

ARTIGO COMPLETO/FULL PAPER

# Monitoramento de Data Centers Usando IoT

## Data Centers Monitoring Using IoT

**Greice Welter** • ✉ [greice.welter@setrem.com.br](mailto:greice.welter@setrem.com.br)

Laboratório de Pesquisas Avançadas para Computação em Nuvem, Sociedade Educacional Três de Maio, Brasil (LARCC)

**Adriano Vogel** • ✉ [adriano.vogel@setrem.com.br](mailto:adriano.vogel@setrem.com.br)

Laboratório de Pesquisas Avançadas para Computação em Nuvem, Sociedade Educacional Três de Maio, Brasil (LARCC)

Dynatrace Research, Austria (DT)

**Claudio Schepke** • ✉ [claudioschepke@unipampa.edu.br](mailto:claudioschepke@unipampa.edu.br)

Laboratory of Advanced Studies in Computation, Federal University of Pampa, Alegrete - RS, Brazil (UNIPAMPA)

**RESUMO.** Este artigo investiga a implementação de um sistema de monitoramento para *data centers*, utilizando a Internet das Coisas (IoT) para integrar sensores inteligentes que monitoram continuamente condições ambientais, como temperatura e umidade. A motivação para este estudo surge da necessidade de garantir a eficiência operacional e a segurança dos *data centers*, que enfrentam desafios como a imprecisão dos sensores e a dificuldade de acesso em tempo real aos dados. Trabalhos relacionados apresentam limitações, como a dependência de soluções proprietárias e a falta de flexibilidade de implementação e customização. A proposta deste artigo é desenvolver um sistema automatizado que utiliza sensores DHT22 e All3008 conectados a microcontroladores ESP8266, permitindo a coleta e transmissão de dados em tempo real para um banco de dados em nuvem, o que também possibilita a visualização dos dados com uma interface interativa para os operadores. Os principais resultados obtidos demonstram a eficácia do sistema em monitorar as condições ambientais, contribuindo para um melhor gerenciamento de ambientes computacionais e prevenção de falhas nos equipamentos.

**ABSTRACT.** This article investigates how to implement a monitoring system for *data centers*, using the Internet of Things (IoT) to integrate intelligent sensors that continuously monitor environmental conditions such as temperature and humidity. The motivation for this study arises from the need to ensure the operational efficiency and security of *data centers*, which face challenges such as the inaccuracy of sensors and the difficulty of real-time access to data. Related work has limitations, such as dependence on proprietary solutions and lack of flexibility in implementation and customization. The purpose of this article is to develop an automated system that uses DHT22 and All3008 sensors connected to ESP8266 microcontrollers, allowing data to be collected and transmitted in real-time to a cloud database, which also makes it possible to visualize the data with an interactive interface for operators. The results demonstrate the system's effectiveness in monitoring environmental conditions, contributing to better management of computing environments, and preventing equipment failures.

**PALAVRAS-CHAVE:** Data center • IoT • Monitoramento.

**KEYWORDS:** Data center • IoT • Monitoring.

## 1 Introdução

Um data center é uma infraestrutura complexa que integra diversas áreas, como engenharia civil, elétrica, eletrônica, segurança, TI e telecomunicações, para garantir o funcionamento eficiente dos sistemas computacionais. O sucesso depende de uma arquitetura bem planejada, cumprimento de normas, manutenção de condições ambientais adequadas e monitoramento rigoroso de segurança e operação [1].

A Internet das Coisas (IoT) tem transformado a infraestrutura de TI ao possibilitar a integração de sensores inteligentes que monitoram continuamente as condições ambientais essenciais para a operação segura dos *data centers*. A capacidade de monitorar temperatura e umidade em tempo real é fundamental para

evitar falhas e otimizar o desempenho dos equipamentos. Contudo, muitos sistemas atualmente disponíveis enfrentam desafios, como a imprecisão dos sensores e a dependência de soluções caras e inflexíveis.

