



João José Antonio Souza D'Amorim

Desenvolvimento de um sistema integrado baseado em IoT para automação de um Clinostato 3D

Recife

Junho de 2022

João José Antonio Souza D'Amorim

Desenvolvimento de um sistema integrado baseado em IoT para automação de um Clinostato 3D

Artigo apresentado ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Estatística e Informática
Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: Prof. Dr. Jones Oliveira de Albuquerque

Recife
Junho de 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- D164d D'Amorim, João José Antonio Souza
Desenvolvimento de um sistema integrado baseado em IoT para automação de um Clinostato 3D:
Trabalho de conclusão de curso / João José Antonio Souza D'Amorim. - 2022.
19 f. : il.
- Orientador: Jones Oliveira de Albuquerque.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Bacharelado em Sistemas da Informação, Recife, 2022.
1. Automação. 2. Clinostato 3D. 3. Internet das coisas. 4. Sistema Integrado. 5. Simulador de
microgravidade. I. Albuquerque, Jones Oliveira de, orient. II. Título

CDD 004

Desenvolvimento de um sistema integrado baseado em IoT para automação de um Clinostato 3D

João José Antonio Souza D'Amorim ¹, Jones Oliveira de Albuquerque ²

¹Departamento de Estatística e Informática – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, - CEP: 52171-900 – Recife – PE – Brasil

{joao.damorim}{jones.albuquerque}@ufrpe.br

Resumo. *O sistema integrado baseado em Internet das Coisas para automação de um Clinostato 3D, é um conjunto de dispositivos tecnológicos com o objetivo de monitorar e controlar um simulador de microgravidade. A gravidade terrestre é capaz de mascarar experimentos científicos e tecnológicos, tendo em vista, o Clinostato 3D é apto em promover um ambiente de microgravidade oferecendo um resultado mais preciso em diversos tipos de experimentos. Ele extrai velocidade de rotação por minuto, temperatura dos dois motores de passo dos eixos e do ambiente, os valores do três eixos x,y e z do acelerômetro e os valores dos três eixos x,y e z do giroscópio, através de sensores de velocidade, temperatura, acelerômetro e giroscópio acoplados ao equipamento. Com o objetivo de informar ao usuário de uma maneira simples e intuitiva os valores dos dados obtidos, com o propósito de monitorar e controlar o equipamento, simultaneamente que, armazena os valores em uma planilha na nuvem, exibe em uma plataforma de IoT através de um dashboard em tempo real e envia alertas sobre o funcionamento por meio de um Bot em uma plataforma de comunicação por mensagem instantânea. O sistema integrado proposto é capaz de extrair os dados mencionados dos sensores com precisão e mostra-los em tempo real ao usuário, através de uma forma simples e objetiva, auxiliando nas análises das experiências e contribuindo para automação do equipamento.*

Abstract. *The integrated system based on IoT for automation, is a set of technological devices aiming at microgravity in an Internet control and microgravity simulator. Terrestrial gravity is capable of masking scientific and technological experiments, in view, the 3D Clinostat is able to promote a microgravity environment offering a more accurate result in various types of experiments. The extra axis speed per minute, temperature of the two axis stepper motors and the environment, the values of the three axes x,y and z of the accelerometer and the values of the x,y and z axes of the gyroscope, speed sensors, three, temperature, accelerometer and gyroscopes to the equipment. Aiming at a simple and intuitive user cloud in a simple way and values of the data obtained, with the purpose of informing and controlling, simultaneously, the equipment, the values in a spreadsheet in the intuitive display in an IoT dashboard platform in real-time and sends alerts about the operation through a Bot on an instant messaging communication platform. The proposed integrated is capable of extracting the aforementioned data from the precision sensors, through a simple and objective measurement system, in the form of a real system and auxiliary measurement for measuring the tested equipment.*

1. Introdução

Os estudos utilizando simuladores de Microgravidade são fundamentais para as pesquisas impactadas pelas variações da força gravitacional. A força gravitacional está presente em todo planeta e vem influenciando a evolução de espécies vegetais e animais desde o surgimento na Terra. Em experiências fora do planeta Terra, alguns organismos apresentam um desenvolvimento diferenciado, provocando um sentimento, que a gravidade é um fator essencial e deve ser considerada na evolução dos organismos.

O Clinostato 3D é capaz de realizar rotações de 360° em torno do seu próprio eixo em sentidos diferentes, proporcionando um local onde o vetor gravitacional é alterado casualmente, isso possibilita gerar um ambiente equivalente ao que os astronautas sofrem durante suas jornadas espaciais, os dois motores acoplados em seus dois eixos, com a velocidade de rotação determinada pelo projeto simula um recinto com microgravidade. Ele é uma ferramenta fundamental em experiências envolvendo os efeitos causados pela gravidade. Este trabalho tem como principal objetivo a criação de softwares para prover de forma mais otimizada, segura e precisa o controle, monitoramento, recebimento e envio das informações, obtidas durante os experimentos com um Clinostato 3D.

As implementações consistiram no controle de motores de passo de alta precisão Nema 17 [1] e um motor de passo 28BYJ-48 [2], utilizando o Arduino Mega 2560 R3 [3] e NodeMCU Esp8266 [4], respectivamente. Monitoramento e envio dos dados de sensores de velocidade dos motores, sensores de temperatura dos motores DS18B20 [5], MPU6050 [6] com informações de 3 eixos para o acelerômetro e 3 eixos para o giroscópio, sendo ao todo 6 graus de liberdade (6DOF) e um sensor de temperatura ambiente acoplado na CI MPU6050. Os dados são enviados para uma fila no RabbitMQ [7] e consumidas por três softwares desenvolvidos em Python, que publicam os dados para o ThingsBoard [8] (Plataforma de IoT), Google Sheets [9] e Telegram [10].

2. Objetivos

2.1. Objetivos Gerais

O desenvolvimento de um sistema integrado baseado em Internet das Coisas (IoT), capaz de automatizar procedimentos, controlar e monitorar motores e sensores, emitir alertas e promover a comunicação do Clinostato 3D com serviços em nuvem. O sistema será desenvolvido utilizando sensores de velocidade, microcontroladores, plataforma de IoT (Thingsboard) para visualização e monitoramento de dados coletados, envio de dados para o Google Sheets e o Telegram para o recebimento dos alertas gerados pelo sistema.

