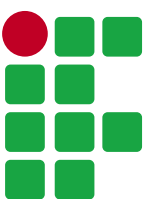


Cristofer Gaier Sais

SISTEMA DE ANÁLISE E MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS AMBIENTES EM UNIDADES FRIGORÍFICAS

Rio Grande(RS)

2022



Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas

Cristofer Gaier Sais

Orientador: Prof. Rogério Malta Branco

Coorientador: Prof. Ivoni Carlos Acunha Junior

Resumo

O presente documento visa apresentar o trabalho desenvolvido na construção do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas*. Este projeto visa integrar módulos de monitoramento de variáveis ambientais, situados em diversos lugares próximos a instalações frigoríficas, com um supervisor Web de alta disponibilidade através do conceito *IOT*. Possibilitando o acesso ao supervisor através de qualquer dispositivo e gerando notificações em casos de anormalidades nos valores coletados. Assim facilitando o acesso à informação por parte dos usuários e fornecendo dados em tempo real e relatórios que poderão contribuir para a eficiência do consumo energético dentro de uma unidade frigorífica.

Palavras Chave: Supervisor Web. Automação Industrial. *IOT*. Eficiência energética.

Abstract

The purpose of this document is to present the work developed in the construction of the *Ambient Variables Monitoring System in Cold Storage Units*. This project aims to integrate monitoring modules for environmental variables, located in different places close to refrigeration facilities, with a high availability Web supervisor through the *IOT* concept. Enabling access to the supervisory through any device and generating notifications in cases of abnormalities in the collected values. Thus facilitating access to information by users and providing real-time data and reports that can contribute to the efficiency of energy consumption within a refrigeration unit.

Keywords: IFRS-Rio Grande. Industrial Automation. TCC. Template. LaTeX.

1 Introdução

As instalações de refrigeração dentro uma planta industrial são tipicamente uma das principais consumidoras de energia. Sistemas industriais de refrigeração, dentro de uma unidade frigorífica, são constituídos por diferentes componentes, incluindo compressores, evaporadores, condensadores e diversos outros elementos de controle.

Em uma planta frigorífica, normalmente os equipamentos não proporcionam o melhor desempenho possível, sendo observados desvios significativos entre as condições reais de operação e as condições de projeto. Logo, o sistema de refrigeração pode não atuar com seu melhor desempenho, resultando em baixa eficiência operacional e custos operacionais elevados. Entretanto, os tais sistemas podem se beneficiar de um processo de otimização que incorpore o monitoramento dos parâmetros operacionais importantes, que poderão resultar em ajustes de controle posteriores ou alterações no sistema operacional com base nos dados avaliados.

A proposta deste projeto é construir um sistema capaz de monitorar variáveis ambientes que influenciem diretamente no modo de atuação da planta frigorífica e possam servir como parâmetros para decisões de atuações futuras, de modo a melhorar o desempenho do sistema a fim de reduzir o consumo de energia elétrica dos sistemas de refrigeração de todos os portes.

1.1 Justificativa

1.2 Objetivos

Este projeto tem como objetivo geral a construção de um sistema de análise e monitoramento de variáveis ambientes em unidades frigoríficas, capaz de coletar, armazenar e disponibilizar dados referentes à temperatura ambiente, umidade relativa do ar e pressão atmosférica de determinados locais, a fim de fornecer dados que colaborem para a eficiência energética do processo de refrigeração. Para tanto, são necessários os seguintes objetivos específicos:

- Programação do módulo microcontrolado (ESP-01) na etapa de aquisição de dados;
- Elaboração e construção da placa de circuito impresso para aquisição de dados;
- Desenvolvimento do invólucro do módulo de aquisição de dados;
- Configuração e construção dos supervisórios na plataforma ThingsBoard;
- Realizar envio dos dados coletados ao ThingsBoard via protocolo MQTT;

- Analisar consumo de energia do microcontrolador em modo de baixo consumo (Modem Sleep).

