram utilizadas?	Credibilidade
CQ8	O estudo tem valor para a pesquisa ou prática?	Credibilidade

Fonte: Autoria Própria

3.5. Extração de Dados

Após seleção e preenchimento do questionário de qualidade dos estudos, o próximo passo consiste na extração de dados. Este processo tem como objetivo identificar as informações relevantes dos artigos selecionados. Para a coleta dos dados, foi necessário ler na íntegra os artigos submetidos à avaliação de qualidade, permitindo a extração posterior das respostas às questões de pesquisa consideradas nesta revisão. A Tabela 3 apresenta os itens usados para extração de dados.

Tabela 3: Itens utilizados no processo de extração de dados

ID	Questões
1	Referência (Autores e Ano)
2	Título
3	Objetivo do estudo
4	Contexto dos dados usado para modelar o cenário: método, técnica ou processo
5	Cenários utilizados para aplicação do sistema (QP1)

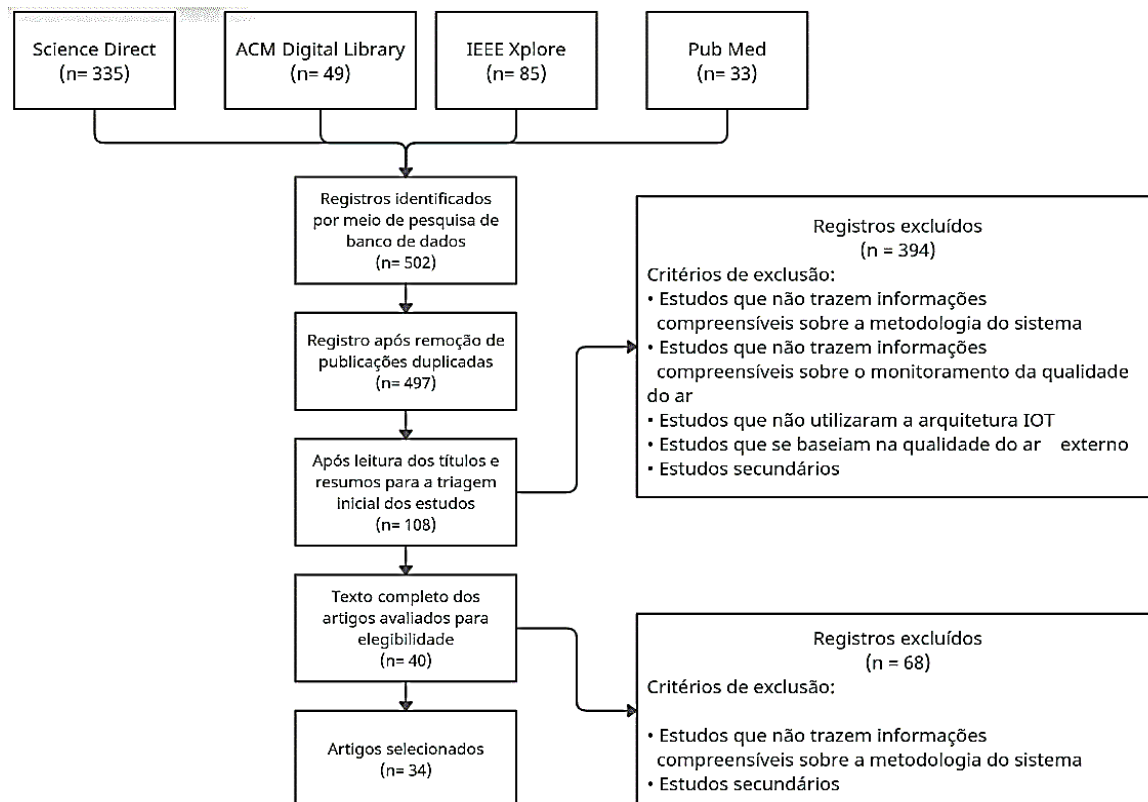
- 6 Tipos de sensores utilizados e parâmetros analisados (QP2)
- 7 MCUs, interfaces e tecnologias de comunicação preferidos (QP3)
- 8 Benefícios citados do uso da IoT nos resultados alcançados (QP4)
- 9 Interfaces de visualização utilizadas (QP5)
- 10 Interface de visualização utilizada

Fonte: Autoria Própria

4. CONDUÇÃO RSL E CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

A Figura 1 mostra o resultado da pesquisa bem como o processo de seleção dos estudos. Após a aplicação da *string* de busca nas bibliotecas digitais selecionadas, foram identificados um total de 502 estudos. Em seguida, o processo de remoção de trabalhos duplicados foi realizado, resultando em 497 estudos para o processo de seleção. Os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados para a triagem dos artigos relevantes, avaliados por meio da leitura do título e resumo, resultando em 108 estudos selecionados. Ao ler o texto completo com o objetivo de reconhecer sua adequação para esta RSL, 40 artigos foram selecionados. Por fim, após a avaliação de qualidade 34 artigos atenderam a todos os critérios de seleção.