Vários estudos têm explorado o monitoramento de *data centers* por meio de diferentes tecnologias. Por exemplo, alguns trabalhos utilizam sensores DHT11 em conjunto com Raspberry Pi para a coleta de dados, enquanto outros implementam sistemas baseados em microcontroladores como o ESP8266. No entanto, esses sistemas frequentemente carecem de flexibilidade. Além disso, muitos não oferecem uma visualização em tempo real, o que limita a capacidade dos administradores de ambientes TI de monitorar, gerenciar e responder rapidamente a condições adversas. Essas limitações

ressaltam a necessidade de um sistema mais acessível, eficiente, adaptável e distribuído.

Este artigo apresenta uma proposta de sistema automatizado de monitoramento para *data centers*, utilizando sensores DHT22 e All3008 conectados a microcontroladores ESP8266. A proposta não se limita à coleta de dados, mas também integra essas informações com um banco de dados, o que permite um monitoramento eficaz e acessível através de *dashboards*. Os resultados obtidos demonstram a eficácia do sistema em manter as condições ambientais dentro dos limites estabelecidos, contribuindo para a gerenciamen-to e eficiência operacional dos *data centers*.

Também é proposta neste trabalho uma arquitetura de distribuída para o sistema de monitoramento, que é implementada com tecnologias *open source*. Isso oferece a flexibilidade para customizar e expandir a arquitetura e também melhora o controle dos dados coletados de acordo com demandas de segurança e privacidade.

Este artigo investiga tecnologias para a implementação de um sistema de monitoramento eficaz, flexível e aberto, integrando a coleta de dados em tempo real com visualização e análise. A integração da arquitetura distribuída com redes de computadores e ambientes computacionais, incluindo nuvens privadas [2] oferece uma visão detalhada sobre o monitoramento de *data centers*. Ao abordar essas questões, o objetivo é desenvolver soluções que promovam acesso prático e transparência no gerenciamento de dados, alinhando-se às necessidades contemporâneas de gestão de *data centers* [3].

O presente estudo contribui com um arquitetura distribuída que integra, através de redes de computadores, sensores e microcontroladores com um ambiente de nuvem. A arquitetura de software distribuída e integrada com IoT oferece acesso prático aos dados coletados e melhor controle do ambiente. O artigo também contribui com uma avaliação experimental da abordagem proposta comparada com um sistema proprietário da Allnet.

Este artigo está dividido em 6 seções. A Seção 2 apresenta o referencial teórico deste estudo. A Seção 3 descreve os trabalhos relacionados deste artigo, enquanto a Seção 4 mostra a implementação da abordagem proposta. Por fim, a Seção 5 exibe os resultados experimentais e a Seção 6 discute a conclusão do artigo.

## 2 Fundamentação Teórica

A norma ANSI/TIA-942, estabelecida pela *Telecommunications Industry Association* (TIA), define requisitos para o projeto, implementação e operação de *data cen-*

*ters* com alta disponibilidade e eficiência energética. Essa norma fornece diretrizes para garantir confiabilidade, segurança e recuperação, abordando aspectos da infraestrutura física, como sistemas elétricos redundantes e resfriamento eficiente. A conformidade com essa norma é essencial para garantir que os *data centers* operem dentro dos padrões de segurança e eficiência exigidos pela indústria. A Internet das Coisas refere-se à rede de dispositivos físicos conectados à Internet, que coletam e trocam dados. No contexto de *data centers*, a IoT permite a implementação de sistemas de monitoramento que garantem eficiência operacional e segurança. A capacidade de monitorar continuamente as condições ambientais, como temperatura e umidade, é crucial para prevenir falhas e otimizar o desempenho dos equipamentos.