2 Fundamentação Teórica

2.1 Internet das Coisas (IoT)

O conceito de Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) foi fundamental para a elaboração e construção deste projeto, pois por meio da computação de baixo custo, nuvem, big data, análise avançada e tecnologias móveis, dispositivos físicos podem compartilhar e coletar dados com o mínimo de intervenção humana. Na indústria, a internet das coisas une máquinas inteligentes e análise de dados avançada. O objetivo é desenvolver sistemas mais eficientes e ágeis que monitoram, coletam, alteram, analisam e entregam dados fundamentais para decisões rápidas e certas, onde os sistemas digitais podem gravar, monitorar e ajustar cada interação entre itens conectados ([ORACLE, 2019a](#)). Neste projeto, os sensores são considerados como dispositivos, o Wi-Fi como a rede de comunicação e a plataforma ThingsBoard Demo ([THINGSBOARD, 2021](#)) como sistema de controle, visto que este é responsável pela hospedagem e disponibilidade do Broker que permite os dados possam ser processados e consequentemente armazenados. Além disso, o *ThingsBoard* disponibiliza diversas ferramentas que permitem o monitoramento em tempo real e a análise do histórico dos dados coletados pelos dispositivos instalados em campo.

2.2 Transporte por Telemetria de Enfileiramento de Mensagens (MQTT)

Desenvolvido em meados de 1990 pela IBM e Eurotech, o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) e tendo tradução para português sob o nome de Transporte por Telemetria de Enfileiramento de Mensagens é um protocolo de mensagens que foi criado visando oferecer um baixo consumo de rede, banda e também dos demais recursos de software. O formato utilizado no *MQTT* é de Cliente/Servidor. Por esse motivo e também por ter fundamentos na pilha *TCP/IP* ou em outros protocolos de rede, o *MQTT* tem extrema utilidade na área de desenvolvimento de projetos de comunicação entre máquinas, também conhecido pelo termo M2M (*Machine to Machine*) e, principalmente, para conectividade de IoT (Internet of Things) ([SANTOS, 2022](#)).

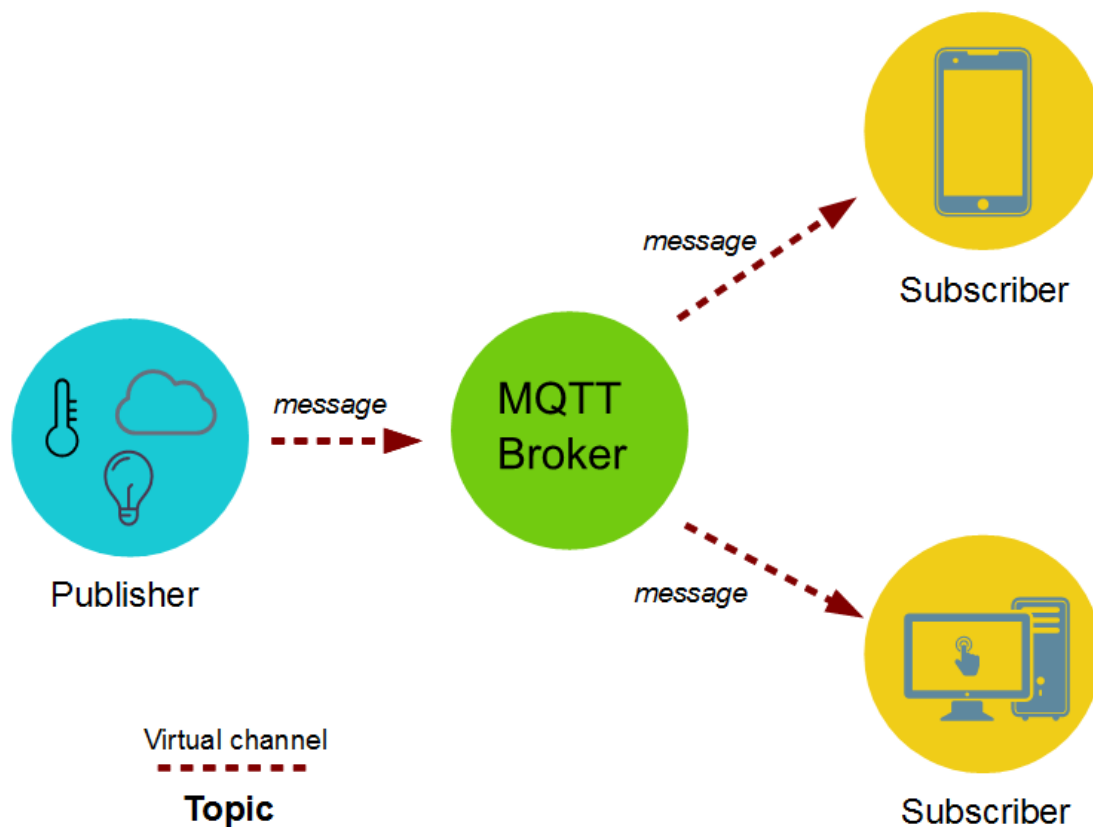
A estrutura de funcionamento do Protocolo MQTT utiliza um modelo de *Publish/-Subscribe*, conforme ilustrado na Figura 1, o qual permite que o cliente faça postagens e/ou receba informações enquanto o servidor irá administrar esse envio e o recebimento dos respectivos dados. Portanto, em um MQTT haverá um publicador, responsável por publicar as mensagens em um determinado tópico onde um assinante poderá inscrever-se para po-