Figura 1: Diagrama do processo de revisão da literatura

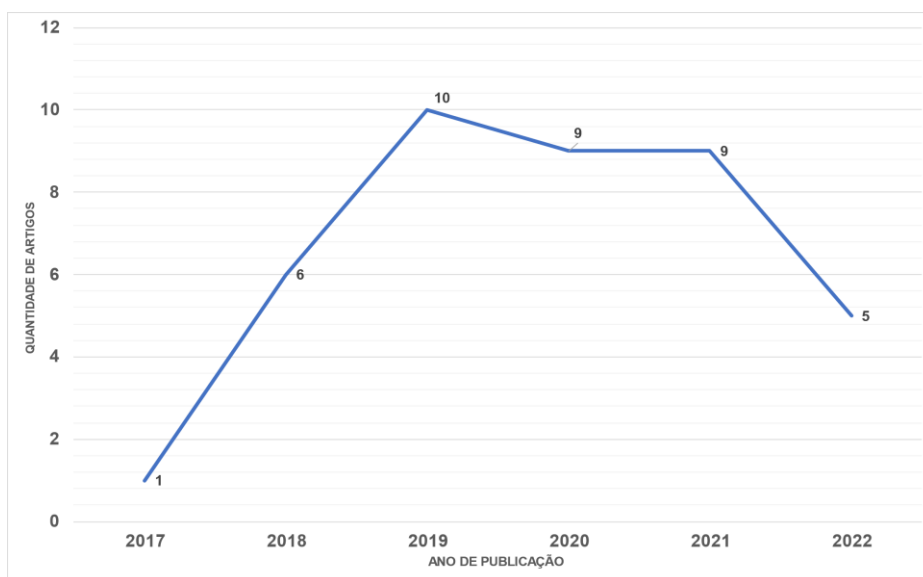


Fonte: Autoria Própria

4.1. Data de publicação dos artigos selecionados

Ao analisar a distribuição dos estudos selecionados ao longo dos anos (Figura 2) é possível identificar um aumento significativo no número de artigos publicados com propostas que usaram IoT no monitoramento da qualidade do ar interno, seja para prevenção de doenças causadas por poluentes, ou para atuação de dispositivos externos, como purificadores, unidades de ventilação, entre outros. Especificamente, o número de estudos publicados aumentou a partir de 2019. Essa descoberta contribui para indicar o crescente interesse da comunidade científica por esse tema de pesquisa e reforça a motivação desta RSL. Ademais, vale ressaltar que a queda observada no ano de 2022 deve-se ao fato de que neste ano em específico, foram selecionados apenas estudos publicados até agosto, devido ao período em que a pesquisa foi realizada.

Figura 2: Rateio dos estudos por ano



Fonte: Autoria Própria

4.2. Score de Qualidade

Conforme mencionado na seção 3.4, foi realizada uma análise dos estudos selecionados de acordo com critérios de qualidade comumente conhecidos na literatura. A maioria dos estudos avaliados alcançou pontuação acima de 6, totalizando 34 artigos, o que nos permite reconhecer a consistência dos resultados relatados. Portanto, ao realizar essa avaliação de qualidade, identificamos que os artigos selecionados apresentam métodos de pesquisa apropriados e relatam resultados de aparência significativa e são relevantes para a comunidade de pesquisa. No entanto, alguns estudos alcançaram escores inferiores a 6 pontos, o que implica

na necessidade de ponderar seus resultados. Alguns critérios avaliados não foram completamente satisfeitos pela maioria dos estudos. Dentre eles, foi identificado que alguns não tinham processo de avaliação e validação dos resultados alcançados, resultando em uma limitação do estudo.

A identificação de aplicação prática dos sistemas desenvolvidos pertinentes nos estudos selecionados não foi avaliada de maneira satisfatória na maioria dos artigos. Em suma, os estudos foram realizados em universidades e apresentaram resultados medianos, não evoluindo para aplicações práticas em situações reais. Porém, 08 artigos tiveram pontuação máxima satisfazendo a todos os critérios de qualidade.

