

# Sistema de Software IoT para Monitoramento de Biossegurança de Instalações

**André Giron<sup>1</sup>, Kaway Marinho<sup>1</sup>, Leonardo Drummond<sup>1</sup>, Sabrina Rocha<sup>2</sup>, Larissa Galeno<sup>2</sup>, Rodrigo Feitosa Gonçalves<sup>2</sup>, Guilherme Horta Travassos<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Escola Politécnica

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) Rio de Janeiro – RJ – Brasil

<sup>2</sup>Programa de Engenharia de Sistemas e Computação

Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{andregiron.20221, kawayrmarinho, drumm.leo.20221}@poli.ufrj.br,

{sabrinarocha, galeno, rfeitosa, ght}@cos.ufrj.br

**Abstract.** This article presents the SAFE IoT system, a low-cost solution for easily monitoring biosafety indicators in different installation profiles, such as the number of people, CO<sub>2</sub> levels, humidity, and temperature. The collected information is displayed on a dashboard, facilitating analysis and decision-making. The system has been evaluated, and the appropriate data transmission frequency is expected to contribute to effective indoor air quality monitoring.

**Resumo.** Este artigo apresenta o sistema SAFE IoT, uma solução de baixo custo para monitorar, de forma simples, indicadores de biossegurança em diferentes perfis de instalação, incluindo hospitais e clínicas, como número de pessoas, nível de CO<sub>2</sub>, umidade e temperatura. As informações coletadas são exibidas em um dashboard, facilitando a análise e a tomada de decisão. O sistema foi avaliado e espera-se que a periodicidade adequada no envio de medidas contribua para um acompanhamento eficaz da qualidade do ar interno.

## 1. Introdução

Desde a pandemia de COVID-19, a biossegurança em ambientes fechados passou a chamar mais atenção. Fatores como a qualidade do ar, a quantidade de pessoas no ambiente e a limpeza das instalações são fundamentais para garantir a saúde dos indivíduos em seu interior. No entanto, a preocupação com a qualidade do ar muitas vezes se restringe ao ambiente externo, ignorando que as pessoas passam cerca de 90% do tempo em ambientes internos [WHO 2014]. Como resultado, a qualidade do ar interno (do inglês, *Indoor Air Quality – IAQ*) torna-se um fator crucial para o bem-estar individual e pode representar um risco ainda maior à saúde, uma vez que poluentes, vírus, bactérias, fungos e compostos orgânicos voláteis (VOCs) tendem a se concentrar mais em espaços fechados.

Dores de cabeça, fadiga, cansaço excessivo e irritação nos olhos e na pele estão entre os principais sintomas de uma baixa IAQ. Essa condição pode ser afetada por diversos fatores, como má circulação do ar, uso de produtos químicos para sanitização e presença de compostos voláteis. Além disso, considerando que a maior parte do tempo é

passada em ambientes fechados, como casas e escritórios, torna-se essencial o monitoramento contínuo da qualidade do ar nestes ambientes internos.

Nesse contexto, aplicações de software contemporâneas no paradigma da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) e Inteligência Artificial (IA), vêm sendo amplamente utilizadas para mitigar os riscos à saúde causados pela baixa qualidade do ar em ambientes internos. Embora essas aplicações tenham surgido inicialmente em reação à pandemia de COVID-19, seu potencial vai além, pois podem ser adaptadas para diferentes cenários de emergência e desastres, oferecendo uma abordagem preventiva contra novas epidemias e pandemias [Genésio et al. 2024].

Por isso, foi desenvolvido o sistema SAFE IoT, que permite monitorar as condições de biossegurança em instalações (centros de triagem, salas de espera, laboratórios, dentre outros) por meio de dispositivos IoT. Estes dispositivos permitem a coleta de dados para indicar o número de pessoas em ambientes, nível de CO<sub>2</sub>, umidade e temperatura da instalação, apresentando essas informações em um *dashboard*. O sistema ainda emite alertas quando níveis de risco (estabelecidos para cada instalação) são atingidos e possibilita o gerenciamento das instalações cadastradas, incluindo a solicitação de serviços de limpeza ou manutenção conforme necessário.

A avaliação inicial do SAFE IoT foi realizada por meio de testes funcionais para verificar o atendimento aos seus requisitos. Em seguida, o sistema foi instalado e avaliado no âmbito universitário, permitindo observar seu potencial no monitoramento dos indicadores de biossegurança e na gestão de diferentes instalações. Os resultados indicaram a adequação na periodicidade e objetividade das informações, além de oferecer uma interface para visualização das informações, e poder auxiliar na tomada de decisão em cenários de risco à qualidade de ar interna das salas monitoradas, tornando o SAFE IoT apto para avaliação em campo.

