



Nome do projeto: Sistema de Monitoramento de Temperatura e Umidade

Matheus Renato Baganha da Silva

Faculdade de Computação e Informática
Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) – São Paulo, SP – Brazil

10408671@mackenzista.com.br

Abstract. *The project involves creating a system that uses temperature and humidity sensors to continuously monitor and record environmental conditions in a factory or warehouse using an IoT prototyping platform. Data from the sensors will be sent to an interface where operators can view real-time forecasts. Alerts will be set up to notify managers when temperature or humidity levels may exceed established limits.*

Resumo. *O projeto envolve a criação de um sistema que utiliza sensores de temperatura e umidade para monitorar e registrar continuamente as condições ambientais de uma fábrica ou armazém. Usando uma plataforma de prototipagem IoT. Os dados dos sensores serão enviados a uma interface onde os operadores poderão visualizar as medições em tempo real. Alertas podem ser configurados para notificar os responsáveis quando os níveis de temperatura ou umidade ultrapassarem os limites estabelecidos.*

1. Introdução

Com o crescimento das demandas por processos produtivos eficientes e controlados, o monitoramento ambiental dentro de ambientes industriais tornou-se essencial para garantir a qualidade dos produtos e a segurança das operações. Ao longo do tempo, a evolução de sensores e tecnologias IoT permitiu maior precisão no controle de temperatura e umidade. Projetos recentes em armazéns de grãos e na indústria farmacêutica demonstraram sucesso na redução de perdas e danos causados por variações ambientais, utilizando sensores IoT para monitoramento constante e automação de ajustes preventivos.

[...] Segundo Faoro (2019), os grãos dos cereais armazenados também são seres vivos e, da mesma forma procedem a respiração, liberando durante o processo gás carbônico (CO₂), água e calor. Assim, à medida que aumenta a umidade dos grãos, há a consequente liberação de calor da massa de grãos armazenada, comprometendo a conservação dos grãos devido a aceleração do processo respiratório ao aumento da temperatura. (CARVALHO, Fernando; Rodrigues, Luiz, p. 16)

Este projeto busca desenvolver um Sistema de Monitoramento de Temperatura e Umidade que permitirá a coleta e análise contínua dos dados ambientais em instalações industriais. Sensores IoT serão utilizados para monitorar constantemente os níveis de temperatura e umidade, com alertas preventivos, para que assim, uma medida seja tomada o mais rápido possível pela gestão local. O projeto visa aumentar a eficiência operacional, minimizar perdas e garantir conformidade com padrões de qualidade, sendo aplicável a indústrias que dependem de controle ambiental, como alimentos, bebidas e farmacêuticas.

2. Materiais e métodos

Neste projeto, diversos componentes de hardware e software são utilizados para implementar o sistema de monitoramento de temperatura e umidade. Cada item foi cuidadosamente selecionado para garantir a funcionalidade do sistema de prototipagem IoT e permitir o monitoramento contínuo das condições ambientais em ambientes industriais.

2.1. Raspberry Pi 3 Model B+

O Raspberry Pi 3 Model B+ é o microcomputador central do sistema, responsável por processar os dados dos sensores e controlar os atuadores, como o buzzer. Ele possui um processador quad-core ARM Cortex-A53 de 1,4 GHz e conectividade Wi-Fi que será usado no projeto. Este modelo suporta sistemas operacionais baseados em Linux, o que permite a execução de scripts que controlam a coleta de dados e a emissão de alertas.



Figura 1 – Raspberry Pi 3 Model B+. Fonte: RoboCore (2024).

2.2. Sensor DHT11

O Sensor DHT11 é utilizado para medir a temperatura e a umidade do ambiente. Ele é composto por um sensor capacitivo de umidade e um termistor para medir a temperatura do ar. A precisão do DHT11 é de ± 2 °C para temperatura e $\pm 5\%$ para umidade, o que o torna adequado para aplicações que exigem controle ambiental, como armazéns e

indústrias. Ele se comunica com o Raspberry Pi por meio de um protocolo de comunicação digital, fornecendo leituras confiáveis para o monitoramento em tempo real.