5. RESPONDENDO ÀS QUESTÕES DA PESQUISA

- I. (QP1) Cenários da utilização da arquitetura IoT para o monitoramento da qualidade do ar em ambientes internos.

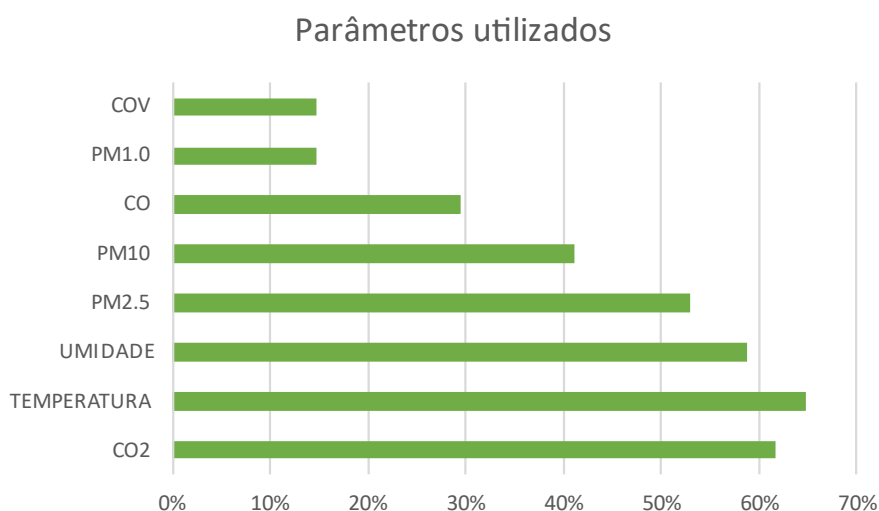
Os estudos selecionados usaram vários tipos de ambientes simulados. Em sua maioria, 09 estudos utilizaram campus de universidades [18], [25],[30], [31], [46], [47], [52], [53], [57], onde os pesquisadores desenvolvem sistemas de monitoramento para estudos de casos com o objetivo de aplicações práticas. Sete estudos, [24],[42],[45],[49],[50],[55],[56], coletaram dados em ambiente residencial. A maioria dos estudos sobre a QAI também realizou a coleta de dados em alguns outros ambientes, como escritórios e salas de aulas, como o artigo [25] que destaca o estudo do sistema implementado durante aplicação de um exame escolar em uma sala de 1400 m² na qual 226 alunos estavam sentados em mesas individuais e separadas.

- II. (QP2) Parâmetros e tecnologias sensoriais utilizadas.

A partir da análise dos artigos selecionados, pode-se observar que 65% dos 34 estudos monitoraram dois parâmetros de conforto térmico (temperatura e umidade) . No total, 21 estudos (62%) mediram CO₂ e 10 estudos (29%) concentraram-se na medição de CO como parâmetros críticos da QAI. Além disso, 41% e 53% incluíram sensores PM₁₀ e PM_{2.5} respectivamente, e 15% mediram compostos orgânicos voláteis (COVs). Esta análise revela que temperatura, umidade, CO₂ , CO, PM₁₀ , PM_{2.5} , e COVs são os parâmetros da QAI monitorados com maior frequência (Figura 3).

Dezesseis estudos utilizaram 40 tipos diferentes de sensores dedicados ao monitoramento do QAI, dos quais 11 sensores foram calibrados de fábrica. Entretanto, 17 estudos (42,5%) usaram sensores da série MQ (MQ135, MQ6, MQ4, MQ7, MQ9, MQ5, MQ2, MQ3) para medir poluentes gasosos. Além disso, 06 estudos (15%) utilizaram o sensor multigases MQ135. A principal desvantagem dos sensores da série MQ é que eles requerem calibração em campo. Além disso, as especificações de precisão não são definidas em fichas de dados do fabricante.

Figura 3: Parâmetros relevantes discutidos em estudos existentes



Fonte: Autoria Própria

III. (QP3) Plataformas IOT utilizadas no sensoriamento da qualidade do ar.

A Tabela 4 fornece a distribuição das plataformas IoT utilizadas para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento QAI. Com base nos resultados, o Arduino (41%) e *NodeMCU* (26%) foram os MCUs mais utilizados para desenvolvimento. A plataforma *Raspberry Pi* foi usada por 06 estudos (18%), e era comumente usada como gateway, ao invés de plataforma de desenvolvimento. Entretanto, as versões mais utilizadas foram Arduino Uno e ESP8266. Todos estes três MCUs estão disponíveis como plataformas de código aberto para aplicações de monitoramento em tempo real. Dois estudos também preferiram utilizar o STMicroelectronics como MCU. Entretanto, o custo é a principal preocupação para sua implementação.