der acessar a mensagem. Como não há uma conexão direta entre o assinante e o publicador, para que essas mensagens aconteçam, o protocolo MQTT irá precisar de um gerenciador de mensagens chamado de *Broker*.

Cabe mencionar, ainda, que o protocolo MQTT oferece um alto nível de segurança. Geralmente, as mensagens transmitidas através do *Message Queuing Telemetry Transport* são protegidas através do uso de certificado SSL (*Secure Socket Layer*) com criptografias avançadas. Também existem algumas configurações de qualidade do serviço, conhecido como *Quality of Service (QoS)*. Esse aumenta a confiabilidade, já que garante a entrega da mensagem. O QoS vai de uma escala de 0 a 2, onde 0 não possui confirmação de entrega da mensagem entre Publish e Subscribe e não armazena mensagem para retransmissão, 1 já possui a confirmação de entrega e o 2 garante a entrega da mensagem com confirmação de recebimento (VIEIRA, 2021).

Portanto, o MQTT suporta diversos tipos de mecanismos para proteção de informações e de autenticações que podem ser configurados com facilidade pelo próprio cliente diretamente no Broker.

Figura 1 – Diagrama de funcionamento do protocolo MQTT



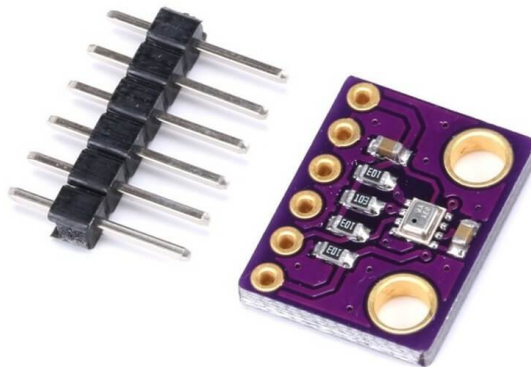
2.3 Sensores

O sensor é um dispositivo com a função de detectar e responder com eficiência algum estímulo. Existem diversos tipos e modelos de sensores que respondem a estímulos diferentes como, por exemplo: calor, pressão, movimento, luz e outros. Ao receber o estímulo, a sua função é emitir um sinal que seja capaz de ser convertido e interpretado pelos outros dispositivos ([MATTEDE, 2016](#)). Conforme já relatado, o módulo de aquisição de dados do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas* terá dois sensores responsáveis pela aquisição de dados das variáveis ambientais, que serão monitoradas em determinados intervalos de tempo neste projeto. Os sensores são: o BMP280 (responsável pela leitura de pressão atmosférica e temperatura) e o DHT11(responsável pela leitura de temperatura e umidade relativa do ar). Esses sensores irão se comunicar com o microcontrolador ESP8266 do módulo ESP-01 que conta com microprocessador ARM de 32 bits com suporte embutido à rede Wifi e memória flash integrada ([FULLER, 2022](#)).

2.3.1 BMP280

O sensor de pressão e temperatura BPM280, ilustrado na Figura 2, é o sucessor do BMP180, com ganhos em termos de precisão e consumo de energia, além do tamanho 63% menor, tornando comum o seu uso em dispositivos móveis e portáteis. Assim como o seu antecessor, o BMP280 possui um sensor de temperatura embutido, reduzindo o número de componentes e conexões necessárias a um projeto. Além disso, o módulo BMP280 funciona com interfaces I²C ou SPI e tensão de alimentação de 3V, sendo que o baixo consumo de energia permite o funcionando por longos períodos com alimentação por bateria, sendo indicado para projetos como drones, estações meteorológicas, dispositivos com GPS e relógios ([FILIPEFLOP, 2021](#)).