## 2. Trabalhos Relacionados

O trabalho de [Tan et al. 2024] apresenta uma revisão sistemática acerca de 106 publicações sobre o monitoramento de IAQ com IoT. Deste modo, uma breve revisão acerca dos trabalhos analisados expõe a heterogeneidade dos dispositivos construídos e suas composições, explicitando ainda mais a característica modular dos sistemas de *software* IoT.

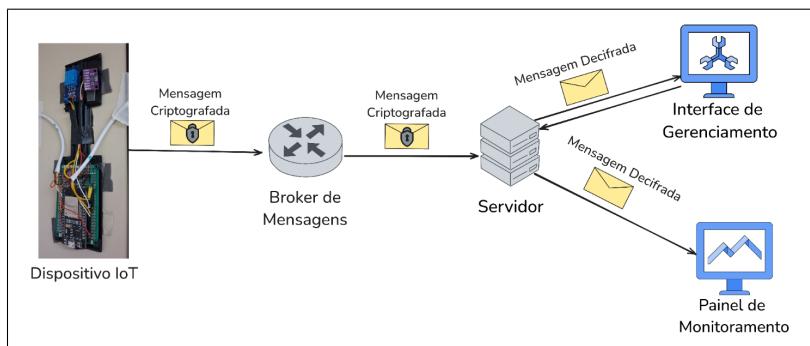
Observa-se, também, que os principais parâmetros monitorados, tais como CO<sub>2</sub>, TVOCs, temperatura, umidade e material particulado [Tan et al. 2024], se rastreados através de sensores de baixo custo, possuem uma boa precisão, mas baixa acurácia. Desta forma, parte considerável dos trabalhos faz uso de modelos preditivos para melhor confiabilidade dos dados adquiridos, implicando em maior consumo de recursos para determinados cenários.

O presente trabalho, SAFE IoT (descrito na seção 3), apresenta um dispositivo para o monitoramento de IAQ de fácil instalação, composto por sensores de baixo custo e invólucros produzidos através de impressão 3D. Seu longo período de experimentação e evolução acarreta em uma solução madura, que se aplica de maneira simples a diversos cenários. Além disso, o dispositivo IoT conta com um módulo de contagem de pessoas, que permite relacionar os parâmetros rastreados com a quantidade de indivíduos em um ambiente, garantindo a melhor caracterização de eventos críticos.

### 3. O SAFE IoT

O SAFE IoT é um sistema de software desenvolvido para o monitoramento e gestão da biossegurança em ambientes públicos. Baseado no Guia de Biossegurança da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), o sistema fornece dados sobre umidade, temperatura, CO<sub>2</sub>, quantidade de pessoas em uma instalação, bem como permitir a gestão automatizada da solicitação e realização de serviços de limpeza e manutenção.

Este sistema é composto por quatro componentes principais, conforme ilustrado na Figura 1. O primeiro é o **Dispositivo IoT**, responsável pela coleta de dados ambientais que utiliza um ESP32 com FreeRTOS, permitindo o escalonamento de tarefas de medição. Ele integra sensores de baixo custo, como o CCS811, que monitora os níveis de CO<sub>2</sub>, e o DHT11, que mede a temperatura e umidade, compondo o módulo de IAQ. Além disso, conta com dois sensores ultrassônicos (HC-SR04), contribuindo com o módulo de contagem de pessoas que possibilita o monitoramento de ocupação dos ambientes. Para proteger os dados coletados, o dispositivo criptografa as mensagens com um componente próprio antes de enviá-las pela internet via *Wi-Fi*. Toda a implementação das rotinas que compõem o dispositivo IoT, assim como seu componente de criptografia foram desenvolvidos em C++.



**Figura 1. Fluxograma de Comunicação entre Subsistemas do SAFE IoT**

O segundo componente é o **Broker de Mensagens**, responsável por receber os pacotes enviados pelos dispositivos IoT, catalogá-los por tópico e depois disponibilizá-los para consumo. Para esta tarefa a tecnologia utilizada foi o RabbitMQ, tendo em vista os protocolos empregados para comunicação. O terceiro componente, o **Servidor**, consome as mensagens disponibilizadas pelo broker, descriptografa os dados através do componente de criptografia, processa as medidas do módulo de contagem de pessoas, formata os pacotes enviados pelo módulo de IAQ e as armazena em uma base de dados. Isso inclui a quantidade de pessoas, níveis de CO<sub>2</sub>, umidade relativa, temperatura, data e hora da coleta. Além disso, disponibiliza rotas de uma API, garantindo que os demais subsistemas accessem e utilizem esses dados. A implementação deste componente foi realizada utilizando JavaScript e Node.JS junto ao PostgreSQL como sistema gerenciador de banco de dados (SGBD).