A arquitetura de um sistema de monitoramento de *data centers* geralmente inclui a interconexão de sensores, microcontroladores, um banco de dados e uma plataforma de visualização. A comunicação entre esses componentes é gerida por APIs que utilizam tecnologias como Arduino. Essa abordagem não apenas melhora a eficiência do monitoramento, mas também proporciona maior flexibilidade e transparência no gerenciamento dos dados coletados.

Os sensores são componentes essenciais em sistemas de monitoramento. O sensor DHT22, por exemplo, é amplamente utilizado para medir temperatura e umidade devido à sua precisão e confiabilidade. Microcontroladores como o ESP8266 são frequentemente utilizados para coletar dados desses sensores e transmiti-los para um banco de dados em nuvem. Essa configuração permite que os dados sejam acessados em tempo real, facilitando a tomada de decisões informadas.

O armazenamento eficiente de dados é fundamental para a operação de um sistema de monitoramento. *InfluxDB*<sup>1</sup> é um banco de dados otimizado para séries temporais, ideal para armazenar dados coletados de sensores em tempo real, que permite consultas rápidas. O *InfluxDB* é frequentemente integrado com plataformas de visualização de dados, transformando dados em gráficos interativos, permitindo que os operadores do data center monitorem as condições ambientais.

## 3 Trabalhos Relacionados

Estudos sobre monitoramento de *data centers* com IoT destacam abordagens com sensores DHT11 e Raspberry Pi ou microcontroladores como ESP8266. Embora promissoras, essas soluções enfrentam limitações, especialmente na precisão dos sensores (como o DHT11), o que

<sup>1</sup> <https://www.influxdata.com/>

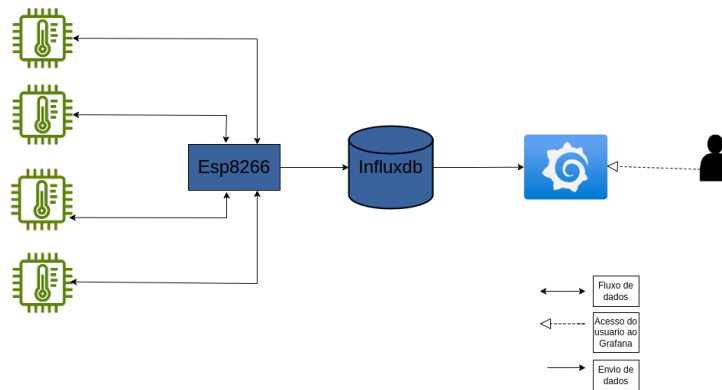


Figura 1. Arquitetura de software proposta.

compromete a confiabilidade dos dados em ambientes críticos, além de dependerem de sistemas proprietários com pouca flexibilidade.

Para superar essas limitações, este trabalho propõe um sistema de monitoramento mais preciso e adaptável, empregando sensores DHT22 e All3008 conectados a ESP8266, integrados ao banco de dados para armazenamento e visualização dos dados, visando um monitoramento eficaz e personalizável para *data centers*.

O estudo [4] enfatiza a relevância do monitoramento contínuo de temperatura e consumo de energia em *data centers*. Os autores propõem um sistema automatizado que utiliza sensores DHT22 para a coleta em tempo real, com a capacidade de enviar alertas ao administrador de TI quando os parâmetros ultrapassam os limites estabelecidos pela ASHRAE (Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado) ou em caso de falhas de energia. A pesquisa adota um modelo de desenvolvimento em cascata, visando aumentar a eficiência e a segurança operacional.

O trabalho de [5] foca em um sistema baseado em IoT para monitoramento de *data centers*, utilizando o sensor MPX5100dp para medir pressão e o sensor DHT11 para coletar temperatura e umidade. microcontrolador ESP8266 é empregado como transmissor e controlador, enquanto o aplicativo Blynk serve como uma ponte MQTT (protocolo de comunicação de dispositivos móveis) para exibir medições e reações em tempo real em dispositivos Android. Este sistema destaca a integração de diferentes sensores e a acessibilidade dos dados em dispositivos móveis.