Figura 2 – BMP280 ([FILIPEFLOP, 2021](#))

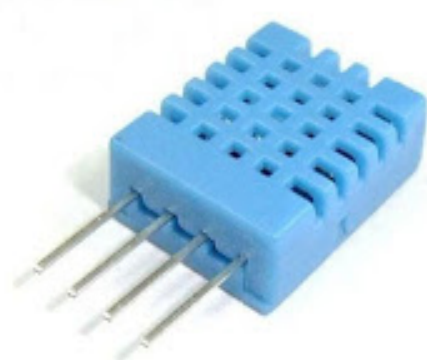


A utilização desse sensor na construção do protótipo se dá devido, principalmente, ao baixo consumo energético, baixo custo-benefício, e excelente qualidade para trabalhar com o requisitos propostos pelo ambiente de trabalho onde o módulo de captação de dados estará alocado, já que o sensor possui as seguintes características técnicas: consumo de corrente de $2.7\mu\text{A}$, faixa de medição pressão de 300 - 1100hPa (equivalente a +9000 à - 500 m acima/abaixo do nível do mar), precisão de $\pm 0.12\text{hPa}$ (equivalente a ± 1 m), faixa de temperatura de -40 à 85 °C, precisão temperatura de ± 1.0 °C e dimensões de 15 x 12 x 2,3mm (sem os pinos de conexão). Além de desempenhar o papel fundamental de monitorar duas variáveis extremamente importantes para fomentar as análises de eficiência energética dos CONDENSADORES.

2.3.2 DHT11

O DHT11 é um sensor de umidade e temperatura, ilustrado na figura 3, que permite medir temperaturas de 0 a 50 °C e umidade relativa do ar na faixa de 20 a 90%. Sua faixa de precisão para temperatura é de 2 °C, e de umidade, 5%. Além disso, DHT11 é um sensor de baixo custo que usa um medidor capacitivo para medir a umidade e um termistor para medir a temperatura ambiente. (BABOS, 2021).

Figura 3 – DHT11 (BABOS, 2021)



A presença desse sensor no módulo de aquisição de dados do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais em Unidades Frigoríficas* é essencial para a coleta de umidade relativa do ar, já que possui uma faixa de medição ideal para o local onde ele será utilizado, em ambientes externos, dentro de uma unidade frigorífica. Além dos itens supracitados, estas são suas características técnicas: tensão de alimentação de 3 - 5V, consumo de corrente correspondente a 200uA — 500mA (em standby de 100uA — 150 uA).

2.4 ESP8266 ESP-01

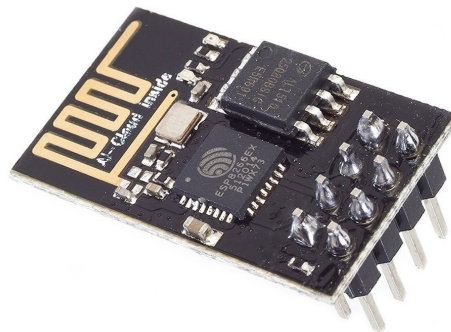
O Módulo WiFi ESP-01 oferece uma solução WiFi *SoC* (sistema em um chip) fácil de usar para atender às demandas contínuas de uma solução amigável, compacta e confiável, já que o mesmo possui um microcontrolador embutido. Assim, podemos programar diretamente

este pequeno chip para uma vasta gama de problemas na Indústria, que estejam relacionadas à Internet das Coisas (*IoT*), considerando que o microcontrolador integra uma antena, Rf Balun, amplificador de energia, filtros e módulo de arranjo de energia, assim facilitando sua utilização em uma grande escala de projetos, já que o ESP pode realizar o acesso às redes domésticas ou industrial de WiFi, sem necessitar de módulos e componentes adicionais para realizar tal conexão (ALI, 2019).

O módulo WiFi ESP8266-01 também possui uma versão atualizada do processador *L106 Diamond série L106 Diamond da Ten e do SoC SRAM*, permitindo fácil interligação com sensores externos e outros dispositivos através dos *GPIOs* (FULLER, 2022).

A escolha pela utilização desse microcontrolador na construção desse projeto, se dá, principalmente, pelas suas características em relação ao baixo custo-benefício de implementação e baixo consumo de energia. Levando isso em consideração, foi implementado o *LightSleep*, através da biblioteca *Machine* em *Micropython*, a qual permite que o Rádio WiFi/Wireless e Clock interno sejam desligados. A CPU fica pendente. Com este modo, é possível acordar a CPU com um sinal enviado (*HIGH/LOW*) para um pino definido no software, continuando seu código normalmente. Como o anterior, este modo também possui o *Automatic sleep*, que faz o MCU dormir entre os intervalos do DTIM. Nesse período, o módulo consome em torno de apenas 400uA (MORAIS, 2017).