O quarto componente, o **Painel de Monitoramento**, um *dashboard* que permite o acompanhamento periódico dos indicadores de biossegurança, emite alertas para situações críticas, e contribui para a mitigação de riscos no espaço. Este componente foi desenvolvido utilizando tecnologias *front-end* React. O quinto e último componente

é a **Interface de Gerenciamento**, que permite aos usuários solicitarem remotamente a limpeza ou manutenção dos ambientes. Para construção deste componente, foram utilizadas as mesmas tecnologias aplicadas no painel de monitoramento. Neste sentido, o SAFE IoT usa estas solicitações e sua execução para gerenciar e informar aos usuários dois possíveis estados para uma instalação: *disponível* e *indisponível*. Quando o espaço está *disponível*, o sistema notifica os usuários interessados sobre sua utilização, e quando está *indisponível*, além da notificação, o sistema informa o motivo, que pode ser falta de limpeza, ou manutenção em andamento.

### 3.1. Desenvolvimento do SAFE IoT

O processo de desenvolvimento foi dividido nas seguintes etapas: análise e elicitação de requisitos, construção do dispositivo IoT e projeto e construção dos demais subsistemas. Testes e validações foram realizados durante todo o processo de construção do sistema, visando a qualidade e conformidade da solução com os objetivos do projeto.

Os requisitos do sistema foram estabelecidos no contexto da pandemia da COVID-19 por meio de *brainstormings* realizados pelos integrantes do grupo de pesquisa e uma profissional da saúde, a partir das informações descritas no Guia de Biossegurança da UFRJ. Seus requisitos primários objetivavam mitigar a proliferação do vírus em instalações fechadas devido às regras sanitárias mais rígidas. Uma primeira versão do sistema foi construída considerando um cenário restritivo de uso. O fim da pandemia permitiu a evolução dos requisitos para oferecer um maior ênfase no monitoramento de IAQ e ajustes de flexibilização nos cenários de risco.

A construção do dispositivo IoT observou estes momentos de evolução. Diferentes protótipos foram construídos até a obtenção da versão atual (Figura 2). Esta evolução foi importante para revelar aspectos desconhecidos sobre a implementação do dispositivo, um exemplo é, como a distância entre os sensores e a porta da instalação tem influência na detecção de entrada e saída de pessoas. Além disso, foi identificado que o funcionamento contínuo do dispositivo pode causar aquecimento inesperado do ESP32, comprometendo a precisão das medições pelos outros sensores, problema que pode ser contornado alterando a estrutura física que acomoda o dispositivo, garantindo um melhor resfriamento do microcontrolador.

Um dos requisitos do SAFE IoT é apresentar visualmente as medidas coletadas ao usuário final. Desta forma, um painel de monitoramento (*dashboard*) foi projetado e construído, permitindo uma visualização simples e direta dos indicadores de biossegurança. A comunicação com o usuário inclui sinais de alerta para indicar situações de atenção, cores (verde e vermelho) para sinalizar disponibilidade ou indisponibilidade das instalações e definição do espaço amostral para exibição de gráficos de evolução de cada indicador com base na coleta de dados na linha do tempo. Estas características resultam de experimentação contínua de diferentes formas de amostragem dos dados coletados.

Diferentes sinais de alerta são emitidos pelo sistema. Estes correspondem a momentos em que o limite máximo para um determinado indicador de biossegurança é excedido. Os limites são definidos pelo administrador de cada instalação por meio da interface de gerenciamento. Cada limite se estabelece conforme a instalação e deve ser definido com base no guia de biossegurança da organização. A interface também permite ao gerente o agendamento de limpeza ou manutenção para cada instalação.

## 4. Cenário de Uso

Uma proposta para o sistema SAFE IoT é utilizá-lo para monitorar ambientes hospitalares, como salas de triagem e depósitos de compostos químicos nos quais se faz necessário um cenário próprio ao bem estar do indivíduo, mantendo boa limpeza e qualidade do ar. O monitoramento simplificado destes locais, permite aos gestores uma resposta rápida a indicadores negativos de qualidade do ar. Por permitir uma comunicação simplificada com a equipe de limpeza e manutenção, utilizá-lo nesse contexto fornece aos gestores uma ferramenta de fácil uso e baixo custo.