2.2. Objetivos Específicos

Principais objetivos específicos:

1. Controlar um motor de passo bipolar, utilizando um microcontrolador e um driver para motores de passo, no eixo externo do Clinostato 3D.
2. Controlar um motor de passo unipolar, utilizando um microcontrolador e um circuito integrado, no eixo interno do Clinostato 3D.
3. Controlar, monitorar, receber e enviar dados dos sensores de velocidade, sensores de temperatura e o MPU6050 6DOF, utilizando um microcontrolador.

4. Desenvolvimento de Script em Python para consumir dados de um Message Broker e publicar no Thingsboard.
5. Desenvolvimento de Script em Python para consumir dados de um Message Broker e publicar no Google Sheets.
6. Desenvolvimento de Script em Python para consumir dados de um Message Broker e publicar no Telegram, através da criação e uso de um Bot.
7. Criação de uma máquina virtual para instalação do Docker, com o intuito de executar os containers, gerados a partir das imagens criadas com os scripts em Python e obtidas do DockerHub (Thingsboard e RabbitMQ).

3. Materiais e Métodos

O primeiro passo foi pesquisar e estudar sobre os efeitos da gravidade em diversos tipos de amostras, para desenvolver um sistema integrado baseado em Internet das Coisas (IoT), que fosse funcional, com baixo custo e de fácil adaptação no Clinostato 3D. Um plano de pesquisa foi realizado, para encontrar e analisar equipamentos de simulação de microgravidade e como seus projetos foram executados. O Clinostato 3D tem como composição básica dois eixos de rotação, onde cada eixo recebe um motor para promover um velocidade de rotação específica de acordo com o experimento realizado, cada motor é controlador por um conjunto microcontrolador com driver de acordo com o motor utilizado e para extrair os dados do equipamento são acoplados sensores de temperatura, velocidade, acelerômetro e giroscópio, que são conectados a um microcontrolador, capaz de enviar os dados para serviços na nuvem.

O projeto do sistema do Clinostato 3D foi dividido em quatro partes, são elas:

1. Controle do motor de passo Nema 17 com uso de um microcontrolador.
 - Sistema de controle responsável pela rotação do eixo externo.
2. Controle do motor de passo 28BYJ-48 com o uso de um microcontrolador.
 - Sistema de controle responsável pela rotação do eixo interno.
3. Monitoramento e envio de dados dos sensores de velocidade, sensores de temperatura, acelerômetro e giroscópio.
 - Etapa de extração de dados por sensores e microcontrolador do Clinostato 3D.
4. Desenvolvimento de programas de consumo e publicação de dados para os serviços: ThingsBoard, Google Sheets e Telegram.
 - Etapa de transmissão dos dados do microcontrolador até o usuário, através das plataformas mencionadas.

3.1. Clinostato 3D

Na etapa de desenvolvimento do protótipo foram utilizados um Arduino Mega 2650 R3, dois sensores de velocidade, dois sensores de temperatura, um motor de passo Nema 17, um motor de passo 28BYJ-48, dois NodeMCU Esp8266, um MPU6050, Fonte externa 12V, dois reguladores de tensão ajustáveis, um drive A4988 e um driver ULN2003. Os equipamentos foram acoplados no Clinostato 3D e configurados com objetivo de alcançar um ambiente de microgravidade, como mostrado nas figuras 1 e 2 abaixo.

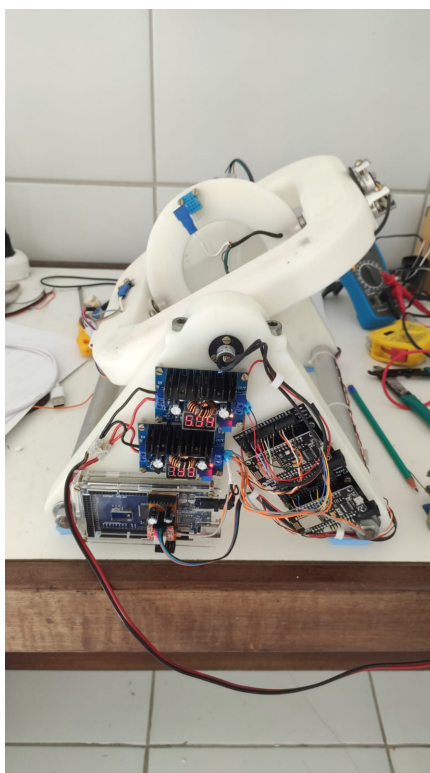


Figura 1. Clinostato 3D - Em Fase de Teste

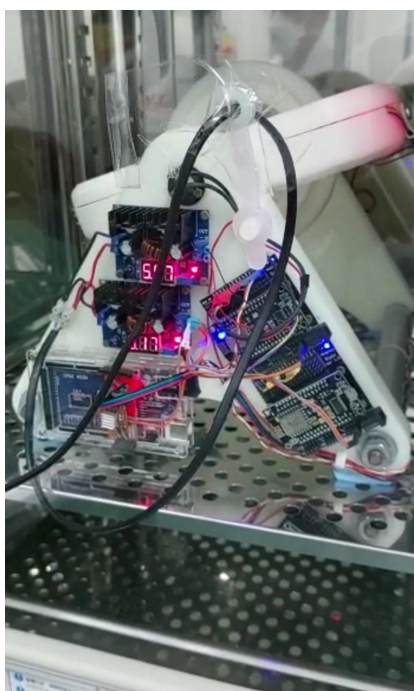


Figura 2. Clinostato 3D - Em fase final dentro da estufa no LIKA

3.2. Códigos implementados nos microcontroladores

Os códigos foram desenvolvidos especificamente para o protótipo do Clinostato 3D. Foi utilizado o software Arduino IDE 1.8.15 [11] de código aberto, utilizado para criação e implementação dos códigos nos microcontroladores Arduino Mega 2650 R3 e nos dois NodeMCU ESP8266. O código implementado no Arduino Mega é responsável por controlar o motor de passo Nema17, o código utilizado no NodeMCU ESP8266 é responsável por controlar o motor de passo 28BYJ-48 usando a biblioteca Stepper[12] e o código do NodeMCU ESP8266 dos sensores é responsável por monitorar, validar e publicar os dados recebidos pelos sensores de velocidade, sensores de temperatura e o MPU6050.