Figura 4 – ESP8266 ESP-01 (FULLER, 2022)

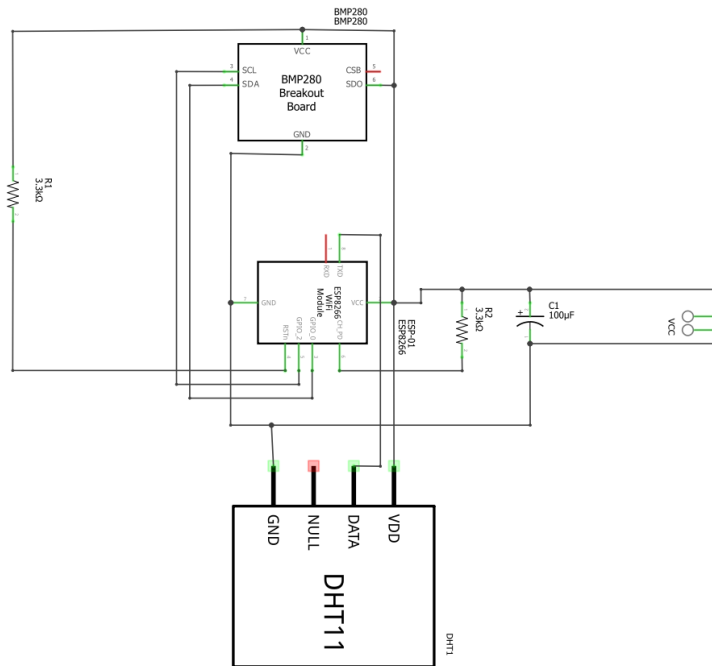


3 Projeto e implementação

Esta seção visa expor a ideia geral de funcionamento do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais* desenvolvido, explicando a comunicação entre o módulo de aquisição de dados (Figura 5) com a interface web. Assim, a solução proposta por este projeto é composta pela instalação de módulos em campo, compostos pelos seguintes sensores: BMP280 (sensor de temperatura e pressão) e DHT11 (sensor de temperatura e umidade relativa do ar). Esses são responsáveis por coletar os dados e enviá-los para o microcontrola-

dor ESP-01, encarregado de tratar e realizar o envio dos dados coletados para a plataforma *ThingsBoard* através do protocolo de comunicação *MQTT* em intervalos regulares. Além disso, todos os componentes de cada módulo instalado em campo serão alimentados por uma bateria de lítio de 3,7 Volts. A proposta é que todos os componentes do módulo possam ser facilmente substituídos, visando facilitar possíveis manutenções futuras, para isso todos os principais componentes do circuito elétrico do módulo não foram soldados diretamente na placa, mas sim encaixados em seus respectivos conectores, conforme ilustrado nas Figuras @@. Cabe ressaltar que foi desenvolvido um invólucro de proteção contra chuva para a proteção dos módulos que estarão situados em áreas descobertas.