Tabela 4: Microcontroladores usados para conectar sensores.

Plataformas IOT	Estudos
Arduino	[22],[23],[26],[27],[29],[32],[33],[37],[38],[43],[44],[45],[53],[57]
NodeMCU	[24],[25],[35],[36],[41],[47],[50],[52],[55]
Raspberry Pi	[17],[20],[31],[40],[42],[46]
Stmicroelectronics	[34],[49]
Lora RAK 7258	[17]
Atmega 1281	[20]
Wemos D1	[21]

Fonte: Autoria Própria

IV. (QP4) Benefício do IoT no monitoramento da qualidade do ar interno (MQAI)

Nos estudos, foi possível reconhecer os benefícios da IoT no MQAI. No artigo [48], a Internet das Coisas pode ajudar a realizar um monitoramento em tempo real da qualidade do ar interno usando eletrônicos integrados, software, sensores e conectividade. Além disso, os sistemas ciberfísicos e a IoT permitem o desenvolvimento de ecossistemas de informações de saúde que incluem sensores médico-hospitalares, microcontroladores, tecnologias de comunicação sem fio, e plataformas de software de código aberto para visualização de dados e analítica. O potencial generalizado dos sistemas IoT para abordar vários desafios de saúde baseiam-se nos sistemas físicos cibernéticos onipresentes que suportam as capacidades de detecção e comunicação [50]. Esses sistemas podem fornecer um fluxo contínuo de coleta de dados usando sensores econômicos, e os dados ambientais são usados pelo sistema para fornecer recomendações, como aumentar a ventilação ou reduzir os níveis de atividade, que podem ajudar os usuários a melhorar a qualidade do ar.

V. (QP5) Quais interfaces utilizadas para visualização das informações monitoradas nos sistemas existentes?

Seis estudos (18%) se concentraram no desenvolvimento de um aplicativo móvel para exibir o status em tempo real dos parâmetros de QAI medidos. Além disso, 16 estudos (47%) utilizaram a aplicação web para exibir as características da QAI. Dez estudos também preferiram utilizar multiplataformas de código aberto com visualização interativa, como *Grafana*, *Kibana*, *ThingSpeak*, entre outros. Os aplicativos móveis fornecem uma solução confiável para medições em tempo real, pois permitem que os usuários se mantenham atualizados sobre as condições do QAI

em qualquer lugar e a qualquer momento. Além disso, a maioria das soluções baseadas na web requerem login antes de verificar as atualizações dos parâmetros.

6. DISCUSSÕES

6.1. Tendências

Ao analisar os resultados desta RSL, foi identificado um conjunto de tendências a partir das soluções dos estudos selecionados. Primeiramente foi analisado que diversos estudos traziam consigo a análise dos dados monitorados pelo sistema por meio de ferramentas utilizando aprendizado de máquina. Com a utilização de IA nesses sistemas é possível realizar uma análise espaço-temporal da qualidade do ar em ambientes internos, trazendo previsões dos parâmetros, isto posto soluções para controle do ambiente.

6.2. Qualidade, limitações dos estudos selecionados e inferências para pesquisas futuras

Com base na avaliação de qualidade dos estudos escolhidos, foi identificado a credibilidade de suas contribuições científicas, e as limitações que provocam a importância de pesquisas futuras. Os estudos descreveram resultados alcançados vindo a somar na literatura. Contudo, a maioria dos estudos não atingiram a expectativa máxima de acordo com o critério de qualidade aplicado. Estes foram insuficientes em termos de limitação aos experimentos e rigidez metodológica, como testes em sua maioria realizados apenas em ambiente universitário, estudos sem conclusões relevantes e com baixa perspectiva de aplicações reais. É um desafio validar o sistema proposto em situações reais a exemplos de unidades de saúde e indústrias, locais que foram apenas idealizados e colocados como execução futuras. Para amenizar essa limitação, novas propostas podem implementar estratégias para a realização de novos testes em cenários distintos que precisam de atenção e que seja imprescindível o controle da qualidade do ar. Desta forma, essas deficiências representam aberturas para pesquisas futuras acrescer a qualidade dos estudos e, por conseguinte, melhorar a consistência dos resultados alcançados nesta área de pesquisa.