O estudo de [6] desenvolve um sistema de monitoramento que combina sensores de temperatura e umidade com notificações via WhatsApp. O sistema utiliza um Raspberry Pi para coletar dados e armazená-los em um

banco de dados MySQL, exibindo as informações em tempo real através de gráficos. A pesquisa destaca a importância da comunicação em tempo real e da acessibilidade dos dados para a gestão de *data centers*.

O trabalho [7] desenvolve um sistema de monitoramento de temperatura e umidade para *datacenter* usando IoT, com sensores DHT11 e Raspberry Pi. Os dados são armazenados em um banco MySQL e exibidos em tempo real por gráficos. O sistema também envia notificações via *WhatsApp* se as condições excederem padrões predefinidos.

Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar dois tipos de *hardware*, assim como sua usabilidade e flexibilidade, utilizando um sensor DHT22 e outro sensor nativo All3500v2 do sistema proprietário Allnet. Além de comparar os hardwares e seus respectivos sensores, o estudo também analisa a eficácia do monitoramento em tempo real por meio de *dashboards* e gráficos, oferecendo uma visão detalhada e comparativa do desempenho dos sistemas.

#### 4 Arquitetura e Implementação

O fluxo de dados no sistema é ilustrado na Figura 1. Inicialmente, os sensores DHT22 coletam dados de temperatura, que são enviados ao ESP8266. O sensor DHT22 tem precisão de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e faixa de medição de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  [8]. O microcontrolador central ESP8266 foi escolhido devido a sua conectividade *wireless* e baixo custo. Ele coleta os dados dos sensores e os envia para o banco de dados em nuvem *InfluxDB* via protocolo HTTP. A comunicação entre o ESP8266 e o DHT22 começa quando o ESP8266 envia um pulso de solicitação em nível baixo por  $18\ \mu\text{s}$ , seguido por um pulso em nível alto de 20 a  $40\ \mu\text{s}$ . O DHT22 responde com pulsos de  $80\ \mu\text{s}$  em nível baixo e em nível alto, confirmando que está pronto para enviar os dados de temperatura através da rede.

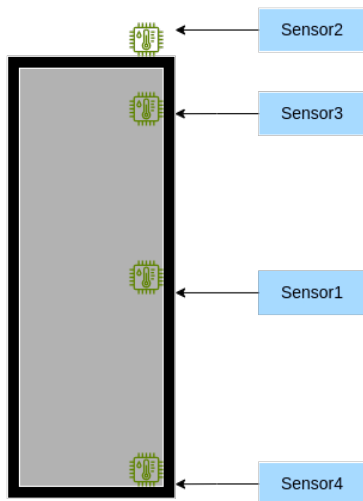


Figura 2. Posicionamento dos sensores no rack de servidores.

Os dados coletados são enviados pela rede e armazenados no banco de dados *InfluxDB*, que é otimizado para séries temporais e ideal para armazenar e monitoramento em tempo real. O banco de dados *InfluxDB* foi escolhido por sua eficiência em lidar com grandes volumes de dados e por oferecer consultas rápidas. Os dados enviados e armazenados no banco de dados podem ser acessados e oferecer uma fonte de dados para visualizações. O código do ESP8266 está disponível no repositório do laboratório.<sup>2</sup>

## 5 Avaliação Experimental

Para avaliar a abordagem proposta na seção 4, foram realizadas coletas de dados e experimentos na infraestrutura do LARCC.<sup>3</sup> Os testes realizados utilizaram sensores posicionados em diferentes locais de um rack de servidor, como mostra a Figura 2. As posições dos sensores são:

1. está na metade interna do rack;
2. encontra-se na base superior externa do rack;
3. fica na parte superior interna do rack;
4. está na parte inferior interna do rack.