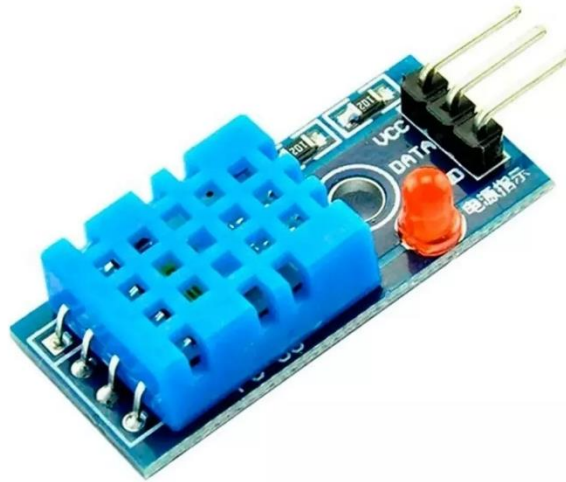


Figura 2 – Sensor DHT11. Fonte: Mercado Livre (2024).

2.3. Buzzer 5V Passivo

O Módulo Buzzer 5V Passivo será utilizado como atuador para emitir alertas sonoros sempre que a temperatura ou a umidade ultrapassar os limites definidos. Este componente é de fácil integração com o Raspberry Pi e pode ser acionado via GPIO (General Purpose Input/Output). Seu sinal sonoro permite que os operadores sejam alertados imediatamente sobre condições ambientais inadequadas.

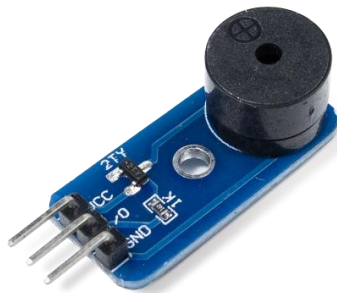


Figura 3 – Buzzer 5V Passivo. Fonte: RoboCore (2024).

2.4. Cartão de Memória MicroSD 32GB Classe 10 Sandisk

O Cartão de Memória MicroSD é utilizado para armazenar o sistema operacional do Raspberry Pi e os dados coletados pelos sensores. Com capacidade de 32GB e classificação Classe 10, o cartão oferece alta velocidade de leitura e gravação, essencial para garantir a fluidez do sistema e o registro contínuo dos dados ambientais.



Figura 4 - MicroSD 32GB Sandisk. Fonte: Kaluga (2024).

2.5. Fonte de Alimentação para Raspberry Pi 12,5W Micro USB

A Fonte de Alimentação de 12,5W é necessária para fornecer energia estável ao Raspberry Pi. Esta fonte de alimentação possui uma saída de 5V e corrente de 2,5A, garantindo o funcionamento eficiente do microcomputador e dos componentes conectados, como o sensor DHT11 e o buzzer.



Figura 5 - Fonte de Alimentação. Fonte: RoboCore (2024).

2.6. Dissipador de Calor para Raspberry Pi

O Dissipador de Calor é um componente essencial para manter o Raspberry Pi em uma temperatura adequada durante o funcionamento prolongado. Ele ajuda a evitar o superaquecimento do processador, que pode ocorrer devido ao uso intensivo no processamento dos dados ambientais. Com a aplicação do dissipador, a vida útil do dispositivo é aumentada, garantindo a confiabilidade do sistema.

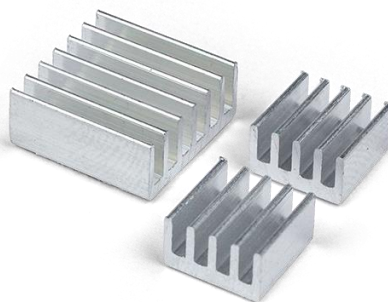


Figura 6 - Dissipador de Calor. Fonte: RoboCore (2024).

2.7. Case para Raspberry Pi 3 Model B

A Case para Raspberry Pi é utilizada para proteger o microcomputador contra danos físicos, poeira e umidade. Feita de plástico resistente, a case mantém o Raspberry Pi seguro, além de facilitar o acesso às portas GPIO, USB e HDMI, necessárias para a conexão com os sensores e a interface de monitoramento.



Figura 7 – Case para Raspberry Pi 3. Fonte: RoboCore (2024).

2.8. Cabo HDMI

O Cabo HDMI será utilizado para conectar o Raspberry Pi a uma televisão ou monitor, permitindo que os operadores visualizem a interface do sistema diretamente na tela. Com suporte para transmissão de vídeo e áudio em alta definição, o cabo é essencial para exibir as informações coletadas pelos sensores em tempo real, facilitando o monitoramento do ambiente industrial.



Figura 8 – Cabo HDMI. Fonte: Mercado Livre (2024).