6.3. Limitações da RSL

Esta RSL apresentou uma discussão explanada e ampla análise sobre os estudos e suas soluções propostas para o uso da IoT no MQAI. No entanto, existem

deficiências a serem pontuadas. Primeiramente, foram revisados apenas estudos publicados, o que pode restringir os resultados descritos. Logo, o número de estudos escolhidos pode aumentar em uma revisão futura que inclua trabalhos acadêmicos não publicados, como teses e dissertações. Em segundo lugar, os artigos publicados foram pesquisados apenas em 4 bibliotecas digitais conhecidas, em razão do tempo de pesquisa. As pesquisas de artigos podem ser ampliadas incluindo outras bases de dados padrão, como *Google Scholar*⁸, *Springer*⁹, *Elsevier*¹⁰ e *Microsoft Academic*¹¹.

Por último, apenas foram revisados estudos publicados nos últimos 6 anos, em razão do tempo de elaboração dessa RSL, consequentemente causando uma restrição quanto aos resultados expostos. Uma revisão futura que contenha trabalhos acadêmicos divulgados nos últimos 12 anos por exemplo pode alargar a compreensão relacionada aos resultados descritos. Deste modo, esta revisão pode ser um cenário para posteriores estudos.

7. CONCLUSÃO

Esta RSL apresenta uma revisão do estado atual da arte dos sistemas de monitoramento do QAI. Foi descrito os principais conceitos da literatura revisada bem como apresentadas as respostas das questões de pesquisas levantadas. Este estudo incluiu 40 artigos selecionados dos últimos seis anos (2017-2022) obtidos a partir de quatro bibliotecas digitais diferentes. Do total, somente 34 tiveram score de qualidade maior igual a nota de corte (6.0). Foi possível explicar os riscos inerentes à poluição do ar e como o controle dele utilizando recursos tecnológicos como IOT pode auxiliar informando o estado do ambiente em tempo real para tomadas de decisões antecipadas.

As discussões apresentadas nesta RSL são relevantes para auxiliar os próximos pesquisadores, especialistas da indústria, geradores de políticas de saúde pública e governos. Existem desafios e limitações a serem executados em pesquisas futuras sobre este tema, pois trata-se de um campo de conhecimento vasto e pouco

⁸ <https://scholar.google.com.br/>

⁹ <https://link.springer.com/>

¹⁰ <https://www.elsevier.com/>

¹¹ <https://academic.microsoft.com/>

explorado, no qual ferramentas tecnológicas como IOT, IA, entre outras, podem auxiliar para evolução da área, oferecendo diversas oportunidades para aplicações diversas.

8. REFERÊNCIAS

1. SCHIRMER, Waldir Nagel; PIAN, Lucas Bischof; SZYMANSKI, Mariani Sílvia Ester; Gauer, Mayara Ananda. **A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes**. *Ciência & Saúde Coletiva* [online]. 2011, v. 16, n. 8 [Acessado 9 Outubro 2022], pp. 3583-3590. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026>>. Epub 12 Ago 2011. ISSN 1678-4561. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026>;
2. PARAJULI, Indira; LEE, Heekwan; SHRESTHA, Krishna Raj. **Indoor Air Quality and ventilation assessment of rural mountainous households of Nepal**, *International Journal of Sustainable Built Environment*, v. 5, p. 301-311, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.08.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609016300334>. Acesso em: 27 set. 2022.
3. SWEENEY, Chris. **Office air quality may affect employees' cognition, productivity**. Harvard T.H. Chan School of Public Health, 9 set. 2021. Disponível em: <https://www.hsph.harvard.edu/news/press-releases/office-air-quality-may-affect-employees-cognition-productivity/>. Acesso em: 3 out. 2022
4. DEY, Debolina; CHATTOPADHYAY, Aparajita. **Solid Fuel Use in Kitchen and Child Health in India**, [s. l.], v. 58, ed. 4, p. 365-379, 2016. DOI <https://doi.org/10.21648/arthavij%2F2016%2Fv58%2Fi4%2F153076>. Disponível em: <https://www.i-scholar.in/index.php/ArthaVij/article/view/153076>. Acesso em: 20 set. 2022.
5. "Thomas NM, Calderón L, Senick J, Sorensen-Allacci M, Plotnik D, Guo M, Yu Y, Gong J Andrews CJ, Mainelis G. **Investigation of indoor air quality determinants in a field study using three different data streams.**"
6. "Rastogi K, Barthwal A, Lohani D. **'AQCI: an iot based air quality and thermal comfort model using fuzzy inference'**, 2019 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS).
7. FAKHOURY, N. A. **Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2017.
8. AGUIAR, E. F. K. **Calibração de sensores de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar no distrito federal**. 2014.
9. ELLEN, Patrícia. **Internet das coisas já é realidade, porém falta regulamentá-la**. [S. l.], 14 dez. 2016. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/br/our-insights/blog-made-in-brazil/internet-das-coisas-ja-e-realidade-porem-falta-regulamenta-la>. Acesso em: 18 abr. 2022.
10. SETHI, P.; SARANGI, S. R. **Internet of things: architectures, protocols, and applications**. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, Hindawi, v. 2017, 2017.].

