

**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA**
RIO GRANDE DO SUL
Campus Restinga



Tecnologia em
**ELETRÔNICA
INDUSTRIAL**

INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - IFRS
CAMPUS RESTINGA

Dhamens Manuel da Silveira Almansa

**DESENVOLVIMENTO DE UMA
PLATAFORMA DE MONITORAMENTO DE
UM AMBIENTE DE COMPOSTAGEM
DOMÉSTICA VIA WIRELESS**

Porto Alegre

2022

Dhamens Manuel da Silveira Almansa

Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento de um ambiente de compostagem doméstica via wireless

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)– *Campus* Restinga, como requisito parcial para obtenção de título de Tecnólogo(a) em Eletrônica Industrial.

Prof. Dr. Eng. Alexsandro Cristovão Bonatto

Porto Alegre

2022

Dhamens Manuel da Silveira Almansa

Desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento de um ambiente de compostagem doméstica via wireless

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)– *Campus* Restinga, como requisito parcial para obtenção de título de Tecnólogo(a) em Eletrônica Industrial.

Trabalho aprovado. Porto Alegre, 25 de Agosto de 2022 :

**Prof. Dr. Eng. Alexsandro Cristovão
Bonatto**
Orientador

Prof. Dr. Tadeu Luis Tiecher
Avaliador - IFRS campus Restinga

Prof. Dr. Rodrigo Wolff Porto
Avaliador - IFRS campus Restinga

Prof. Me. João Roberto Gabbardo
Avaliador - IFRS campus Restinga

Porto Alegre
2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Eni da Silveira Almansa e irmã Ivanessa da Silveira Almansa por estarem sempre ao meu lado me apoiando, cuidando e se dedicando.

Agradeço meus colegas e camaradas Michael S. Rodrigues, Tomaz Jeferson de Azevedo Thomaz e Luis Gustavo Cavicholi que foram a força inspiradora para que esse tcc pudesse chegar a etapa final.

Agradeço ao meu professor Matheus Perin que foi sempre dedicado a passar o conhecimento da forma mais simples e precisa possível, procurando sempre a excelência no ofício de ensinar.

Agradeço a meu orientador Prof Aleksandro Bonatto e minha professora de tcc Sheila Santisi Travessa, que quando tudo parecia perdido reuniram esforços para me mostrar possibilidades que eu não poderia ver.

Agradeço a meus amigos que foram minha alegria nos momentos de desânimo.

Agradeço a meus colegas que foram minha força quando eu quis desistir.

Quero agradecer aos professores que tiveram paciência quando fui aluno difícil.

Agradeço profundamente a pessoal da limpeza que manteve o sempre a faculdade limpa e em ordem mesmo quando ninguém estava lá.

Agradeço aos guardas do IFRS que sempre foram vigilantes por nosso bem-estar e segurança.

Agradeço funcionários do IFRS que se dedicam todo dia a manter o instituto funcionando.

Agradeço a toda comunidade que mantêm o IFRS vivo e crescendo para que eu pudesse trilhar esta jornada.

“As pessoas pensam que sonhos não são reais apenas porque não são feitos de matéria, de partículas. Sonhos são reais. Mas eles são feitos de pontos de vista, de imagens, de memórias e trocadilhos, e de esperanças perdidas.”

(Neil Gaiman)

RESUMO

Este projeto trata da elaboração e da avaliação de funcionamento de uma plataforma para monitorar as variáveis que determinam a eficácia do compostagem aeróbia de resíduos orgânicos domésticos. O sistema utiliza tecnologia baseadas no desenvolvimento de plataformas para Internet das Coisas (IoT), com implementação focada para aplicações de pequena escala e uso doméstico. Uma placa de desenvolvimento baseada no *System-on-Chip* ESP32 é programada para ler os dados de temperatura, umidade e oxigenação, obtidos através de diferentes sensores, e enviar estes dados para um sistema supervisorio que apresenta o estado atual e um histórico recente do processo de compostagem. Os dados coletados dos sensores são enviados via rede de dados sem fio, utilizando tecnologia WiFi, para o sistema supervisorio Arduino IoT Cloud, instalado em um servidor hospedado na nuvem. O usuário pode conectar-se a este servidor através da rede local ou através de qualquer navegador da rede mundial de computadores. Este sistema permite que o usuário avalie em tempo real o processo de compostagem, ou baixe os dados das medições para qualquer dispositivo, podendo fazer a sua análise posteriormente. Conhecendo os diferentes valores de variáveis como a temperatura e umidade do composto, os usuários podem interpretar o estado do processo e se está evoluindo corretamente ou não.