2.9. Teclado

O teclado será utilizado como dispositivo de entrada para permitir que os operadores interajam diretamente com o Raspberry Pi, digitando comandos e realizando ajustes necessários no sistema de monitoramento. Com conexão USB, o teclado se conecta facilmente ao Raspberry Pi, possibilitando a navegação pela interface e a realização de configurações diretamente, facilitando o controle e a operação do sistema em tempo real.



Figura 9 – Teclado. Fonte: Kabum (2024).

2.10. Mouse

O mouse será utilizado como dispositivo de entrada, permitindo que os operadores naveguem pela interface gráfica do sistema no Raspberry Pi com maior precisão. Com conexão USB, o mouse possibilita o controle de ponteiro, facilitando a seleção de opções, a interação com janelas e a realização de ajustes na interface, complementando o teclado para um controle completo e eficaz do sistema de monitoramento.



Figura 10 – Mouse. Fonte: Kabum (2024).

2.11. Cabos Jumper Fêmea para Fêmea

Os cabos jumper fêmea para fêmea são utilizados para estabelecer conexões elétricas entre o Raspberry Pi e o sensor DHT11 e o Buzzer, garantindo a comunicação entre os dispositivos. Esses cabos são essenciais para a transferência de sinais, permitindo que os dados de temperatura e umidade sejam capturados e processados pelo sistema e que o buzzer receba os sinais para a emissão do alerta. A conexão simples e segura oferecida pelos cabos jumper facilita a montagem e a manutenção do circuito, sendo uma solução prática para projetos de prototipagem e desenvolvimento em eletrônica.



Figura 11 – Cabos Jumper. Fonte: RoboCore (2024).

2.12. Protocolo MQTT

O protocolo MQTT será utilizado para a comunicação entre o Raspberry Pi 3 Model B+ e o servidor responsável por exibir os dados de temperatura e umidade. O MQTT é um protocolo leve de comunicação ideal para aplicações IoT, permitindo a transferência de pequenas quantidades de dados de forma rápida e eficiente. O protocolo opera em um modelo publish/subscribe, onde o Raspberry Pi atua como um publisher, enviando as leituras dos sensores para um broker MQTT, que então distribui essas informações para os subscribers (neste caso, o sistema de monitoramento). Essa abordagem garante que os dados sejam transmitidos com baixo consumo de largura de banda e em tempo real.

2.13. Conectividade Wi-Fi

A conectividade Wi-Fi no Raspberry Pi 3 Model B+ é fundamental para o funcionamento do sistema de monitoramento, permitindo o envio de alertas por e-mail e a comunicação com o broker MQTT. Quando os sensores detectam valores de temperatura ou umidade que excedem os limites pré-estabelecidos, o sistema utiliza a conectividade Wi-Fi para enviar notificações instantâneas por e-mail, garantindo que os operadores sejam informados em tempo hábil para tomar as devidas ações. Além disso, o Wi-Fi permite a conexão com o broker HiveMQ, que gerencia a troca de mensagens entre o Raspberry Pi

e a plataforma de monitoramento. Essa infraestrutura de rede assegura que todas as informações sejam transmitidas de forma eficiente e confiável.

2.14. Método de Implantação

A placa principal utilizada é o Raspberry Pi 3 Model B+, que é responsável pelo controle de todo o sistema de monitoramento ambiental. Ele processa os dados obtidos pelos sensores e controla os atuadores, como o buzzer, que são utilizados para emitir alertas quando os limites de temperatura ou umidade forem ultrapassados. O Sensor DHT11 é empregado para medir a temperatura e umidade do ambiente. Ele se comunica com o Raspberry Pi por meio de GPIOs e cabos Jumper fêmea para fêmea, e fornece dados em tempo real sobre as condições ambientais. Esses dados são enviados para uma interface gráfica, onde operadores podem monitorar continuamente as medições. A integração entre o Raspberry Pi, o sensor DHT11 e o atuador é feita utilizando os pinos GPIO, permitindo a conexão e organização dos componentes eletrônicos. O sistema também usa uma fonte de alimentação de 12,5W, garantindo o fornecimento de energia adequado para o funcionamento contínuo do Raspberry Pi e dos sensores. Além disso, o Buzzer 5V Passivo atua como atuador, emitindo um alerta sonoro quando os limites de temperatura ou umidade forem excedidos, notificando os operadores de que há uma necessidade de ação imediata. Para a comunicação entre o sistema e a interface de monitoramento, o protocolo MQTT é feito utilizando conectividade Wi-Fi com um broker, que será o HiveMQ, a plataforma mais confiável de MQTT. Através do protocolo MQTT, será enviado uma mensagem para os inscritos do sistema quando uma temperatura ou umidade não estiverem com valores ideais, permitindo que os responsáveis sejam notificados instantaneamente em caso de variação ambiental crítica. Além disso, terá um envio de e-mail que utiliza de TCP/IP para ser enviado, o disparo é automático para alertar alguém da gestão local a qualquer momento que a temperatura ou umidade não estiverem em níveis ideais.