Figura 5 – Diagrama do circuito do módulo de aquisição de dados

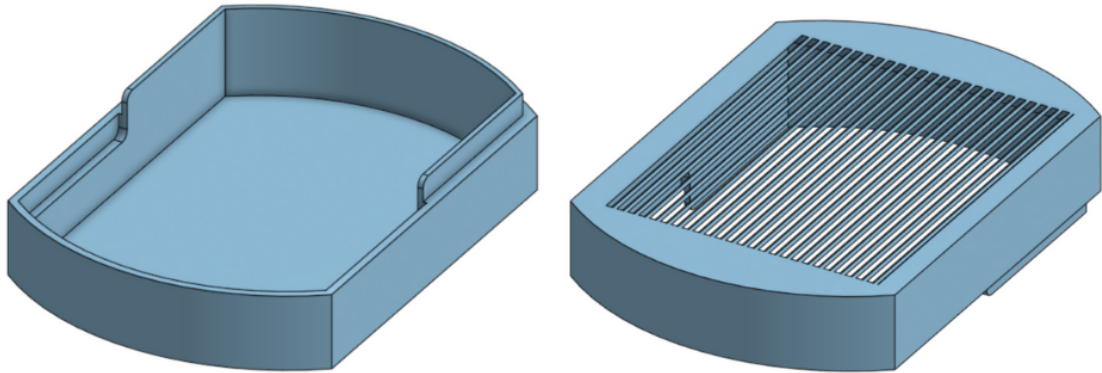


3.1 Plataforma Onshape e Desenvolvimento do Invólucro

A plataforma de desenvolvimento de produto *OnShape SaaS* (*Software as a Service*) e o processo de impressão 3D (três dimensões) foram os meios que tornaram possível a concretização da ideia de um módulo de aquisição de dados resistente à chuva e capaz de desempenhar com excelência suas funções em diversos tipos de ambiente dentro de uma unidade frigorífica. SaaS é uma solução para usar um software baseado em nuvem como se fosse um serviço onde o cliente paga pelo acesso (BRASIL, 2018). O Onshape (ONSHAPE, 2021) é um sistema CAD (Computer Aided Design) para desenvolvimento de produtos que permite ilustrar ideias e produzi-las por meio da manufatura aditiva. Ele pode ser utilizado em qualquer dispositivo móvel e vários usuários podem trabalhar concomitantemente em um mesmo projeto. Além disso, a plataforma oferece ferramentas avançadas de modelagem e projeta o gerenciamento de dados em um espaço de trabalho seguro na nuvem com alta disponibilidade e segurança. Vale ressaltar que a versão estudantil da plataforma foi utilizada

para criar as projeções 3D do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais* (Figura 6), o que significa que cada criação é aberta ao público e pode ser baixada.

Figura 6 – Projeto do invólucro no OnShape



As peças projetadas e impressas para este projeto foram: uma base lisa para o invólucro e outra peça similar a essa, porém com fresas a um ângulo de 45° , com o intuito de evitar a entrada de água proveniente de chuva (Figuras 7 e 8).

Figura 7 – Parte inferior e superior do invólucro

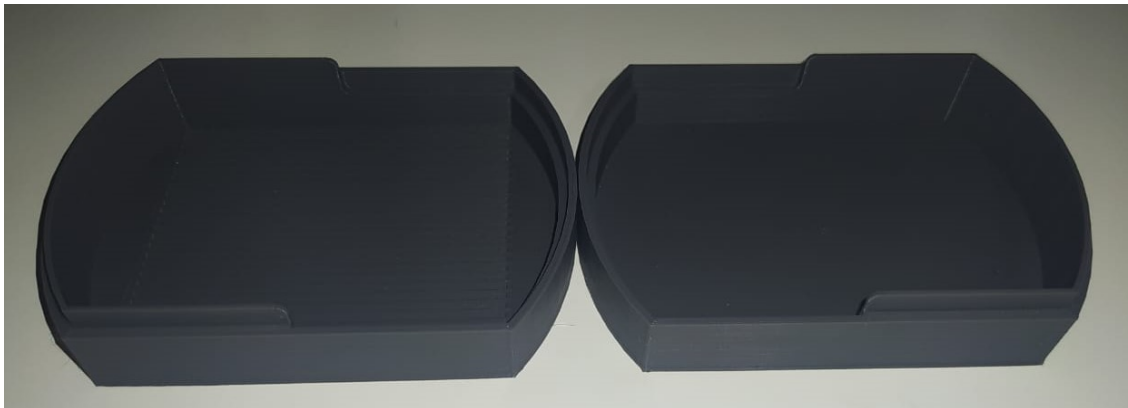
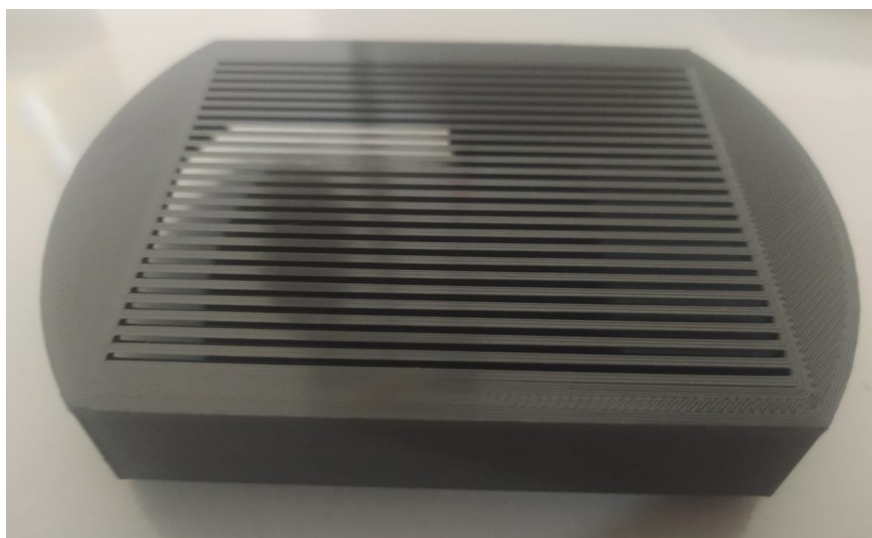