Para fins de avaliação, a abordagem proposta foi comparada com a solução proprietária denominada *Allnet*. O dispositivo *Allnet* possui um módulo All4404 que envia os dados dos sensores All3008 para o módulo ALL3500v2, que é responsável pela conexão à rede *wireless*.

Na primeira utilização do *Allnet*, é necessário configurar o sistema, o que gera um *dashboard* próprio no

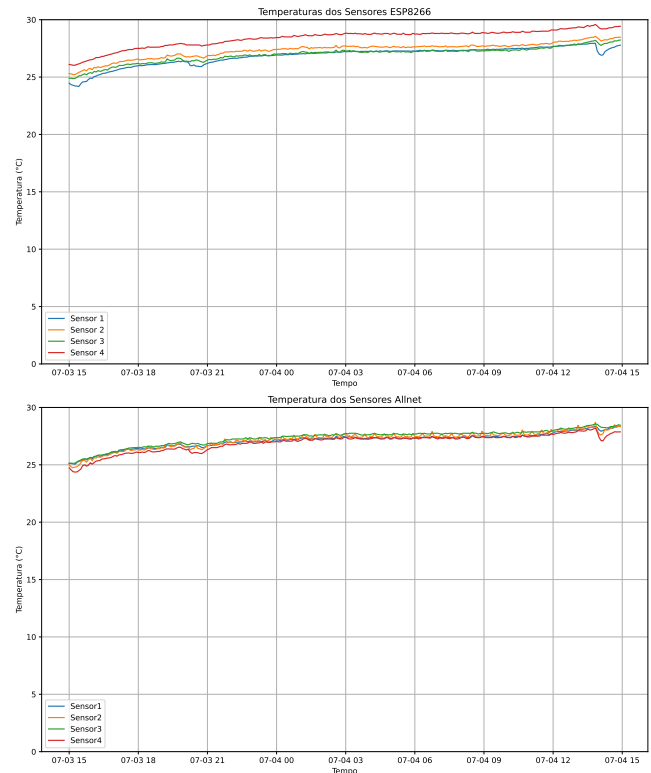


Figura 3. Resultados dos dados de temperatura coletados.

dispositivo com dado em tempo real e armazena os valores internamente em um arquivo CSV. É importante notar que a solução *Allnet* na possui uma arquitetura distribuída para armazenamento e acesso aos dados. Dessa forma, o *Allnet* demanda acesso e cópia manual dos arquivos que contém os dados em formato CSV, tornando a análise de dados menos flexível e produtiva.

A Figura 3 mostra os dados coletados pelos sensores ESP8266 e All3008 durante um intervalo de 24 horas. Comparando as duas abordagens, é possível notar que ambas capturaram as variações de temperatura, que de modo geral aumenta nas primeiras horas, estabiliza e tem uma queda abrupta nas últimas 2 horas do monitoramento.

Os resultados indicam que a temperatura variou conforme o período e entre os sensores utilizados. Contrastes nas leituras de temperatura entre as abordagens avaliadas podem ser causadas pela precisão dos sensores e flutuações nas condições ambientais. No futuro, pretende-se avaliar outros modelos de sensores.

Também é possível notar na Figura 3 que em alguns momentos a temperatura atingiu o limite superior da faixa recomendada pela norma ANSI/TIA-942 (18°C a 27°C). Essa proximidade pode ser considerada crítica, uma vez que temperaturas elevadas podem afetar o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos no *data center*.

<sup>2</sup> <https://github.com/larcc-group/monitoramento>

<sup>3</sup> <http://larcc.setrem.com.br/>

## 6 Conclusão

O artigo avaliou um sistema de monitoramento para *data centers* usando IoT em dois sistemas de monitoramento ambiental em *data centers*: um com ESP8266 e sensores DHT22 e outro proprietário Allnet com sensores All3008. Ambas as abordagens permitem o monitoramento e evidenciam que a temperatura no ambiente oscilou e em alguns momentos atingiu o limite superior recomendado pela norma ANSI/TIA-942. Tal resultado demonstra a importância da abordagem de monitoramento proposta neste estudo e oferece um conhecimento relevante para o gerenciamento do ambiente computacional.