2.15. Modelo de Montagem

Foi preparado um modelo aproximado de como deve ser a montagem do projeto, conectando o Raspberry Pi ao sensor DHT11 e ao Buzzer 5V Passivo usando os cabos Jumper fêmea para fêmea para conectar nos GPIOs do Raspberry Pi, além dos demais componentes usados conectividade com a internet, mouse, teclado, fonte de energia, cabo HDMI e cartão SSD.

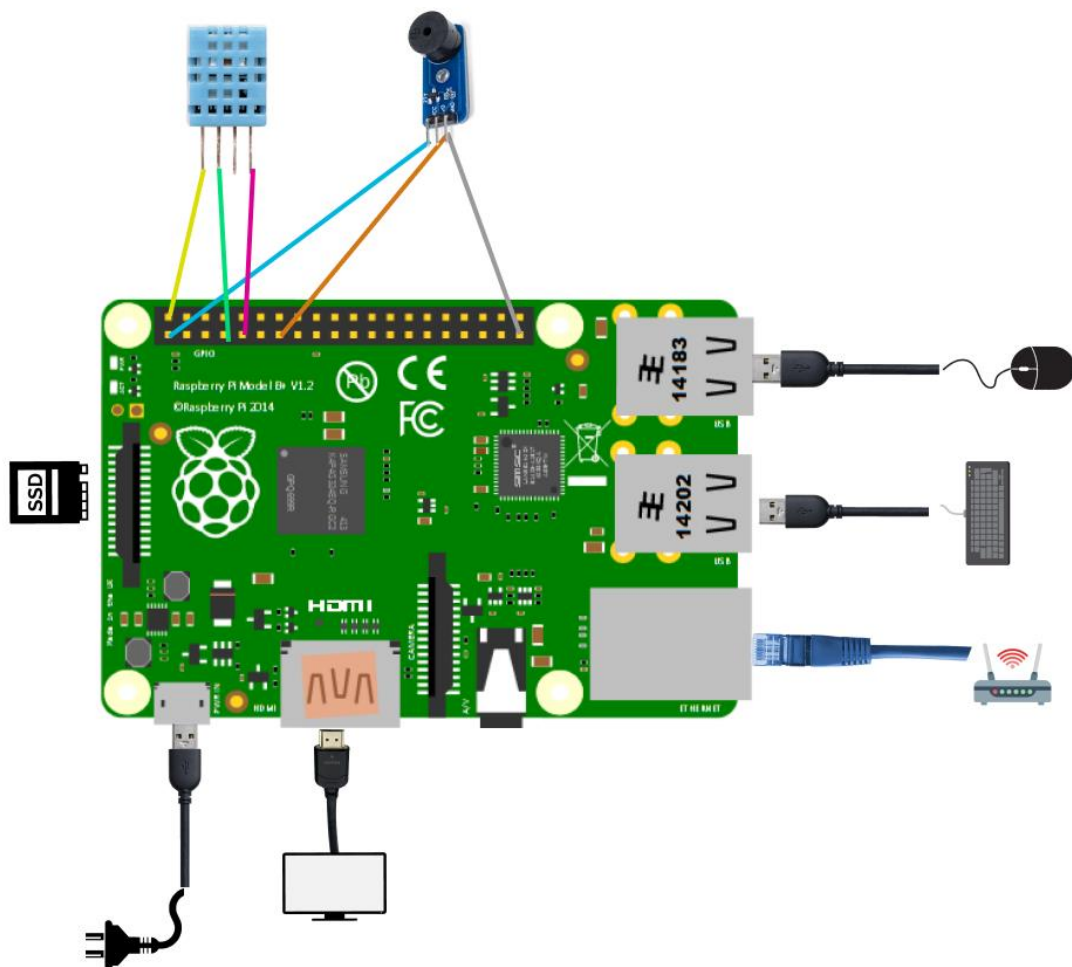


Figura 12 – Modelo de Montagem do Raspberry Pi.

2.16. Fluxograma do funcionamento do sistema.

Foi feito um fluxograma que demonstra o fluxo de como o sistema se comporta em determinadas situações.