11. POSTSCAPES. **IoT Cloud Platform Landscape**. 2019. Disponível em: <https://www.postscapes.com/internet-of-things-platforms>. Acesso em 26 set 2022.
12. MAKSIMOVIC, M.; VUJOVIC, V.; DAVIDOVIĆ, N.; MILOSEVIC, V. **Raspberry pi as internets of things hardware: performances and constraints**. design issues, v. 3, n. 8, 2014.
13. ARDUINO. **What is Arduino?** 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 03 set. 2022
14. RASPBERRY. **What is a Raspberry Pi?** 2019. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/documentation/faqs/#introduction>>. Acesso em: 03 set 2022.
15. NODEMCU. **NodeMCU 2.2.1**. 2019. Disponível em: <http://www.nodemcu.com/index_cn.html>. Acesso em 03 set 2022
16. B. Kitchenham, S. Charters, **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**, Tech. Rep. EBSE 2007-001, Keele University and University of Durham, 2007.
17. Khan, Khalid, S., ter Riet, Gerben., Glanville, Julia., Sowden, Amanda, J. and Kleijnen, Jo. (eds) **Undertaking Systematic Review of Research on Effectiveness. CRD's Guidance for those Carrying Out or Commissioning Reviews**. CRD Report Number 4 (2nd Edition), NHS Centre for Reviews and Dissemination, University of York, ISBN 1 900640 20 1, Mar 2001.
18. ANIK, S. M. H.; GAO, X.; MENGA, N.; AGEE, P. R.; MCCOY, A. P. A cost-effective, scalable, and portable IoT data infrastructure for indoor environment sensing. **Journal of Building Engineering**, v. 49, n. 2352-7102, p. 104027, maio 2022.
19. MELI, M.; GATT, E.; CASHA, O.; GRECH, I.; MICALLEG J. A Low Cost LoRa-based IoT Big Data Capture and Analysis System for Indoor Air Quality Monitoring. **2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)**, dez. 2020.
20. BENAMMAR, M.; ABDAOUI A.; AHMAD, S.H.M.; TOUATI F.; KADRI A. A Modular IoT Platform for Real-Time Indoor Air Quality Monitoring. **Sensors**, v. 18, n. 2, p. 581, 14 fev. 2018.
21. MARQUES, G.; ROQUE FERREIRA, C.; PITARMA, R. A System Based on the Internet of Things for Real-Time Particle Monitoring in Buildings. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, n. 4, p. 821, 21 abr. 2018.
22. YANG, X.; YANG, L.; ZHANG, J. A WiFi-enabled indoor air quality monitoring and control system: The design and control experiments. **2017 13th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA)**, n. 1948-3457, jul. 2017.
23. GUNATILAKA, D.; SANBUNDIT, P.; PUENGCHIM, S.; BOONTHAM, C. AiRadar: A Sensing Platform for Indoor Air Quality Monitoring. **2022 19th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)**, n. 2642-6579, 22 jun. 2022.
24. ZAREB, M.; BAKHTI, B.; BOUZID, Y.; BATISTA, C. E.; TERNIFI, I.; ABDENOUR, M. An Intelligent IoT Fuzzy Based Approach for Automated Indoor Air Quality Monitoring. **2021 29th Mediterranean Conference on Control and**

Automation (MED), n. 2473-3504, 22 jun. 2021.

25. RUSCH, A.; RÖSGEN, T. An Internet of Things Sensor Array for Spatially and Temporally Resolved Indoor Climate Measurements. **Sensors**, v. 22, n. 12, p. 4377, 9 jun. 2022.