Palavras-chave: Compostagem de resíduos orgânicos; SoC; ESP32; Monitoramento ambiental; Instrumentação eletrônica.

ABSTRACT

This project aims the implementation and evaluation of the functioning of a platform to monitor the variables that determine the effectiveness of aerobic composting of domestic organic waste. The system uses current technology based on the development of platforms for the Internet of Things (IoT), with implementation focused on small-scale applications and domestic use. A development board based on the System-on-Chip ESP32 is programmed to read temperature, humidity and oxygenation data, obtained from different sensors, and send this data to a supervisory system that presents the current status and a recent history of the process of compost. Data collected from the sensors are sent via wireless data network using WiFi technology, to the Arduino IoT Cloud supervisory system, installed on a server hosted in the cloud. User can connect to this server through the local network or through any browser on the world wide web. This system allows the user make a real time analisys or to download measurement data to any device for late analysis. Knowing the different values of variables such as temperature and humidity of the compost, users can interpret the state of the process and whether it is progressing correctly or not.

Keywords: Organic waste composting; Sysmte-on-Chip; ESP32; Environmental monitoring; Electronics instrumentation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos no brasil em 2020.	12
Figura 2 – A curva padrão da variação da temperatura do resíduo durante o processo de compostagem.	17
Figura 3 – Registro da variação da temperatura máxima diária e temperatura ambiente durante o processo de compostagem orgânica em pequenos volumes.	18
Figura 4 – Composteira de alumínio com capacidade de dois litros.	20
Figura 5 – Leira de compostagem montada em um galpão aberto, com dimensões de 15 m x 8 m de área coberta.	20
Figura 6 – Composteira doméstica preta de três caixas com volume total de 15 Litros.	21
Figura 7 – Categorias de resíduos orgânicos que podem ou não podem ser colocados na composteira.	22
Figura 8 – Diagrama gráfico do sistema de compostagem, contendo a interface com o usuário, o supervisor na nuvem e a plataforma eletrônica de monitoramento da compostagem.	23
Figura 9 – Imagem do módulo SoC ESP32, de 38 pinos, integrado com demais componentes eletrônicos, tais como regulador de tensão, LEDs, conector USB-mini e gerador de relógio.	24
Figura 10 – Descrição dos pinos do módulo ESP32-WROOM-32 com conversor USB-UART CP2102 e número total de 38 pinos, descritos na imagem.	25
Figura 11 – Imagem da IDE Arduino versão 2.0	25
Figura 12 – Adicionado a placa esp32 através.	26
Figura 13 – Adicionando a placa ESP32 no gerenciador de placas.	26
Figura 14 – Diagrama de pinos do sensor de temperatura DS18B20.	27
Figura 15 – Imagem do encapsulamento do sensor do sensor DS18B20.	28
Figura 16 – O sensor de umidade do solo HD-38.	29
Figura 17 – Características de funcionamento do sensor HD-38.	29
Figura 18 – Imagem do módulo de sensor de umidade e de temperatura DHT22 AM2302 e descrição dos pinos de alimentação e dados.	30
Figura 19 – Sensor DHT22 aberto e sem a tampa.	31
Figura 20 – Sensor de temperatura NTC e o gráfico de redução da resistência elétrica conforme o aumento da temperatura.	31
Figura 21 – Componente de detecção de umidade internos ao sensor DHT22.	31