3.3. Comunicação e Equipamentos Tecnológicos

Os Scripts foram desenvolvidos utilizando a linguagem de programação Python, foram criados especificamente para o protótipo do Clinostato 3D, com o objetivo de consumir os dados da fila "clinostato" do serviço em nuvem RabbitMQ e enviar para três plataformas, são elas: ThingsBoard, Google Sheets e Telegram. O intuito é monitorar os dados através do ThingsBoard, armazenar os dados em uma planilha do Google Sheets e através de um Bot, enviar alertas sobre o funcionamento dos motores e do sistema para o Telegram.

O RabbitMQ e Thingsboard estão rodando em containers no Docker [13] instalado em um Droplet [14] com sistema operacional Ubuntu 20.04 (LTS) x64, 2GB de memória ram e 25GB de armazenamento alocado no Digital Ocean [15], as imagens para gerar os containers já existem e estão presente na plataforma DockerHub.

Em relação aos scripts, foram criados Dockerfiles usando python3 e cada script respectivamente, a partir de cada dockerfile foi criada uma imagem, para ser executada em um container no Docker. O objetivo de utilizar containers, é a modularização do sistema facilitando sua manutenção e controle, otimizando o uso de recursos, padronização, replicação e acesso à comunidade.

3.4. Arquitetura do Sistema Alfa



Figura 3. Sistema Alfa - Controle do motor de passo do eixo interno

O sistema Alfa é responsável pelo controle da velocidade de rotação do eixo interno do Clinostato 3D. O microcontrolador NodeMCU ESP8266 envia informações para o circuito integrado ULN2003 com o objetivo controlar e promover uma determinada velocidade de rotação no motor de passo unipolar.

3.4.1. Item 1 do Sistema Alfa

O NodeMCU ESP8266 é uma placa de desenvolvimento baseada no módulo ESP8266 ESP-12E WiFi, o qual é um componente eletrônico altamente tecnológico desenvolvido especialmente para conectar projetos robóticos ou de automação residencial à Internet, com maior facilidade e baixo custo. Muito eficiente, o NodeMCU WiFi ESP-12E é composto pelo chip ESP8266, suportando as redes mais utilizadas atualmente (802.11 b/g/n), preparado para comunicação sem fio de baixa potência, operando com a rede Wi-Fi em frequência de 2.4GHz, possuindo suporte a WPA e WPA2.

- Especificações e características do NodeMCU ESP8266:
 - ESP8266 ESP-12F (datasheet)
 - Wireless padrão 802.11 b/g/n
 - Antena embutida
 - Conector micro-usb
 - Modos de operação: STA/AP/STA+AP
 - Suporta 5 conexões TCP/IP
 - Portas GPIO: 11
 - GPIO com funções de PWM, I2C, SPI, etc
 - Tensão de operação: 4,5 9V
 - Taxa de transferência: 110-460800bps
 - Suporta Upgrade remoto de firmware
 - Conversor analógico digital (ADC)
 - Distância entre pinos: 2,54mm
 - Dimensões: 49 x 25,5 x 7 mm

3.4.2. Item 2 do Sistema Alfa

O motor de passo 28BYJ-48, é um equipamento que permite posicionar o seu eixo com precisão em qualquer posição, por sua rotação ser dividida em muitos passos e ainda proporciona velocidade baixa com elevado torque. Unipolar, alimentação de 5V e redução de 1/64, isto significa que é possível dar uma volta completa com 4096 passos, ou seja, apenas 0,088° por passo. O circuito integrado ULN2003 permite que o microcontrolador NodeMCU ESP8266 controle motores com correntes superiores a 50mA, neste caso até 500mA. Este módulo possui LEDs que indicam o acionamento das bobinas e opera com tensões de 5-12V.

- Especificações e características do motor de passo 28BYJ-48:
 - Ângulo por passo: 5,625°/64;
 - Tensão de alimentação: 5VCC;
 - Número de fases: 4;
 - Redução: 1/64;
 - Frequência: 100Hz;
 - Frequência de rotações no sentido horário maior que 600Hz;
 - Frequência de rotações no sentido anti-horário maior que 1000Hz;
 - Ruído: menor que 35dB(120Hz, No load, 10cm);
 - Resistência por fase: 600;
 - Torque máximo: 2,2 Kgf.cm

3.5. Arquitetura do Sistema Beta

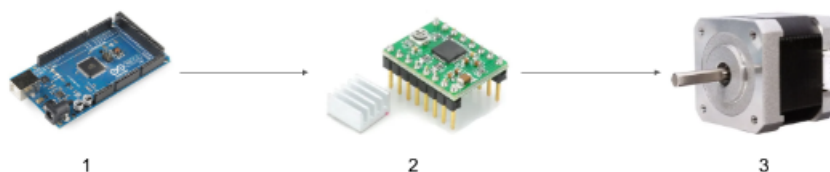


Figura 4. Sistema Beta - Comunicação das ferramentas tecnológicas

O sistema Beta é responsável pelo controle da velocidade de rotação do eixo externo do Clinostato 3D. O microcontrolador Arduino Mega 2560 R3 envia informações para o driver A4988 com o objetivo controlar e promover uma determinada velocidade de rotação no motor de passo bipolar.

3.5.1. Item 1 do Sistema Beta

A placa Arduino Mega 2560 R3 é mais uma placa da plataforma Arduino que possui recursos para prototipagem e projetos mais elaborados, como braço robóticos e radares. Baseada no microcontrolador ATmega2560, possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM. Possui 16 entradas analógicas, 4 portas de comunicação serial. Além da quantidade de pinos, ela conta com maior quantidade de memória que Arduino UNO, sendo uma ótima opção para projetos que necessitem de muitos pinos de entradas e saídas. No total são 54 pinos de entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas seriais de hardware), um oscilador de cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma entrada de alimentação, uma conexão ICSP e um botão de reset.

- Especificações e características do Arduino Mega 2560 R3:
 - Microcontrolador: ATmega2560 (datasheet)
 - Tensão de Operação: 5V
 - Tensão de Entrada: 7-12V
 - Portas Digitais: 54 (15 podem ser usadas como PWM)
 - Portas Analógicas: 16
 - Corrente Pinos I/O: 40mA
 - Corrente Pinos 3,3V: 50mA
 - Memória Flash: 256KB (8KB usado no bootloader)
 - SRAM: 8KB

3.5.2. Item 2 do Sistema Beta

Driver A4988 foi especialmente desenvolvido para controle de pequenos passos (microstepping) para motores de passo bipolares. A tensão de operação lógica do driver é de 3-5,5V a serem conectados nos pinos VDD e GND, sendo que pode controlar motores de até 8-35V e 2A por bobina (picos de 4A) Além disso é possível controlar o motor com até 1/16 passos.