26. RASTOGI, K.; BARTHWAL, A.; LOHANI, D.; ACHARYA, D. **An IoT-based Discrete Time Markov Chain Model for Analysis and Prediction of Indoor Air Quality Index**. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9220077>>. Acesso em: 4 fev. 2022.

27. RASTOGI, K.; LOHANI, D.; ACHARYA, D. An IoT-based System to Evaluate Indoor Air Pollutants Using Grey Relational Analysis. **2020 International Conference on COMMunication Systems & NETWORKS (COMSNETS)**, n. 2155-2509, jan. 2020.

28. KHADIM, H. J.; OBAED, F. K.; ABD ALI, Z. T. Application of MQ-Sensors to Indoor Air Quality Monitoring in Lab based on IoT. **2021 International Conference on Intelligent Technology, System and Service for Internet of Everything (ITSS-IoE)**, 1 nov. 2021.

29. RASTOGI, K.; BARTHWAL, A.; LOHANI, D. AQCI: An IoT Based Air Quality and Thermal Comfort Model using Fuzzy Inference. **2019 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)**, n. 2153-1684, dez. 2019.

30. KANAL, A. K.; TAMAS, K. Assessment of Indoor Air Quality of Educational Facilities using an IoT Solution for a Healthy Learning Environment. **2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)**, n. 2642-2077, maio 2020.

31. WARD, S.; GITTENS, M.; ROCK, N.; JAMES, K. CampusEMonitor: Intelligent Campus Environment Room Monitoring System. **2019 ACM SIGUCCS Annual Conference on - SIGUCCS '19**, 2019.

32. RASTOGI, K.; LOHANI, D.; ACHARYA, D. Context-Aware Monitoring and Control of Ventilation Rate in Indoor Environments Using Internet of Things. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 8, n. 2327-4662, p. 1–1, 2021.

33. KARAMI, M.; MCMORROW, G. V.; WANG, L. Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system. **Journal of Building Engineering**, v. 19, n. 2352-7102, p. 412–419, set. 2018.

34. ZHAO, L.; WU, W.; LI, S. Design and Implementation of an IoT-Based Indoor Air Quality Detector With Multiple Communication Interfaces. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 6, p. 9621–9632, dez. 2019.

35. WALL, D.; McCullagh, P.; Cleland, I.; Bond, R. Development of an Internet of Things Solution to Monitor and Analyse Indoor Air Quality. **Internet of Things**, v. 14, n. 2542-6605, p. 100392, abr. 2021.

36. PELADARINOS, N.; CHEIMARAS, V.; PIROMALIS, D.; ARVANITIS, K. G.; PAPAGEORGAS, P.; MONIOS, N.; DOGAS, I.; STOJMENOVIC, M.; TSARAMIRSIS, G. Early Warning Systems for COVID-19 Infections Based on Low-Cost Indoor Air-Quality Sensors and LPWANs. **Sensors**, v. 21, n. 18, p. 6183, 15 set. 2021.

37. SALAMONE, F.; DANZA, L.; MERONI, I.; POLLASTRO, M. C. A Low-Cost Environmental Monitoring System: How to Prevent Systematic Errors in the Design Phase through the Combined Use of Additive Manufacturing and Thermographic

Techniques. **Sensors**, v. 17, n. 4, p. 828, 11 abr. 2017.

38. PRADITYO, F.; SURANTHA, N. Indoor Air Quality Monitoring and Controlling System based on IoT and Fuzzy Logic. **2019 7th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)**, jul. 2019.

39. LADEKAR, V.; DARUWALA, R. Indoor Air Quality Monitoring on AWS Using MQTT Protocol. **2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)**, jul. 2019

40. JACOB RODRIGUES, M.; POSTOLACHE, O.; CERCAS, F. **Indoor Air Quality Monitoring System to Prevent the Triggering of Respiratory Distress.**

Disponível em:

<<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9043669>>. Acesso em: 3 set. 2022.

41. HAPSARI, A. A.; VRESDIAN, D. J.; ALDIANSYAH, M.; DIONOVA, B. W.; WINDARI, A. C. Indoor Air Quality Monitoring System with Node.js and MQTT Application. **2020 1st International Conference on Information Technology, Advanced Mechanical and Electrical Engineering (ICITAMEE)**, 13 out. 2020.

42. KIM, J.; KIM, S.; BAE, S.; KIM, M.; CHO, Y.; LEE, K. Indoor environment monitoring system tested in a living lab. **Building and Environment**, v. 214, n. 0360-1323, p. 108879, abr. 2022.