Figura 22 – Imagem do sensor Mg811 usado para a detecção da concentração de dióxido de carbono (CO ₂).	32
Figura 23 – Gráfico de sensibilidade do sensor de dióxido de carbono Mg811, apresentando o decaimento da tensão gerada (em mV) pelo sensor com o aumento da concentração deste gás (em PPM).	33
Figura 24 – Módulo do sensor de gás MQ-135, usado para a detecção do gás amônia.	33
Figura 25 – O gráfico mostra a sensibilidade do sensor MQ-135 para diferentes concentrações de gases, obtida através da relação $RS/R0$.	34
Figura 26 – Módulo do sensor de Gás MQ-4, usando neste projeto para medição de gás metano.	35
Figura 27 – O gráfico mostra a sensibilidade do sensor MQ-4 para diferentes concentrações de gases, obtida através da relação $RS/R0$.	35
Figura 28 – Representação das ligações da montagem .	38
Figura 29 – Regulador de tensão ajustável LM2596.	39
Figura 30 – Material utilizado no procedimento de calibração do sensor HD-38 .	39
Figura 31 – Esquema de ligações para teste de funcionamento dos sensores Mg811, MQ-4 e MQ-135.	40
Figura 32 – <i>Dashboard</i> de monitoramento da temperatura do composto e temperatura ambiente (em graus Celcius).	41
Figura 33 – <i>Dashboard</i> de monitoramento da umidade do ambiente (em porcentagem relativa).	41
Figura 34 – Sensores utilizados para comparar os resultados dos sensores DS18B20 e DHT22.	42
Figura 35 – Temperatura do ambiente e do composto do dia 11 de agosto de 2022.	43
Figura 36 – Temperatura do ambiente e do composto dia 12 de agosto de 2022.	43
Figura 37 – Temperatura do ambiente e do composto dia 13 de agosto de 2022.	44
Figura 38 – Temperatura do ambiente e do composto dia 14 de agosto de 2022.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – A temperatura dos resíduos das 12 composteiras de recipientes com volumes de 18 litros	18
Tabela 2 – Resolução do sensor DS18b20.	27
Tabela 3 – Tipos de mensagens MQTT.	37
Tabela 4 – Resultados da medida do HD-38	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i>
IoT	Internet of Things
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PPM	Partes Por Milhão
QoS	<i>Quality of Service</i>
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>
SoC	<i>System On Chip.</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VH	<i>Heater Voltage</i>

SUMÁRIO

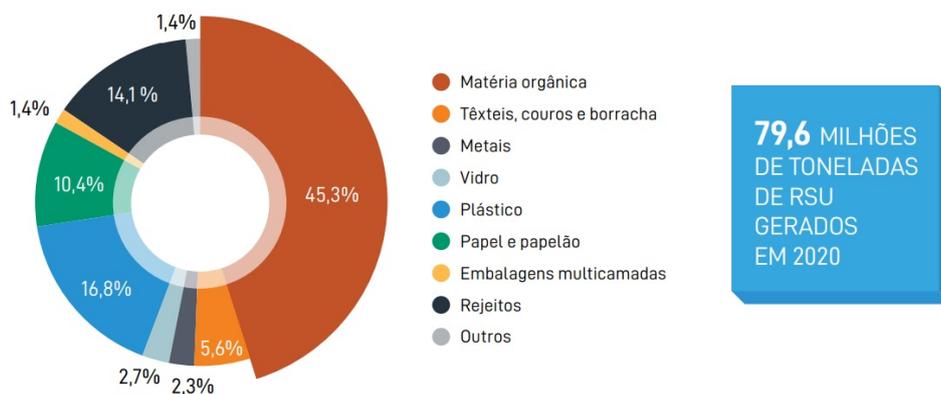
1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Características da matéria orgânica utilizada na compostagem	15
2.2	Temperatura e calor na compostagem	16
2.3	Umidade do Composto	18
2.4	Oxigenação do Composto	19
2.5	Armazenamento dos Resíduos Orgânicos	19
3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	21
3.1	materiais para compostagem	21
3.2	Hardware e Software	22
3.2.1	O Sistema-em-Chip ESP32	24
3.2.2	Sensores	27
3.2.2.1	Sensor de Temperatura do composto: Sensor DS18B20	27
3.2.2.2	O Protocolo de Comunicação Serial <i>one-Wire</i>	28
3.2.2.3	Sensor de Umidade do Composto: HD-38	28
3.2.2.4	Umidade e temperatura do ambiente: Módulo DHT22 AM2302	30
3.2.2.5	Sensores de Gases	32
3.2.2.5.1	Sensor de Dióxido de Carbono(CO ₂): Mg811	32
3.2.2.5.2	O Sensor de Amônia: MQ-135	33
3.2.2.5.3	Sensor de Gás Metano (CH ₄): MQ-4	34
3.2.3	MQTT	35
3.2.4	Arduino IoT Cloud	37
3.3	Desenvolvimento do Projeto	38
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	42
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