- Especificações e características Driver A4988:
 - Chip: A4988 (datasheet)
 - Controle de passos e direção.
 - Tensão lógica: 3-5,5V
 - Tensão saída motores: 8-35V
 - 5 Resoluções: full-step, half-step, 1/4-step, 1/8-step e 1/16-step.
 - Controle ajustável de corrente, permitindo setar a corrente máxima de saída usando um potenciômetro, ou seja, utilizar tensões acima da tensão nominal do seu motor de passo para alcançar taxas maiores de passo.
 - Regulador de tensão embutido.
 - Proteção contra sobrecarga de corrente e curto-circuito.

3.5.3. Item 3 do Sistema Beta

O Motor de Passo NEMA 17 1,7A 40mm de alto torque é um motor ideal para projetos de máquina CNC (controle numérico por computador) devido sua precisão, torque e controle de velocidade de rotação.

- Especificações e características Motor de Passo NEMA 17:
 - Modelo: 42HS40-1704-13A (datasheet)
 - Tensão de operação: 2,55V
 - Corrente DC de operação (por fase): 1,7A
 - Resistência (por fase): 1,5
 - ângulo do passo: 1,8 graus
 - Torque estático: 4,2kg.cm
 - Indutância(por fase): 2,3mH
 - Peso do motor: 0,32Kg
 - Diâmetro do eixo: 5mm
 - Comprimento do eixo: 24mm eixos: 42 x 42 x 40mm

3.6. Arquitetura do Sistema Gama

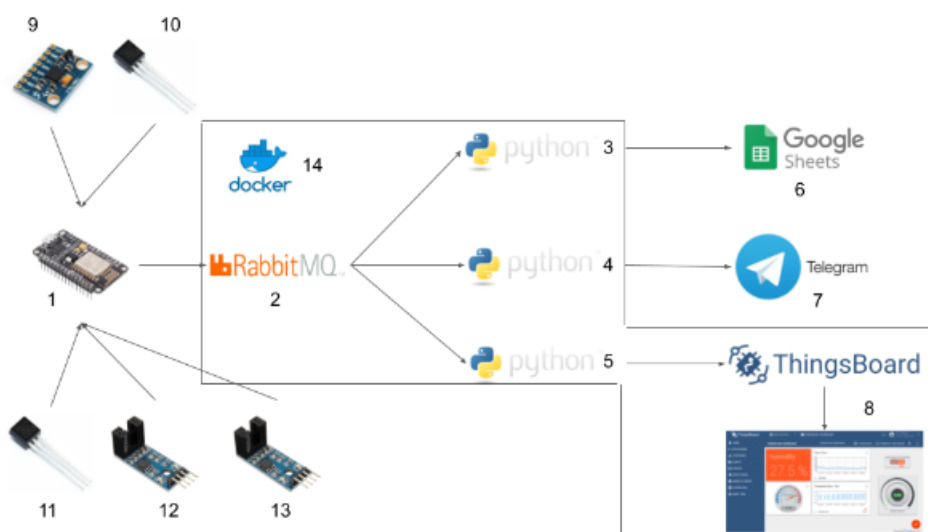


Figura 5. Sistema Gama - Comunicação das ferramentas tecnológicas

O sistema Gama é responsável pela comunicação do Clinostato 3D com a nuvem e seus respectivos serviços finais de visualização e armazenamento de dados. O microcontrolador NodeMCU ESP8266 extrair os dados dos sensores de temperatura, velocidade, acelerômetro e giroscópio, e envia para a fila clinostato criada no RabbitMQ, essa fila é consumida por três scripts em Python, o primeiro envia os dados para um planilha no Google Sheets, o segundo envia os dados para o Bot no Telegram e o terceiro envia os dados para o Thingsboard (tela meramente ilustrativa). Os programas RabbitMQ, Thingsboard e os três scripts em Python, rodam em containers diferentes dentro do Docker instalado em uma máquina virtual na plataforma Digital Ocean.

3.6.1. Item 1 do Sistema Gama

O Nodemcu ESP8266 é uma placa de desenvolvimento baseada no módulo ESP8266 ESP-12E WiFi, o qual é um componente eletrônico tecnológico desenvolvido especialmente para conectar projetos robóticos ou de automação residencial à Rede Mundial de Computadores (Internet), com maior facilidade e baixo custo. Muito eficiente o Nodemcu WiFi ESP-12E é composto pelo imponente chip ESP8266, suportando as redes mais utilizadas atualmente (802.11 b/g/n), preparado para comunicação sem fio de baixa potência, operando com a rede Wi-Fi em frequência de 2.4GHz, possuindo suporte a WPA e WPA2.

- Especificações e características:
 - ESP8266 ESP-12F (datasheet)
 - Wireless padrão 802.11 b/g/n
 - Antena embutida
 - Conector micro-usb

- Modos de operação: STA/AP/STA+AP
- Suporta 5 conexões TCP/IP
- Portas GPIO: 11
- GPIO com funções de PWM, I2C, SPI, etc
- Tensão de operação: 4,5 9V
- Taxa de transferência: 110-460800bps
- Suporta Upgrade remoto de firmware
- Conversor analógico digital (ADC)
- Distância entre pinos: 2,54mm
- Dimensões: 49 x 25,5 x 7 mm

3.6.2. Item 2 do Sistema Gama

O RabbitMQ é uma aplicação Open Source, que atua como Message Broker, ou seja atua como intermediário na gestão de envio e recebimento de mensagens de uma ou mais aplicações. O objetivo é lidar com o tráfego de mensagens de forma mais confiável e rápida possível.

- Programação:

- O software roda em um container Docker alocado em uma máquina virtual com o Sistema Operacional Ubuntu.
- Comando para criar e executar o container:

```
$ docker run -it --name myrabbitmq -p 5672:5672
-p 15672:15672 -p 1883:1883 -p 15675:15675
rabbitmq:3-management
```

3.6.3. Item 3 do Sistema Gama

Software desenvolvido em Python, para consumir os dados extraídos do Clinostato 3D, como temperatura dos motores, temperatura ambiente, eixos do acelerômetro e os eixos do giroscópio da fila clinostato do RabbitMQ e publicar para uma planilha no Google Sheets, facilitando a visualização e o acesso dos dados pelos os usuários .