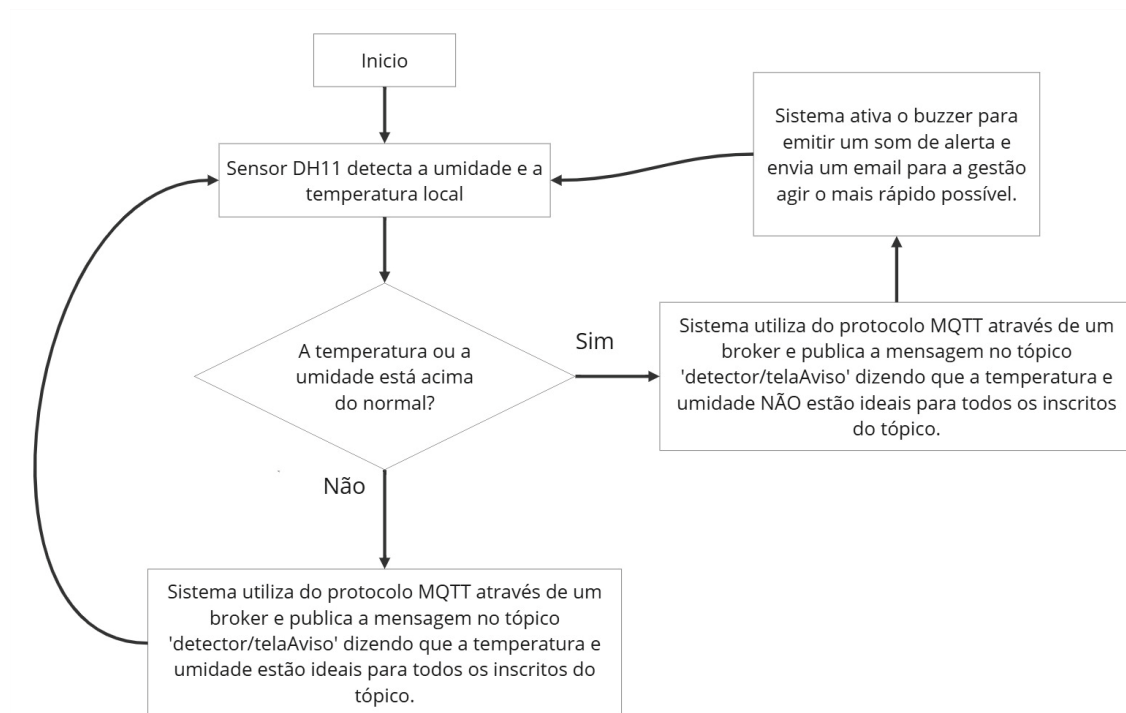


Figura 13 – Fluxograma de Funcionamento do Sistema.

3. Resultados

Os resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema de monitoramento de temperatura e umidade foram satisfatórios e demonstraram a consistência e funcionalidade da solução proposta. O protótipo mostrou-se capaz de monitorar a temperatura e a umidade do ambiente de forma precisa e em tempo real, validando a utilização do sensor DHT11 e do Raspberry Pi 3 Model B+ para essa finalidade. O sistema enviou alertas automáticos por e-mail e notificações via protocolo MQTT sempre que os níveis configurados para temperatura ou umidade foram excedidos, garantindo uma resposta rápida e eficiente a condições fora do esperado. Além disso, o uso do buzzer como atuador reforçou o aspecto prático do projeto, oferecendo uma forma imediata de alerta sonoro local. Os testes realizados destacaram a confiabilidade na coleta de dados e na transmissão das informações por meio do protocolo MQTT, demonstrando que a comunicação entre o hardware e o broker foi bem-sucedida, mesmo sob diferentes condições de rede. O tempo de resposta médio do sensor e do atuador foi avaliado, revelando uma operação suficientemente rápida para atender a aplicações em tempo real, com margens adequadas para otimização em versões futuras do projeto. Esses resultados confirmaram a viabilidade do sistema para aplicações de monitoramento de condições ambientais, tornando-o útil em diversos cenários, como ambientes industriais, agrícolas e domésticos. Além disso, os dados coletados são facilmente escaláveis para integração com dashboards mais avançados ou plataformas de análise de dados, ampliando o potencial do protótipo para atender a demandas mais complexas.