A frase “Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” é atribuída à Antoine Laurent Lavoisier (1743- 1794) refere-se a Lei da Conservação da Massa ou Lei de Lavoisier. Com esta afirmação, Lavoisier quis mostrar que dentro de um ambiente selado, não haverá perda ou criação de matéria dada qualquer reação química. Já do ponto de vista dos átomos e moléculas de uma substância, a Lei de Conservação das Massas afirma que durante uma reação química nenhum átomo ou molécula será criado, ou destruído. Esta Lei consegue descrever as relações do ser humano com a meio ambiente, onde nenhuma matéria utilizada pela humanidade desaparece, mas fica depositado em algum lugar a espera de transformação (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

Os resíduos sólidos orgânicos consistem em material orgânico descartado, na forma de restos de alimentos, resíduos verdes e madeiras. Conforme a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, o Brasil produziu cerca de 79,6 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2020, sendo 45,3 % desses matéria orgânica descartada, conforme é mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos no brasil em 2020.



Fonte: Abrelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2020).

Esse material pode ser convertido em adubo, gás combustível e outras formas de energia. Entretanto, apenas 1 % dos resíduos coletados são reutilizados e transformados em produtos que podem ser reutilizados de forma benéfica ao meio ambiente (SOARES; KIRKLEWSKI, 2019).

Os métodos para o tratamento dos resíduos orgânicos incluem: vermicompostagem (através de minhocas), enterramento, biodigestão, incineração e compostagem. A compostagem é um método de reciclagem de resíduos sólidos orgânicos utilizada para transformação da matéria orgânica descartada em um composto, que pode ser utilizado como fertilizante do solo (CALIJURI; CUNHA, 2013) (AMBIENTE; SESC/SC, 2017).

O processo de compostagem é influenciado por diversos fatores ambientais, tais como a relação C/N (Carbono/Nitrogênio), a umidade do ambiente e do solo, a temperatura do ambiente e do composto, a aeração, o pH e a granulometria do composto. O conhecimento do comportamento destes fatores permite desenvolver da melhor forma o processo de compostagem.

O uso de tecnologias que permitissem monitorar o comportamento ao longo do tempo e atuar sobre esses fatores durante o processo de compostagem permitiria determinar a intervenção necessária mais efetiva para acelerar o processo de decomposição e torná-lo mais eficiente (SILVA et al., 2019).

A tecnologia pode ser entendida como uso do conhecimento disponível para produção de artefatos que auxiliem o ser humano a modificar e obter informações do mundo de acordo com suas intenções. Assim o ser humano quando consciente de uma necessidade busca através do conhecimento disponível produzir ferramentas que auxiliem a lidar com elas. A automação consiste em aplicar tecnologia à determinadas atividades aumentando assim a sua produtividade. Com um conjunto de equipamentos e dispositivos é possível monitorar e atuar nos processos obtendo maior controle sobre suas variações e alterar suas respostas.

Neste trabalho será apresentada a elaboração de um sistema eletrônico capaz de monitorar os parâmetros ambientais de um processo de compostagem residencial, utilizando componentes eletrônicos capazes de adquirir e armazenar dados coletados por sensores de medição de temperatura, umidade e oxigenação.

1.1 OBJETIVOS

A pesquisa desenvolvida neste projeto tem como objetivo geral compreender os processos de compostagem de resíduos orgânicos estipulando maneiras de medir e parâmetros da decomposição afim projetar ma plataforma de monitoramento de compostagem uso doméstico.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de atender ao objetivo proposto, alguns objetivos específicos foram estabelecidos:

1. Revisar a literatura sobre compostagem de resíduos orgânicos;
2. Escolher sensores de acesso comercial e verificar a viabilidade do uso deses sensores para uso no processo de monitoramento;
3. Implementar uma plataforma de controle, monitoramento, aquisição e transmissão dos dados obtidos dos sensores para um sistema supervisorio;
4. Avaliar os resultados das medidas obtidas pelos sensores e suas implicações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Sir Albert Howard (1873-1947) um precursor da agricultura orgânica em seu livro “O Testamento Agrícola” faz a seguinte citação: “O primeiro princípio de uma agricultura bem-sucedida, é uma correta correlação entre os processos de crescimento e de decomposição. Se acelerarmos o crescimento, temos que acelerar a decomposição”. A compostagem consiste na decomposição matéria orgânica realizada por microorganismos produzindo como resultado uma substância que pode ser usada como fertilizante para o solo. Esta substância fertilizante serve como fonte de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento plantas. A decomposição é o processo pelo qual as substâncias orgânicas são quebradas em matéria orgânica ou inorgânica mais simples, como dióxido de carbono, água, açúcares simples e sais minerais que podem servir para nutrir o crescimento de outros seres vivos (LYNCH; NEUFELD, 2015; SOUZA et al., 2019; HAUG, 1993).

Os microorganismos são os agentes biológicos que promovem a transformação e a modificação das propriedades químicas e físicas da matéria em decomposição no processo de compostagem. Tais mudanças permitem caracterizar o processo de compostagem em diferentes fases, sendo que comunidades diferentes de microrganismo predominam nas variadas fases da compostagem (SOUZA et al., 2020).

Microrganismos como bactérias, fungos e actinomicetos são considerados decompositores químicos, pois alteram a química dos resíduos orgânicos, sendo responsáveis pela maior parte da decomposição que ocorre na compostagem. Outros organismos como ácaros, centopeias, percevejos, caracóis, besouros, formigas, vermes chatos, rotíferos e minhocas são responsáveis pela alteração física do material, triturando-o e diminuindo-o em pedaços menores. (DAY; SHAW, 2001).

2.1 CARACTERÍSTICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA UTILIZADA NA COMPOSTAGEM

Os resíduos orgânicos são os materiais onde os microorganismos realizam o processo de compostagem e também são uma fonte de nutrientes para eles. Os resíduos orgânicos consistem nos restos de material sólido de origem biológica, como sobras de animais ou de vegetais, e inclui principalmente resíduos de cozinha (alimentos estragados, partes não comestíveis), cinzas, solo, esterco e outros materiais vegetais e animais (DAY; SHAW, 2001).

Frequentemente os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em dois grupos: i) o grupo dos materiais ricos em carbono (elevada razão C/N) e; ii) o

grupo dos materiais ricos em nitrogênio (com baixa razão C/N) (SOUZA et al., 2020).

Na construção de uma composteira é conveniente que o material a ser colocado no recipiente onde vai ocorrer o processo de compostagem mantenha uma razão carbono/nitrogênio na faixa de 20-40 (20/1 a 40/1), no qual o carbono é utilizado pelos microrganismos como fonte de energia e o nitrogênio para síntese de proteínas (BRITO, 2017).

A razão C/N em uma faixa inadequada gera efeitos adversos à compostagem. Quando o nitrogênio fica em excesso, ele poderá ser perdido na forma de amônia (NH_3) em estado gasoso, causando odores incômodos. Quando o carbono ocorre em excesso, a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono não será degradado, conduzindo temperaturas abaixo do esperado e fazendo com que a compostagem se processe mais lentamente (MIHELICIC, 2017).

Materiais com alto teor de carbono tendem a ser marrons e secos enquanto materiais com alto teor de nitrogênio tendem a ser verdes e úmidos, incluído frutas e vegetais (FERNANDES, 1999).