43. MERIS, P. R.; MERIS, P. R.; DIMAUNAHAN, E.; CRUZ, J. C. D.; FADCHAR, N. A.; MANUEL, M. C.; BONA OBRA, J. C. C.; RANOSA, F. J. I.; MANGAOANG, J. L.D.; REYES, P. C. IOT Based – Automated Indoor Air Quality and LPG Leak Detection Control System using Support Vector Machine. **2020 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)**, ago. 2020.

44. SHKURTI, L.; ALIU, A.; KABASHI, F. IoT based Indoor Air Quality Monitoring System to Improve the Health of Students in Gymnasium “Gjon Buzuku” Prizren. **2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)**, 21 out. 2021.

45. KAUR, S.; BAWA, S.; SHARMA, S. IoT Enabled Low-Cost Indoor Air Quality Monitoring System with Botanical Solutions. **2020 8th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)**, jun. 2020. .

46. TRONCOSO-PASTORIZA, F.; MARTÍNEZ-COMESAÑA, M.; OGANDO-MARTÍNEZ, A.; LÓPEZ-GÓMEZ, J.; EGUÍA-OLLER, P.; FEBRERO-GARRIDO, L. IoT-based platform for automated IEQ spatio-temporal analysis in buildings using machine learning techniques. **Automation in Construction**, v. 139, n. 0926-5805, p. 104261, jul. 2022.

47. BIDILĂ, T.; PIETRARU, R. N.; IONIȚĂ, A. D.; OLTEANU, A. **Monitor Indoor Air Quality to Assess the Risk of COVID-19 Transmission.** Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9481066>>. Acesso em: 17 abr. 2022.

48. ESQUIAGOLA, J.; MANINI, M.; AIKAWA, A.; YOSHIOKA, L.; ZUFFO, M. Monitoring Indoor Air Quality by using IoT Technology. **2018 IEEE XXV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)**,

ago. 2018.

49. LIU, Z.; WANG, G.; ZHAO, L.; YANG, G. Multi-Points Indoor Air Quality Monitoring Based on Internet of Things. **IEEE Access**, v. 9, n. 2169-3536, p. 70479–70492, 2021.
50. MARQUES, G.; PITARMA, R. Particulate Matter Monitoring and Assessment through Internet of Things: a Health Information System for Enhanced Living Environments. **Journal of Medical Systems**, v. 44, n. 12, 11 nov. 2020.
51. ADZIIMA, A. F.; FEBRIANTO, D.; ARDIATMAJAYA, E.; SUSANTO, A. B. P.; SUSANTI, M. D.; FAUZI, E. R. Prototype Design of Automatic Switching Speed of Exhaust Fan For Air Quality Control Based On IoT. **2021 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA)**, 8 dez. 2021.
52. HAPSARI, A. A.; HAJAMYDEEN, A. I.; VRESDIAN, D. J.; MANFALUTHY, M.; PRAMESWONO, L.; YUSUF, E. **Real Time Indoor Air Quality Monitoring System Based on IoT using MQTT and Wireless Sensor Network**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9117518?casa_token=8EynRkS4C18AAAA:AoBHT1zvuMJ66LRfvA_MYQ5e-_TmcNO7iRWJG3DdSeW6ZGvwwUoXxtYt5gzfS5zJ8cflkYBTL0KdsQ>.
53. MULADI, M.; SENDARI, S.; WIDIYANINGTYAS, T. Real Time Indoor Air Quality Monitoring Using Internet of Things at University. **2018 2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering (BICAME)**, dez. 2018.
54. MING, F. X.; HABEEB, R. A. A.; NASARUDDIN, F. H. B. M.; GANI, A. B. Real-Time Carbon Dioxide Monitoring Based on IoT & Cloud Technologies. **Proceedings of the 2019 8th International Conference on Software and Computer Applications**, 19 fev. 2019.
55. ESFAHANI, S.; ROLLINS, P.; SPECHT, J. P.; COLE, M.; GARDNER, J. W. Smart City Battery Operated IoT Based Indoor Air Quality Monitoring System. **2020 IEEE SENSORS**, n. 2168-9229, 25 out. 2020.
56. RUSU, A.; DOBRA, P. Using Adaptive Transmit Power in Wireless Indoor Air Quality Monitoring. **2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)**, n. 2372-1618, out. 2019.
57. VELICKA, J.; PIES, M.; HAJOVSKY, R. Wireless Measurement of Carbon Dioxide by use of IQRF Technology. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 6, p. 78–83, 2018.