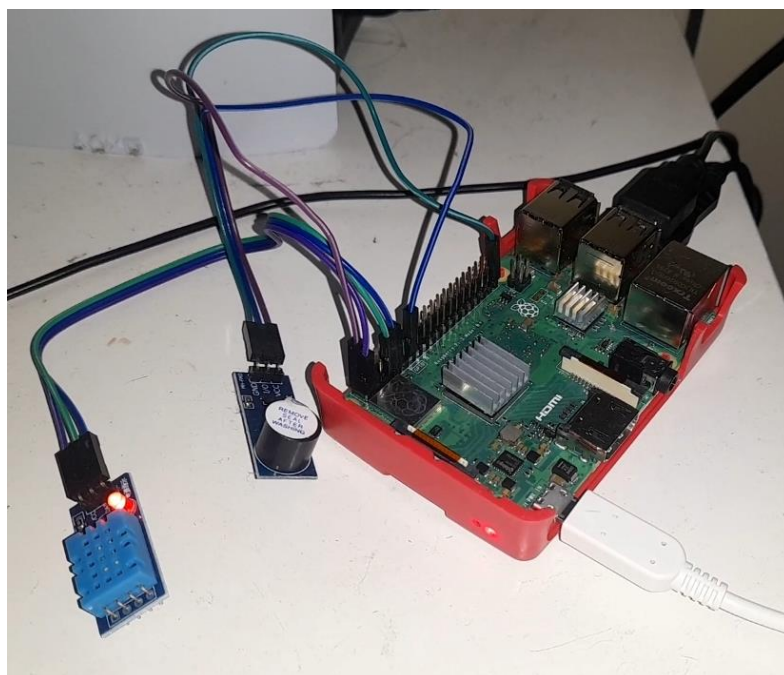


Figura 14 – Protótipo em funcionamento.

3.1 Testes Realizados

Foram realizados testes de leitura do sensor DHT11 em diferentes condições de temperatura e umidade. Os valores coletados foram comparados com medições de referência, e o sistema apresentou resultados dentro da margem de erro do sensor, validando sua precisão para o monitoramento contínuo de condições ambientais. Outro aspecto testado foi o sistema de envio de alertas. O sistema foi configurado para enviar um e-mail e uma notificação MQTT quando os limites de temperatura e umidade eram excedidos. Todos os alertas foram enviados corretamente, com tempo de entrega de poucos segundos, demonstrando que o sistema é confiável e pode ser implementado em um cenário real. Em termos de tempo de resposta, os testes realizados demonstraram que o sistema detecta rapidamente as mudanças nos valores de temperatura e umidade. Medimos o tempo médio entre a leitura do sensor e o acionamento do buzzer e o envio de alertas via e-mail e plataforma MQTT. As medições indicaram que o tempo de resposta entre a detecção de valores críticos e a ação do sistema foi adequado para monitoramento em tempo real. Foram realizadas quatro medições para cada ação, resultando em tempos médios de resposta satisfatórios.

```

matheus@raspberrypi:~/Desktop/Projeto S node index.js
Temperatura: 26°C, Umidade: 73%
Tempo de resposta do sensor: 43 ms
E-mail de alerta enviado com sucesso!
Mensagem "Alerta! A temperatura excedeu o limite: 26°C" publicada no tópico "detector/telaAviso"
Tempo de resposta do atuador (buzzer ligado): 92ms
Temperatura: 26°C, Umidade: 74%
Tempo de resposta do sensor: 1087 ms
E-mail de alerta enviado com sucesso!
Mensagem "Alerta! A temperatura excedeu o limite: 26°C" publicada no tópico "detector/telaAviso"
Tempo de resposta do atuador (buzzer ligado): 87ms
Temperatura: 26°C, Umidade: 75%
Tempo de resposta do sensor: 41 ms
E-mail de alerta enviado com sucesso!
Mensagem "Alerta! A temperatura excedeu o limite: 26°C" publicada no tópico "detector/telaAviso"
Tempo de resposta do atuador (buzzer ligado): 82ms
Temperatura: 26°C, Umidade: 74%
Tempo de resposta do sensor: 41 ms
E-mail de alerta enviado com sucesso!
Mensagem "Alerta! A temperatura excedeu o limite: 26°C" publicada no tópico "detector/telaAviso"
Tempo de resposta do atuador (buzzer ligado): 77ms
^C
matheus@raspberrypi:~/Desktop/Projeto S

```

Figura 15 – Medições feitas pelo programa.