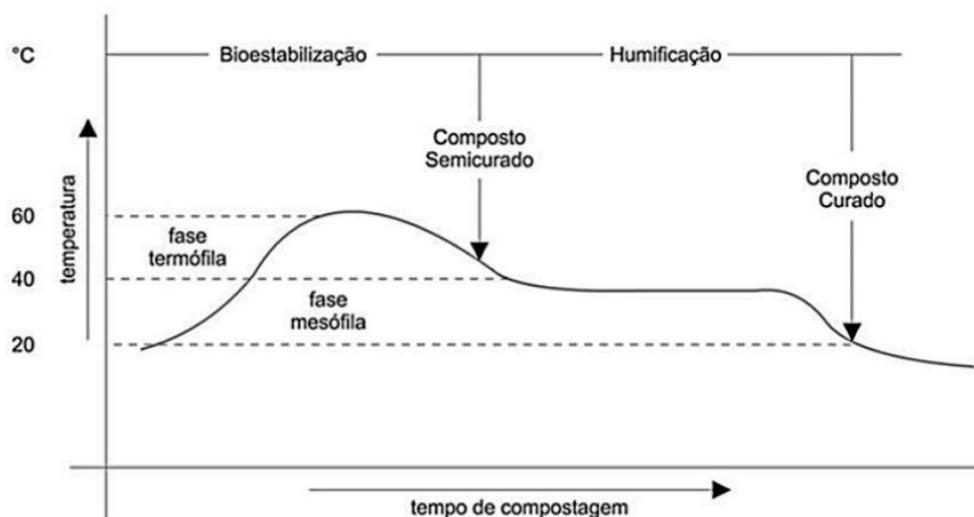
2.2 TEMPERATURA E CALOR NA COMPOSTAGEM

A temperatura é entendida na física como a medida do grau de agitação das moléculas de sistema enquanto o calor é caracterizado pela transferência de energia térmica que flui de um corpo ao outro. O aumento de temperatura na compostagem é oriundo da atividade dos microrganismos presentes no sistema de compostagem. A temperatura influencia outros fatores importantes na compostagem, tais como o o fluxo de ar e a umidade no sistema. Na Figura 2 é mostrada a curva padrão da variação da temperatura do resíduo durante o processo de compostagem em leiras de compostagem de grande volume (maiores do que um metro cúbico) (KIEHL, 2012).

As faixas de temperatura definem o predomínio de determinados grupos de microrganismos, sendo eles classificados em: criofílicos (temperatura de até 20°C), mesofílicos (algo em torno de 20 a 40°C) e termofílicos (acima de 40°C) (D'ALMEIDA; VILHENA et al., 2000).

No entanto esta curva padrão de variação de temperatura somente ocorre diante de certas condições que envolvem: i) o tipo resíduo utilizado; ii) a massa total dos resíduos e; iii) o volume ocupado pelo resíduo. As temperaturas máximas e mínimas tendem a ser altas em leiras de compostagem de grande volume (maior que um metro cúbico), variando entre a temperatura ambiente até 40 °C, em uma fase inicial mesofílica, subindo até 60 °C, em uma fase intermediária denominada de termofílica, e depois descendo novamente a faixa de 45°C em uma fase final de maturação do composto.

Figura 2 – A curva padrão da variação da temperatura do resíduo durante o processo de compostagem.



Fonte: adaptado de (D'ALMEIDA; VILHENA et al., 2000)