- Programação:

- O software roda em um container Docker alocado em uma máquina virtual com o Sistema Operacional Ubuntu.
- Comando para construir a imagem:

```
$ docker build -t sheets-python
```

- Comando para criar e executar o container:

```
$ docker run -d --restart always --name
sheets-app sheets-python
```

3.6.4. Item 4 do Sistema Gama

Software desenvolvido em Python, para consumir os dados mencionados no item 3 anterior da fila clinostato do RabbitMQ e caso ocorra, mau funcionamento dos motores publicar um alerta, através de um Bot para um grupo no Telegram, por ser de fácil acesso e rápida comunicação. Enquanto o equipamento estiver em funcionamento o Bot alerta sobre o status do Clinostato 3D.

- Programação:
 - O software roda em um container Docker alocado em uma máquina virtual com o Sistema Operacional Ubuntu.
 - Comando para construir a imagem:

```
$ docker build -t telegram-python
```
 - Comando para criar e executar o container:

```
$ docker run -d --restart always --name telegram-app telegram-python
```

3.6.5. Item 5 do Sistema Gama

Software desenvolvido em Python, para consumir os dados mencionados no item 3 da fila clinostato do RabbitMQ e publicar para o Thingsboard, uma plataforma de visualização de dados, que possibilita dashboards personalizados.

- Programação:
 - O software roda em um container Docker alocado em uma máquina virtual com o Sistema Operacional Ubuntu.
 - Comando para construir a imagem:

```
$ docker build -t thingsboard-python
```
 - Comando para criar e executar o container:

```
$ docker run -d --restart always --name thingsboard-app thingsboard-python
```

3.6.6. Item 6 do Sistema Gama

Google Sheets é um programa de planilhas incluído como parte do pacote gratuito de Editores do Google Docs baseado na web oferecido pelo Google. Está disponível como um aplicativo da web, aplicativo móvel para Android, IOS, Windows, BlackBerry e como aplicativo desktop no Chrome OS do Google. O aplicativo permite que os usuários criem e editem arquivos online enquanto colaboram com outros usuários em tempo real.

3.6.7. Item 7 do Sistema Gama

Telegram é um aplicativo para troca de mensagens, considerado um dos principais concorrentes do WhatsApp. Ele apresenta funções semelhantes às dos demais nomes do gênero, permitindo envio e recebimento de conteúdos em texto, vídeo, áudio e imagem por meio de um pacote de dados ou de uma conexão Wi-Fi. Além disso, o Telegram conta com alguns recursos mais específicos que envolvem a segurança e a privacidade das mensagens. Um deles é a possibilidade de iniciar conversas secretas com qualquer usuário em sua lista de contatos, neste caso, as mensagens de áudio, vídeo, foto ou texto são automaticamente excluídas após um tempo determinado por quem criou o chat.

3.6.8. Item 8 do Sistema Gama

O Thingsboard é plataforma IoT, que fornece gerenciamento de dispositivos por meio da administração de ativos e coleta e visualização de dados. Solução de IoT para todas as empresas, que ajuda no processamento de dados, tolerância a falhas, armazenamento de dados de telemetria, microsserviços, tolerância a falhas, atualizações de atributos e muito mais.

- Programação:
 - O software roda em um container Docker alocado em uma máquina virtual com o Sistema Operacional Ubuntu.
 - Comando para criar as pastas necessárias para o software:

```
$ mkdir -p ~/.mytb-data && sudo chown -R 799:799 ~/.mytb-data
$ mkdir -p ~/.mytb-logs && sudo chown -R 799:799 ~/.mytb-logs
```
 - Comando para criar e executar o container:

```
$ docker run -d -P -v ~/.mytb-data:/data -v
~/.mytb-logs:/var/log/thingsboard --name mytb
--restart always thingsboard/tb-postgres
```

3.6.9. Item 9 do Sistema Gama

O Acelerômetro e Giroscópio 3 Eixos DOF MPU-6050 contém em um único chip um acelerômetro e um giroscópio tipo MEMS. São 3 eixos para o acelerômetro e 3 eixos para o giroscópio, sendo ao todo 6 graus de liberdade (6DOF). Além disso, esta placa GY-521 tem um sensor de temperatura embutido no CI MPU6050, permitindo medições entre -40 e +85 °C. Possui alta precisão devido ao conversor analógico digital de 16-bits para cada canal. Portanto o sensor captura os canais X, Y e Z ao mesmo tempo. Esse sensor é importante para verificar a temperatura ambiente em que encontra-se o MPU-6050.

- Especificações e características:
 - Chip: MPU-6050
 - Tensão de Operação: 3-5V

- Conversor AD 16 bits
- Comunicação: Protocolo padrão I2C
- Faixa do Giroscópio: ± 250 , 500, 1000, 2000°/s
- Faixa do Acelerômetro: ± 2 , ± 4 , ± 8 , ± 16 g
- Dimensões: 20 x 16 x 1mm

3.6.10. Itens 10 e 11 do Sistema Gama

Com o Sensor de Temperatura Digital DS18B20 é possível realizar medições de temperatura de forma precisa utilizando apenas um pino do controlador. O sensor DS18B20 faz a leitura de temperaturas entre -55°C e $+125^{\circ}\text{C}$ com precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$ e seu encapsulamento é ideal para utilização em protoboard, placas de teste ou circuitos definitivos. Esses sensores são fundamentais para o acompanhamento das temperaturas dos motores do eixos do Clinostato 3D, com o objetivo de preservar os equipamentos, em caso de super aquecimento.

- Especificações e características:
 - Tensão de operação: 3,3-5V
 - Abertura disco encoder: 5mm
 - Saída Digital e Analógica
 - Fácil instalação
 - Comparador LM393 (datasheet)
 - Led indicador para tensão
 - Led indicador para saída digital
 - Dimensões: 32 x 14 x 7mm

3.6.11. Itens 12 e 13 do Sistema Gama

O Sensor de Velocidade Encoder é utilizado para realizar medições de rotação de motores, contagem de pulsos e como controlador de posicionamento. Pode ser utilizado com os mais diversos controladores e placas, como Arduino, Raspberry Pi e PIC. É indicado para utilização com um disco encoder, onde as ranhuras do disco irão interromper o feixe de luz infravermelho e enviar um sinal ao microcontrolador. Esses sensores são responsáveis por aferir com precisão a velocidades de rotação provocadas pelos motores em seus respectivos eixos de atuação.