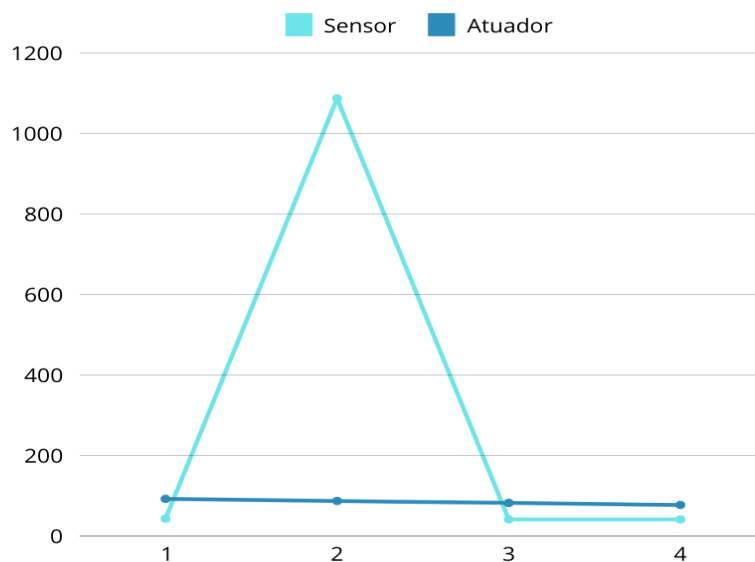


Figura 16 – Gráfico de linhas da medição do sensor e atuador.

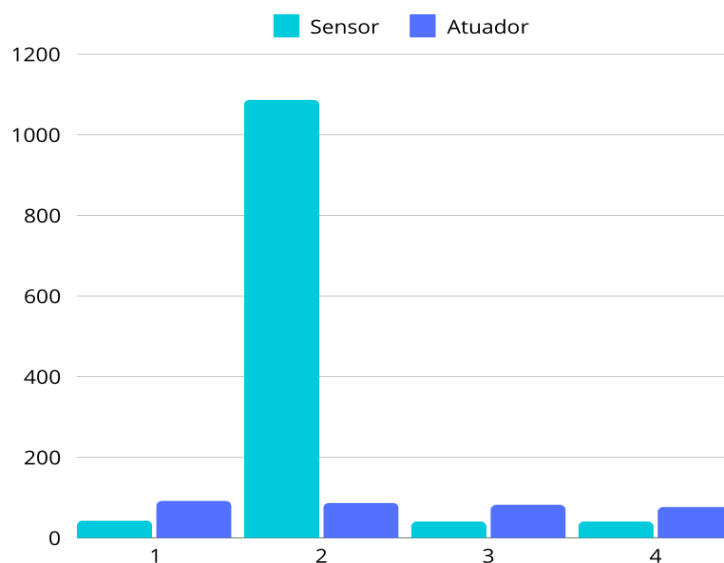


Figura 17 – Gráfico de barras da medição do sensor e atuador.

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos durante a execução do protótipo. Ela possui quatro medições para cada sensor e atuador, respectivamente. Na tabela, podemos ver a ordem das medições, o que foi analisado e o tempo de resposta obtido. Com base na tabela, o cálculo da média de resposta do sensor é 303 ms, enquanto a média de resposta do atuador é 84,5 ms.

Tabela 1 – Tempo de resposta de cada ação do sensor e do atuador durante o funcionamento.

Núm. medida	Sensor/atuador	Tempo de resposta
1	Sensor	43ms
2	Sensor	1087ms
3	Sensor	41ms
4	Sensor	41ms
1	Atuador	92ms
2	Atuador	87ms
3	Atuador	82ms
4	Atuador	77ms

Video do Protótipo:

<https://youtu.be/BHU88uXJwII>

Repositório do Github:

<https://github.com/MatheusBaganha/Sistema-de-Monitoramento-de-Temperatura-e-Umidade>

4. Conclusões

Este projeto atingiu com êxito o objetivo de monitorar temperatura e umidade em tempo real, utilizando um sistema de baixo custo e fácil replicação. A coleta de dados ambientais foi realizada com precisão pelo sensor DHT11, e os alertas automáticos foram enviados prontamente via e-mail e plataforma MQTT, reforçando o potencial de utilização deste protótipo em monitoramentos industriais e domésticos.

4.1 Os objetivos propostos foram alcançados?

Sim, todos os objetivos iniciais foram cumpridos. O sistema detectou variações nos níveis de temperatura e umidade conforme esperado, acionando o buzzer e notificando o usuário por meio de alertas quando os parâmetros ultrapassavam os limites estabelecidos. A comunicação via MQTT também foi implementada com sucesso, provendo uma camada adicional de notificação e facilitando a integração com outros sistemas.