É importante notar que a abordagem proposta na seção 4 integra IoT e nuvem privada, utilizando banco de dados otimizados como *InfluxDB*. Isso permite o armazenamento distribuído e persistente dos dados, também sendo uma abordagem que pode oferecer maior escalabilidade. Os dados armazenados podem ser acessados de forma remota e visualizados para fins de monitoramento em tempo real. Além disso, a abordagem proposta oferece maior flexibilidade no acesso e transparência dos dados coletados no ambiente. Portanto, destaca-se a flexibilidade e o baixo custo da abordagem proposta nesse estudo.

Potenciais trabalhos futuros são análises com *queries* intensivas, otimização de armazenamento e a análise dos dados coletados e armazenados para casos de usos mais avançados como geração de alertas.

A integração de tecnologias *open source* é essencial para a gestão eficiente dos *data centers*. Tal integração combinada com a arquitetura de software distribuída proposta e implementada nesse trabalho possibilitam escalabilidade. A escalabilidade do monitoramento é relevante no contexto de *data centers* maiores. No futuro, pretende-se avaliar os limites de escalabilidade da arquitetura de distribuída proposta bem como protocolos de comunicação alternativos. Além disso, pretende-se estudar no futuro como tolerar falhas na arquitetura e implementação proposta [9].

## Referências

- 1 Soares, M. J. *Data Center-A Importância de Uma Arquitetura*. 2011. Diss. (Mestrado) – Universidade de Evora (Portugal).
- 2 Griebler, D. *et al.* Performance of Data Mining, Media, and Financial Applications under Private Cloud Conditions. *In: IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. Natal, Brazil: IEEE, jun. 2018.
- 3 Teixeira, D.; Vogel, A.; Griebler, D. Proposta de Monitoramento e Gerenciamento Inteligente de Temperatura em Datacenters. *In: 16TH Escola Regional de Redes de Computadores (ERRC)*. Alegrete, Brazil: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. P. 1–8. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/errc/article/view/9209/9112>.
- 4 Sadewa, E.; Beta, S. Temperature, Humidity, and Power Outage Monitoring System of Pamapersada Nusantara's Server Racks. *JAICT*, v. 7, n. 2, p. 90–96, 2022.
- 5 Widodo, A. M. *et al.* Internet of Things (IoT) Based Multi-server Room Temperature and Humidity Monitoring and Automatic Controlling by Using Fuzzy Logic Controller. *In: MIMSE*. Atlantis Press, 2022. P. 76–88. ISBN 978-94-6463-084-8. DOI: 10.2991/978-94-6463-084-8\_9. Disponível em: [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-084-8\\_9](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-084-8_9).
- 6 Kusumah, R.; Islam, H.; Sobur, S. Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis Internet of Things (IoT) Pada Ruang Data Center. *Journal of Applied Informatics and Computing*, v. 7, n. 1, p. 88–94, jul. 2023. DOI: 10.30871/jaic.v7i1.5199. Disponível em: <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JAIC/article/view/5199>.
- 7 Kurniawan, D. E. *et al.* Smart Monitoring Temperature and Humidity of the Room Server Using Raspberry Pi and Whatsapp Notifications. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, v. 1351, n. 1, p. 012006, nov. 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1351/1/012006. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1351/1/012006>.
- 8 Oliveira Júnior, A. J. de *et al.* AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DE MEDIÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR AM2302. *In: IV JORNAL CITEC*. 2015.
- 9 Vogel, A. *et al.* A comprehensive benchmarking analysis of fault recovery in stream processing frameworks. *In: PROCEEDINGS of the 18th ACM International Conference on Distributed and Event-based Systems*. 2024. P. 171–182.