- Especificações e características:
 - Tensão de operação: 3-5,5V
 - Faixa de medição: -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$
 - Precisão: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ entre -10°C e $+85^{\circ}\text{C}$
 - Encapsulamento: TO-92

3.6.12. Item 14 do Sistema Gama

O Docker é uma plataforma Open Source escrita na linguagem de programação desenvolvida no Google, o Go. O docker utiliza o LXC (Linux Containers), um sub-sistema

do kernel do Linux, o que permite que ele utilize apenas recursos isolados ao invés de um Sistema Operacional completo, como acontece nos ambientes de virtualização tradicionais. Assim, uma plataforma container docker reúne partes de softwares de um sistema completo de arquivo, com todos os recursos que a sua execução precisa, criando ambientes mais leves e isolados para rodar os programas.

- Programação:

- O software roda em um container Docker alocado em uma máquina virtual com o Sistema Operacional Ubuntu.

- Comando para instalar o snap:

```
$ sudo apt install snapd
```

- Comando para instalar o Docker pelo snap

```
$ snap install docker
```

4. Resultados

Foram realizados três testes sem amostra viva. Todos os testes envolveram os dispositivos acoplados no Clinostato 3D. O sistema integrado apresentou uma resposta eficaz, diante das simulações propostas. Os motores responderam corretamente aos parâmetros definidos nos softwares implementados nos microcontroladores. Os softwares responsáveis pelo consumo e publicação dos dados enviados à fila do RabbitMQ tiveram uma performance desejável, não ocorreram falhas no consumo dos dados, não ocorreram falhas no envio dos dados para as três plataformas escolhidas no projeto e foram aprovados para a fase de produção. Os dispositivos eletrônicos, não demonstraram falhas ou desligamentos inesperados nas três simulações realizadas.

Os testes geraram resultados significativos, a transmissão dos dados desde o microcontrolador NodeMCU ESP8266 do Sistema Gama, até as três plataformas finais, Thingsboard, Google Sheets e Telegram foi altamente eficiente, com cerca de 5% de falha de comunicação e certificando o sistema como uma escolha eficaz para etapa inicial de automação do Clinostato 3D. A seguir os resultados obtidos:

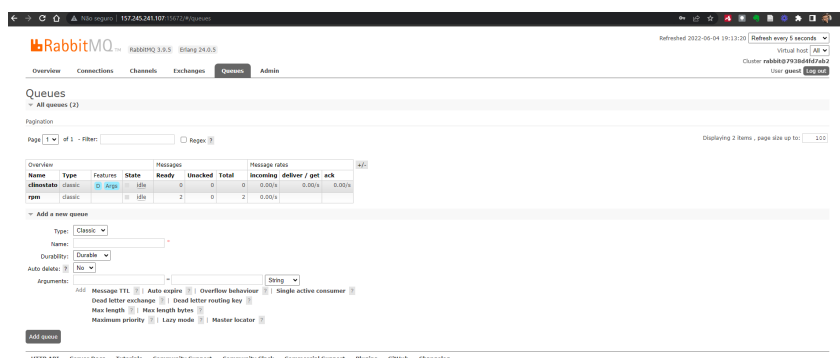


Figura 6. RabbitMQ - Message Broker com a fila clinostato ativa

Na figura 6, encontra-se a tela de configuração do Message Broker RabbitMQ, pode-se observar a fila clinostato ativa, aguardando as publicações do microcontrolador do Sistema Gama e esperando as conexões de consumo dos scripts em Python, mencionados anteriormente nos itens 3, 4 e 5 do Sistema Gama.

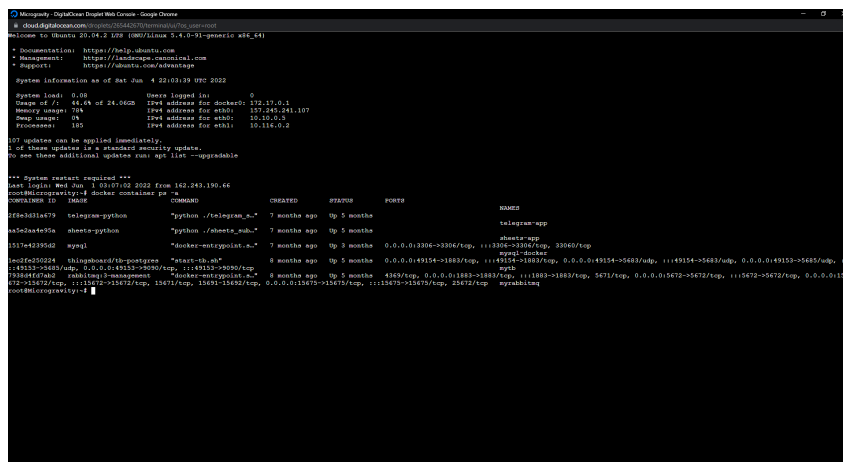


Figura 7. Docker - Containers em execução

Na figura 7, encontra-se a tela de configuração da máquina virtual, onde está instalado o Docker com os containers rodando as imagens dos três scripts em Python, RabbitMQ e Thingsboards. Através do console é possível acessar o Docker para configurar e executar os containers.

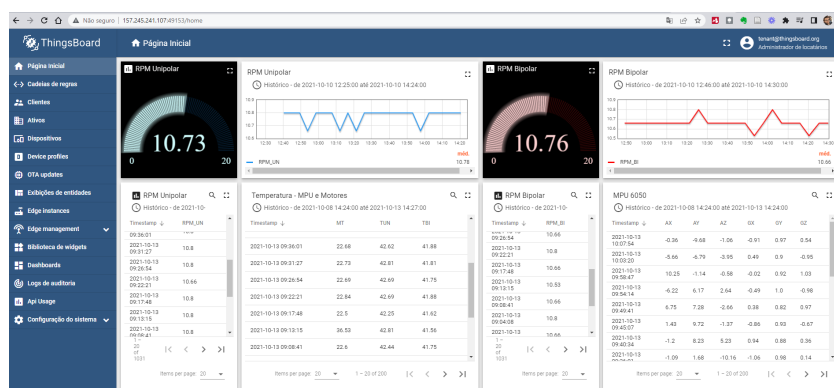


Figura 8. ThingsBoard - Dashboard para visualização dos dados do Clinostato 3D

Na figura 8, encontra-se a tela de visualização dos dados mencionados através do ThingsBoard, plataforma que oferece dashboards personalizados para observação de dados gerados por dispositivos ou programas. Na tela em questão mostra os valores dos sensores de temperatura, velocidade, acelerômetro e giroscópio, obtidos do Clinostato 3D.