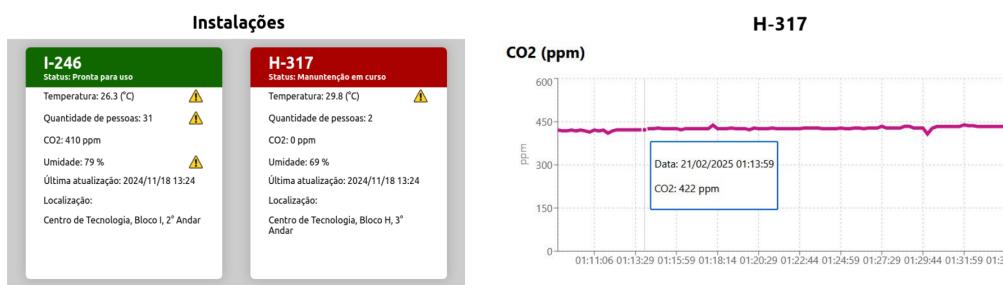


**Figura 2. Expectativa de instalação do SAFE IoT em um ambiente hospitalar**

O painel de monitoramento presente no sistema SAFE IoT permite a visualização das instalações de maneira rápida e fácil, além de fornecer capacidades de abertura de chamado para manutenção e limpeza, vitais para a conservação daqueles ambientes. A possibilidade de utilização por diversos gerentes permite que cada um mantenha o foco nas instalações pelas quais é responsável, auxiliando o processo de monitoramento.

## 5. Avaliação do SAFE IoT

O processo de avaliação do SAFE IoT foi constituído por duas etapas. Inicialmente, foram realizados testes de funcionalidade, para assegurar que todos os requisitos funcionais e não funcionais haviam sido contemplados durante o processo de desenvolvimento. Em seguida, testes de campo foram realizados no âmbito da universidade como prova de conceito, para avaliar a capacidade do dispositivo IoT em coletar os indicadores de biossegurança em uma instalação. Sendo assim, os dispositivos IoT foram instalados em dois laboratórios em prédios distintos dentro da universidade para observação.



**Figura 3. Tela de instalações com dispositivo associado e tela de visualização detalhada acerca de uma instalação**

A instalação dos dispositivos forneceu a coleta de dados periódica (com atualizações de 15 em 15 segundos) dos indicadores de biossegurança de cada instalação.

O painel-resumo de cada instalação permite acompanhar esses indicadores, fornecendo alertas visuais para marcadores que ultrapassem os limites impostos pelo gerente daquela instalação. Ao acessar um desses painéis, são disponibilizados gráficos para cada um desses parâmetros, funcionalidade que permite acompanhar as tendências naquele intervalo de tempo.

## 6. Considerações Finais

Este trabalho apresentou o SAFE IoT para controle de qualidade do ambiente e da saúde. Após testes em campo, foi possível o refinamento no algoritmo de contagem de pessoas, permitindo uma melhor acurácia do sistema. Com a aplicação em ambientes diversos, também foi possível maior robustez na construção do sistema, fornecendo uma melhor adaptabilidade a cenários mais instáveis e com maior fluxo de pessoas. Experimentalmente foi percebido um bom panorama das medições, identificando momentos de uso onde os ambientes estivessem com índices de IAQ baixos.

Como trabalhos futuros, a equipe de pesquisa visa realizar uma avaliação experimental com stakeholders e usuários de diferentes áreas, como profissionais de saúde, a fim de permitir um refinamento relacionado a questões de interatividade e acessibilidade. Além disso, pretende-se realizar a coleta de dados qualitativos para compreender o impacto do sistema e a experiência que ele entrega aos usuários. Por fim, pretende-se implantar o SAFE IoT em diferentes ambientes, de forma que seja possível observar novos usos e, eventualmente, ajustá-lo e evoluí-lo a partir da demanda de novos usuários, clientes e cenários.

## Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no contexto do Edital CAPES-EPIDEMIAS (223038.014919/2020-19), com apoio financeiro da CAPES, FAPERJ e CNPq. Prof. Travassos é pesquisador CNPq e CNE Faperj. O SAFE IoT possui pedido de registro INPI (512025001726-0)

## Referências

- Genésio, V., Rodriguez, L. e Braga, R. (2024). Monipaep: Um sistema para monitoramento de sintomas de doenças endêmicas. In *Anais Estendidos do XXIV Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde*, pages 127–132, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Tan, H., Othman, M. H. D., Kek, H. Y., Chong, W. T., Nyakuma, B. B., Wahab, R. A., Teck, G. L. H. e Wong, K. Y. (2024). Revolutionizing indoor air quality monitoring through iot innovations: a comprehensive systematic review and bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(32):44463–44488.
- WHO (2014). Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments: an evidence-based review prepared for the who training workshop “multiple environmental exposures and risks”, 16-18. In *World Health Organization*, Bonn, Germany.