4.2 Quais são os principais problemas enfrentados e como foram resolvidos?

Os principais desafios durante o desenvolvimento envolveram questões de compatibilidade com bibliotecas Node.js e dificuldades com a configuração do buzzer no Raspberry Pi. A instalação e o downgrade da versão do Node.js para compatibilidade com a biblioteca 'onoff' foram necessários para o funcionamento do código. Já para o buzzer, a substituição para um modelo passivo simplificou o controle via código, viabilizando o funcionamento de forma mais eficiente e sem a necessidade de componentes adicionais.

4.3 Quais são as vantagens e desvantagens do projeto?

A principal vantagem deste projeto é sua simplicidade e custo acessível, permitindo que o sistema seja facilmente replicado para monitoramento ambiental em diferentes contextos. A utilização do Raspberry Pi como controlador e a integração com MQTT proporcionam um sistema versátil e escalável. Entre as desvantagens, destaca-se a limitação de precisão do sensor DHT11, que, apesar de adequado para o protótipo, poderia ser substituído por sensores mais precisos em uma versão futura.

4.4 O que deveria/poderia ser feito para melhorar o projeto?

Para aprimorar o sistema, recomenda-se a utilização de sensores mais precisos para ambientes que requerem medições rigorosas de temperatura e umidade, como o DHT22 ou sensores digitais avançados. Além disso, seria interessante explorar a implementação de uma interface gráfica para monitoramento em tempo real, facilitando a visualização e o controle do sistema em ambientes com múltiplos usuários. Outras melhorias poderiam incluir a otimização do tempo de resposta e a adição de funcionalidades de armazenamento de dados, possibilitando uma análise histórica dos parâmetros ambientais monitorados.

5. Referências

CARVALHO, Fernando; RODRIGUES, Luiz. **Um sistema de informação para monitoramento de qualidade e estimativa de perdas em instalações de armazenamento de grãos usando dados de sensores de IoT e outros mecanismos.** Seer, 2023. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rbca/article/view/13778>. Acesso em: 05 set. 2024.

ROBOCORE. **Raspberry Pi 3 Model B+.** Disponível em: <https://www.robocore.net/placa-raspberry-pi/raspberry-pi-3-model-b-plus>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Sensor DHT11.** Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3801458330-modulo-sensor-dht11-temperatura-e-umidade-arduino-pic- JM>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Buzzer 5V Passivo.** Disponível em: <https://www.robocore.net/atuador-rele/modulo-buzzer-5v-passivo/>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **MicroSD 32GB Sandisk.** Disponível em: <https://www.kalunga.com.br/prod/cartao-de-memoria-micro-sd-32gb-sdsqunr032-sandisk-bt-1-un/249422>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Fonte de Alimentação.** Disponível em: https://www.robocore.net/acessorios-raspberry-pi/fonte-raspberry-pi-12_5w-micro-usb/. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Dissipador de Calor.** Disponível em: <https://www.robocore.net/raspberry-pi/dissipador-de-calor-para-raspberry-pi/>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Case para Raspberry Pi 3.** Disponível em: <https://www.robocore.net/acessorios-raspberry-pi/case-para-raspberry-pi-3-model-b/>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Cabo HDMI.** Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/cabo-hdmi-a-hdmi-1-metro-1080p-mm-full-hd-tv-pc-lcd-led/p/MLB34179628>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Teclado.** Disponível em: https://www.kabum.com.br/produto/498360/teclado-gamer-motospeed-k70l-padrao-abnt2-kg-70l-bk-me-abnt2?utm_id=21416437422&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3Na5BhAZEiwAzrfagPnlJUqzwMY6rgsdUWhOSI_IQVq25CWxa_QTmIYFhltEOCrmiyxclRoCig0QAvD_BwE. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Mouse.** Disponível em: <https://www.kabum.com.br/produto/112948/mouse-gamer-logitech-g203-lightsync-rgb-efeito-de-ondas-de-cores-6-botoes-programaveis-e-ate-8-000-dpi-preto-910-005793>. Acesso em: 24 set. 2024.

ROBOCORE. **Cabos Jumper.** Disponível em: https://www.robocore.net/cabo/jumpers-femea-femea-x40-unidades?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA_9u5BhCUARIsABbMSPscFBCXcC8-nDg14t3WAXt3CFXS2YYDqiTv6L_iLudse7Oj_OCujikaAr8tEALw_wcB. Acesso em: 24 set. 2024.