	RPM	RPM - Unipolar	RPM - Bipolar	Data - Hora	Ax	Ay	Az	Gx	Gy	Gz	MPU - Temperatura	Rotor - Temperatura	Unipolar
5	10.76	10.66	01/11/2021 00:03:16	3.96	6.67	6.84	6.94	6.93	-0.47	21.74	39.5	39.31	
7	10.8	10.66	01/11/2021 00:07:50	4.06	6.46	6.83	6.87	6.81	0.11	22	39.61	40	
9	10.76	10.66	01/11/2021 00:12:23	3.82	6.22	6.81	6.95	6.89	0.22	21.47	39.44	39.12	
11	10.73	10.69	01/11/2021 00:16:56	3.36	6.64	6.63	6.91	6.82	-0.58	21.97	39.56	39.62	
13	10.83	10.63	01/11/2021 00:21:29	5.9	6.95	6.82	6.96	6.83	0.86	21.83	39.56	39.61	
15	10.76	10.66	01/11/2021 00:26:02	7.11	6.59	6.95	6.87	6.94	0.87	21.85	39.31	39.25	
17	10.76	10.66	01/11/2021 00:30:35	6.89	6.53	6.85	6.83	6.84	0.84	21.67	39.75	40.66	
19	10.8	10.63	01/11/2021 00:35:08	6.21	6.12	6.24	6.76	6.99	-0.81	21.76	39.44	39.69	
21	10.73	10.73	01/11/2021 00:39:41	2.37	6.37	6.97	6.98	6.41	6.96	6.94	21.84	39.75	40.12
23	10.76	10.66	01/11/2021 00:44:15	3.18	6.41	6.92	6.81	6.95	-0.99	21.96	39.75	40.12	
25	10.76	10.66	01/11/2021 00:48:48	4.18	7.02	6.92	6.93	6.97	1.03	21.87	39.69	39.62	
27	10.73	10.63	01/11/2021 00:53:21	6.06	-0.1	7	6.96	6.96	-1.91	21.86	39.84	40.19	
29	10.76	10.66	01/11/2021 00:57:54	6.55	3.18	7.02	6.98	6.93	0.79	21.73	39.81	39.75	
31	10.76	10.73	01/11/2021 01:02:27	7.11	7.03	6.48	6.89	6.89	6	21.76	39.62	39.62	
33	10.83	10.66	01/11/2021 01:07:01	6.91	6.95	6.76	6.96	6.96	1.18	22	39.88	40.44	
35	10.69	10.69	01/11/2021 01:11:34	2.66	6.43	6.32	6.82	6.76	0.55	21.62	39.5	39.62	
37	10.76	10.73	01/11/2021 01:16:07	2.84	3.78	7.46	6.94	6.96	-0.65	21.96	39.69	39.88	
39	10.69	10.76	01/11/2021 01:20:40	5.56	6.17	6.23	6.88	6.77	0.51	21.85	39.75	40.12	
41	10.8	10.66	01/11/2021 01:25:13	4.51	6.02	6.26	6.93	6.93	-0.83	21.84	39.5	39.62	
43	10.8	10.73	01/11/2021 02:07:59	3.68	2.42	7.71	6.98	6.95	-0.49	22.83	39.84	40	
45	10.76	10.66	01/11/2021 02:12:32	4.2	6.17	6.82	6.98	6.93	0.47	21.79	39.75	39.84	
47	10.73	10.73	01/11/2021 02:07:06	2.72	6	6.83	6.74	6.93	-0.82	21.86	39.62	39.75	
49	10.73	10.66	01/11/2021 02:11:39	4.97	6.45	6.28	6.98	6.81	0.96	22.07	39.81	40.19	
51	10.76	10.66	01/11/2021 02:16:12	7.13	7.26	6.91	6.81	6.99	-1.99	21.77	39.66	39.69	
53	10.86	10.66	01/11/2021 02:20:45	7.92	6.82	6.51	6.93	6.83	21.94	39.56	39.62		
55	10.8	10.66	01/11/2021 02:25:18	6.11	6.07	6.82	6.98	6.98	-1.1	22.03	39.69	40.66	
57	10.76	10.63	01/11/2021 02:29:51	4.44	6.77	6.53	6.49	6.96	0.91	21.79	39.38	39.44	
59	10.73	10.66	01/11/2021 02:34:24	4.25	6.71	6.86	6.89	6.95	-0.81	22.02	39.81	39.75	
61	10.76	10.66	01/11/2021 02:38:56	6.27	6.76	6.25	6.67	6.87	-0.87	21.77	39.69	39.75	
63	10.83	10.63	01/11/2021 02:43:30	6.46	6.94	6.94	6.93	6.93	-0.78	21.72	39.62	39.56	
65	10.76	10.63	01/11/2021 02:48:03	3.12	6.95	7	6.95	6.96	0.74	22.08	39.81	40.5	
67	10.76	10.69	01/11/2021 02:52:37	2.14	6.69	6.76	6.96	6.93	-0.43	21.6	39.56	39.81	
69	10.76	10.69	01/11/2021 02:57:10	1.42	6.17	6.98	6.97	6.87	0.87	21.84	39.69	40.25	
71	10.76	10.63	01/11/2021 03:01:43	2.77	6.83	6.44	6.99	6.92	0.31	21.84	39.84	40.19	
73	10.76	10.59	01/11/2021 03:06:16	1.28	7.25	6.7	6.95	6.96	-0.27	21.67	39.75	39.44	

Figura 9. Google Sheets - Visualização e armazenamento dos dados gerados pelo Clinostato 3D

Na figura 9, encontra-se a planilha do Google Sheets, configurada para o recebimento dos dados enviados pelo Clinostato 3D. Na tela em questão mostra os valores dos sensores de temperatura, velocidade, acelerômetro e giroscópio, obtidos do Clinostato 3D.