Figura 8 – Fresas para a entrada de ar



O conjunto de peças foi projetado para que ambas possam ser encaixadas facilmente, assim oferecendo uma grande vedação para a proteção do circuito elétrico e também possam ser desacopladas para intervenções de manutenção. O invólucro foi planejado para ser fixado em qualquer superfície vertical, conforme ilustrado na Figura 9.

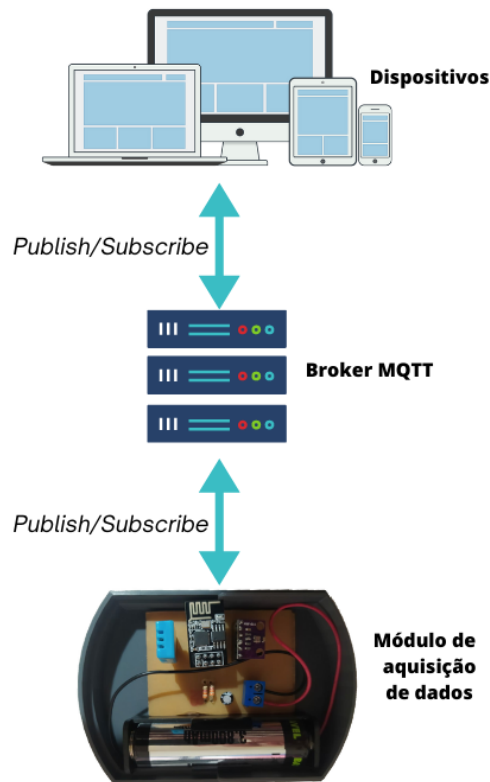
Figura 9 – Invólucro fechado



3.2 Protocolo de Comunicação MQTT com ThingsBoard

Na etapa de planejamento de construção do *Sistema de Análise e Monitoramento de Variáveis Ambientais*, optou-se pela utilização do protocolo *MQTT* para possibilitar a comunicação entre os módulos de aquisição de dados instalados em campo e a plataforma de visualização disponível na *web*. Essa decisão foi tomada levando em consideração as condições do ambiente a ser monitorado, pois atualmente a conectividade *Wifi* é altamente difundida e utilizada nas indústrias devido ao crescimento exponencial do conceito de indústria 4.0 (TOTVS, 2021). Cabe ressaltar que a utilização deste sistema pode necessitar de pequenas alterações na configuração do protocolo de comunicação, pois em indústrias de grande porte se recomenda a utilização da variante segura do *MQTT*, denominada *MQTTS*, já que essa estabelece uma conexão criptografada entre o *Broker* e os dispositivos envolvidos na rede de comunicação, assim ampliando a segurança dos dados trafegados (OPENEST, 2021). O módulo de aquisição de dados desenvolvido neste projeto realiza o envio de dados através do protocolo *MQTT* (Figura 10) através do código desenvolvido em *Micropython* e utilizando a *API uMQTT*, o que possibilita o envio dos dados ao *ThingsBoard* (THINGSBOARD, 2021), uma plataforma IoT de telemetria.