Figura 10. Telegram - Envio de alertas do Clinostato 3D pelo Bot LIKA

Na figura 10, encontra-se a tela do grupo Clinostato 3D, onde um de seus participantes é o Bot LIKA, que monitora os motores e o funcionamento do Clinostato 3D. Na tela, o Bot está avisando através de mensagens, que o equipamento está em funcionamento.

É importante ressaltar, que esse é o primeiro projeto envolvendo esse tipo de equipamento e até o presente momento os resultados obtidos são notáveis, para o desenvolvimento e o avanço do projeto para as próximas etapas. Alguns ajustes serão realizados para a fase de produção, porém pelo que analisado durante os testes de simulação de microgra-

vidade, provavelmente vai ser um equipamento indispensável para as futuras pesquisas nos laboratórios.

5. Discussões

O desenvolvimento de um sistema integrado de baixo custo baseado em IoT para automação de um Clinostato 3D, mostrou-se fundamental para o laboratório e seus pesquisadores, promovendo um ambiente de microgravidade para o estudo de componentes biológicos, químicos e físicos. Com esse sistema atuando no equipamento, pretende-se realizar novos experimentos, promovendo um grande avanço científico no estudo dos efeitos da gravidade em diversos tipos de amostras.

O principal objetivo, depois de validado e comprovado seus efeitos nas experiências é proporcionar um modelo de baixo custo, fácil construção e de simples configuração para possibilitar, que outros laboratórios, escolas e empresas sejam beneficiadas e possam ter esse tipo de equipamento para realizar suas experiências.

Dado o exposto, o sistema desenvolvido é adaptável e eficaz para executar todas as tarefas propostas pelo projeto do Clinostato 3D, com o objetivo de simular um ambiente de microgravidade para experimentos.

6. Trabalhos futuros

No momento o Clinostato 3D encontra-se na etapa de produto mínimo viável (MVP). Para as novas versões do sistema sugere-se a criação de dois serviços web para controlar os motores de passo, no intuito de evitar acesso direto aos microcontroladores, com objetivo de preservar o código fonte e facilitar as mudanças de velocidades de acordo com cada experiência. Levando isso em consideração, é essencial a troca do Arduino Mega 2560 do Sistema Beta para um NodeMCU ESP8266, visando sua capacidade de conexão através de sua placa WI-FI, além de ter custo menor, tamanho reduzido e mais dispositivos.

Com o objetivo de oferecer uma contribuição social e difundir o estudo da microgravidade em escolas e laboratórios pelo Brasil e o mundo, o projeto será adaptado e reestruturado para transformar-se em um Kit Educacional, nas próximas etapas. Será realizada uma solicitação de patente para assegurar a invenção e protegê-la. Tendo isso em mente, torna-se necessário uma construção mais voltada ao mercado, um desenho de um projeto único, com o objetivo de modularizar o equipamento, garantindo uma melhor manutenção caso seja necessária a troca de dispositivos tecnológicos envolvidos no sistema.

Levando-se em consideração os aspectos mencionados existe um ampla possibilidade de novos serviços finais, tanto para armazenamento como para visualização. O sistema pode ser facilmente atualizado e modificado de acordo com o surgimento de novas tecnologias mais eficientes e menos custosas.

Referências

- [1] ARDUINO e Cia. Como usar o driver A4988 com motor de passo Nema 17 [Online]. Disponível em: <<https://www.arduinoecia.com.br/driver-a4988-com-motor-de-passo-nema-17/>>.

- [2] MASTERWALKER. Como usar com Arduino – Motor de Passo 28BYJ-48 com Driver ULN2003 [Online]. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/arduino-utilizando-motor-de-passo-28byj-48-e-driver-uln2003>>.
- [3] LABORATÓRIO de Garagem. Uso da biblioteca AccelStepper para controlar motores de passo com o Arduino. [Online]. Disponível em: <<https://labdegaragem.com/profiles/blogs/uso-da-biblioteca-accelstepper-para-controlar-motores-de-passo-1>>.
- [4] GEEKERING. ESP8266 NodeMCU – Controlling Stepper Motor with ULN2003 Driver. [Online]. Disponível em: <<https://www.geekering.com/categories/embedded-systems/esp8266/ricardocarreira/esp8266-nodemcu-controlling-stepper-motor-with-uln2003-driver/>>.
- [5] RANDOM Nerd Tutorials. ESP8266 DS18B20 Temperature Sensor with Arduino IDE (Single, Multiple, Web Server) [Online]. Disponível em: <<https://randomnerdtutorials.com/esp8266-ds18b20-temperature-sensor-web-server-with-arduino-ide/>>.
- [6] RANDOM Nerd Tutorials. ESP8266 NodeMCU with MPU-6050 Accelerometer, Gyroscope and Temperature Sensor (Arduino). [Online]. Disponível em: <<https://randomnerdtutorials.com/esp8266-nodemcu-mpu-6050-accelerometer-gyroscope-arduino/>>.
- [7] DOCKERIZING a RabbitMQ Instance using Docker Containers [Online]. Disponível em: <<https://www.section.io/engineering-education/dockerize-a-rabbitmq-instance/>>.
- [8] THINGSBOARD. ThingsBoard Open-source IoT Platform. [Online]. Disponível em: <<https://thingsboard.io/>>.
- [9] MEDIUM. Gspread: trabalhando com o Google Sheets. [Online]. Disponível em: <<https://medium.com/pyladiesbh/gspread-trabalhando-com-o-google-sheets-f12e53ed1346>>.
- [10] SINCH Latam. Bot No Telegram: Passo A Passo Da Criação Em Python [Online]. Disponível em: <<https://latam.sinch.com/blog/bot-no-telegram-passo-a-passo-da-criacao-em-python/>>.
- [11] ARDUINO. Arduino ide. [Online]. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/main/software>>.
- [12] STEPPER - Arduino Reference [Online]. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/stepper/>>.
- [13] COMO Instalar e Utilizar o Docker no Ubuntu 20.04 [Online]. Disponível em: <<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-install-and-use-docker-on-ubuntu-20-04-pt>>.
- [14] COMO criar servidor na Digital Ocean [Online]. Disponível em: <<https://gabrielzuqueto.eti.br/como-criar-servidor-na-digital-ocean>>.
- [15] DIGITAL Ocean: Descubra como funciona o servidor em nuvem [Online]. Disponível em: <<https://www.melhoreshospedagem.com/digital-ocean/>>.