Figura 10 – Diagrama de funcionamento do sistema



A plataforma *ThingsBoard* possui uma aba denominada "dispositivos" e através dela podemos cadastrar os módulos espalhados em uma unidade frigorífica e acompanhar os logs dos últimos dados coletados de cada estação. Após realizado o cadastro das estações, temos acesso ao token (identificador único de cada módulo) e através dele podemos vincular as variáveis monitoradas pelos sensores ao seu respectivo módulo registrado na plataforma. O ESP-01 de cada módulo de aquisição de dados é responsável por receber informações dos sensores conectado a ele, converter os valores recebidos para as respectivas unidades das variáveis monitoradas, concatenar todos os valores coletados e enviá-los ao *Broker* no formato *JSON* (ORACLE, 2019b). Após essa etapa, para que se obtenha a análise e o monitoramento dos valores das medições, é preciso criar um Dashboard. Nele, seleciona-se os *widgets* de interesse para poder acompanhar o histórico ou o valor em tempo real de cada variável monitorada, criaram-se aliases de entidade, um para cada módulo, e a partir disso é possível optar quais valores coletados o usuário deseja expor em cada gráfico ou tabela. Cabe mencionar, ainda, que todos os *widgets* possuem diversos atributos configuráveis, como, por exemplo: estilização, unidade da variável medida, range de exibição, entre outros. Por fim, sempre que estiver ocorrendo medições, essas poderão ser observadas em tempo real nos gráficos da plataforma, bem como todas as medições que ocorrerem ficarão salvas no histórico, e basta escolher uma data e hora quando necessitar consultar informações. sendo assim, os gráficos podem se basear tanto no tempo real quanto podem ser estipulados com os valores contidos nos históricos. No plano de desenvolvimento básico, disponibilizado gratuitamente para a comunidade, o histórico disponibilizado consegue salvar em nuvem

até 30 dias de dados, porém existem diversos planos pagos que podem variar conforme a necessidade de armazenamento e utilização do usuário final (THINGSBOARD, 2021).

3.3 Produtos no Mercado Brasileiro

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

A Tabela 1 a seguir é um exemplo como construir uma tabela.

Tabela 1 – Exemplo de complexidade de tabela

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4
1	2	3	4
5	6	7	8

Listagem 1 – Hi, mundo

```
#include <stdio.h>

int main() {
    printf ("Hi, _mundo");

    return 0;
}
```

Referências

ALI, Zahid. *Introdução ao ESP-01*. 2019. Disponível em: <<https://www.theengineeringprojects.com/2019/05/introduction-to-esp-01.html>>. Acesso em: 10/11/2022.

BABOS, Flávio. *Sensor DHT11: Tutorial Completo*. 2021. Disponível em: <<https://flaviobabos.com.br/dht11-arduino/>>. Acesso em: 10/11/2022.

BRASIL, Oracle. *O que é SaaS (Software como Serviço)?* 2018. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/applications/what-is-saas/>>. Acesso em: 26/11/2022.

- FILIPEFLOP. *Sensor de Pressão e Temperatura Bmp280*. 2021. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-pressao-e-temperatura-bmp280/>>. Acesso em: 10/11/2022.
- FULLER, James. *Espressif ESP8266 Serial ESP-01 WiFi Module*. 2022. Disponível em: <<https://datasheethub.com/espressif-esp8266-serial-esp-01-wifi-module/>>. Acesso em: 10/11/2022.
- MATTEDE, Henrique. *O que são sensores e quais as suas aplicações?* 2016. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-sao-sensores-e-quais-as-suas-aplicacoes/>>. Acesso em: 10/11/2022.
- MORAIS, José. *Sleep Modes — Economizando energia — ESP8266*. 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sleep-modes-economizando-energia-esp8266/>>. Acesso em: 10/11/2022.
- ONSHAPE. *Onshape: product development platform*. 2021. Disponível em: <<https://www.onshape.com/en/platform>>. Acesso em: 26/11/2022.
- OPENEST. *MQTTS: Como usar o MQTT com TLS? - exemplos e ajudantes*. 2021. Disponível em: <<https://openest.io/en/services/mqtts-how-to-use-mqtt-with-tls/>>. Acesso em: 28/11/2022.
- ORACLE. *O que é IoT (Internet das Coisas)?* 2019. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/>>. Acesso em: 09/11/2022.
- ORACLE. *O que é JSON?* 2019. Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/database/what-is-json/>>. Acesso em: 28/11/2022.
- SANTOS, Guilherme. *Protocolo MQTT: O Que é, Como Funciona e Vantagens*. 2022. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/mqtt/>>. Acesso em: 09/11/2022.
- THINGSBOARD. *Thingsboard*. 2021. Disponível em: <<https://demo.thingsboard.io/home>>. Acesso em: 09/11/2022.
- TOTVS. *Indústria 4.0: o que é, benefícios e tecnologias*. 2021. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0/>>. Acesso em: 27/11/2022.
- VIEIRA, Caroline. *O que é o protocolo MQTT?* 2021. Disponível em: <<https://www.hitecnologia.com.br/o-que-e-o-protocolo-mqtt/>>. Acesso em: 09/11/2022.