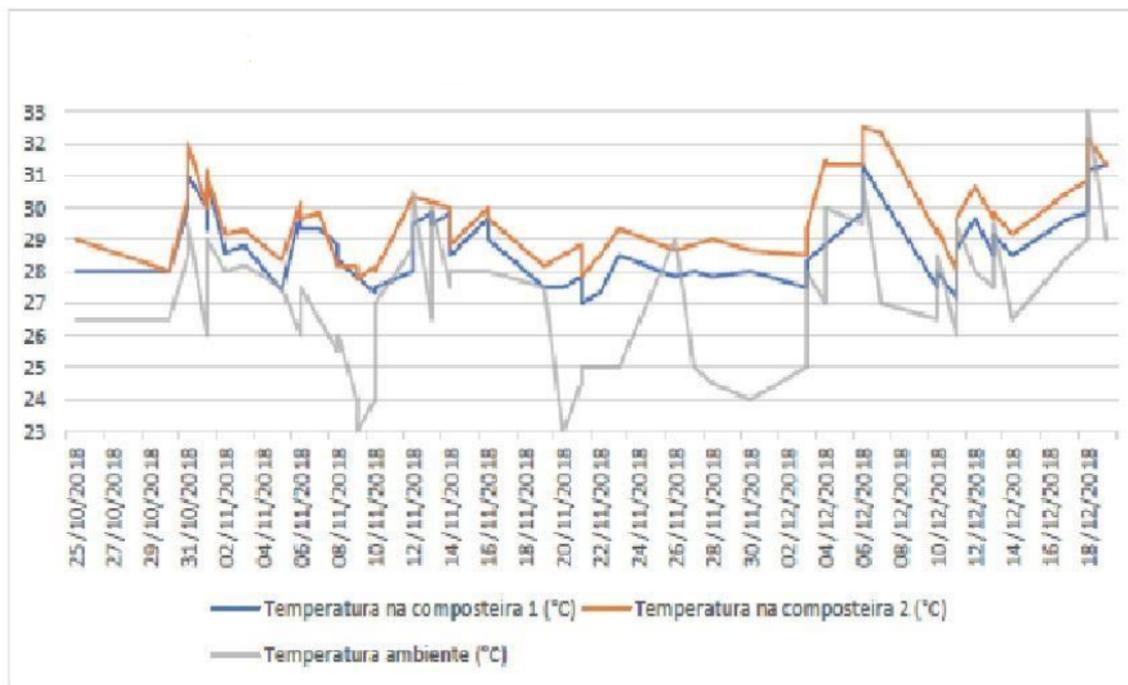
Para processo de compostagem de pequeno volume (menor que um metro cúbico), a perda de calor para o ambiente externo é maior se comparado a uma leira de grande volume. Também há um número menor de microorganismos para aumentar a temperatura. Com isso, a temperatura no sistema de compostagem é menor do que se comparada ao processo de compostagem de um grande volume de matéria orgânica (INÁCIO; MILLER, 2009).

Na Figura 3 é apresentada a medição de temperatura do composto em duas composteiras de pequeno volume. (LACERDA et al., 2020). Neste estudo, a composteira 1 contém um volume de 161 litros (161 dm^3) e a composteira 2 (feita com um balde de plástico) contém volume de 15 litros (15 dm^3).

No gráfico de variação da temperatura ao longo do processo de compostagem, mostrado na Figura 3, a temperatura máxima nas composteiras 1 e 2 atingiu valores acima de 32 °C , enquanto que a mínima ficou acima de 27 °C . A temperatura ambiente variou na faixa de 23 °C a 33 °C .

Em outro trabalho feito com 12 composteiras de 18 litros (18 dm^3) cada, em que o resultado é mostrado na Tabela 1 somente quatro das doze composteiras tiveram o aumento e decaimento da temperatura similar à curva padrão da variação da temperatura. Essa pouca variação na temperatura nas composteiras domésticas pode prejudicar a qualidade final do composto devido à não ciclagem dos agentes decompositores, à não sanitização do composto. No entanto não impedem que se produza um composto final que possa ser utilizado como fertilizante (MELO; ZANTA, 2016).

Figura 3 – Registro da variação da temperatura máxima diária e temperatura ambiente durante o processo de compostagem orgânica em pequenos volumes.



Fonte: adaptado de (LACERDA et al., 2020).

Tabela 1 – A temperatura dos resíduos das 12 composteiras de recipientes com volumes de 18 litros

Composteira	Dias de monitoramento da temperatura (°C)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	35°C	35°C	38°C	38°C	38°C	37°C	37°C	39°C	39°C	39°C	38°C	38°C
2	34°C	36°C	38°C	38°C	39°C	39°C	39°C	36°C	35°C	34°C	34°C	34°C
3	35°C	39°C	42°C	43°C	43°C	43°C	40°C	39°C	40°C	37°C	36°C	34°C
4	36°C	37°C	37°C	40°C	40°C	38°C	39°C	39°C	38°C	38°C	37°C	37°C
5	36°C	38°C	43°C	44°C	44°C	43°C	41°C	40°C	39°C	37°C	35°C	35°C
6	36°C	37°C	37°C	37°C	37°C	37°C	37°C	38°C	36°C	36°C	36°C	36°C
7	35°C	37°C	37°C	37°C	35°C	35°C	35°C	35°C	34°C	34°C	34°C	34°C
8	36°C	38°C	38°C	37°C	36°C	36°C	36°C	35°C	35°C	35°C	34°C	34°C
9	37°C	39°C	41°C	42°C	40°C	39°C	39°C	38°C	37°C	37°C	37°C	33°C
10	34°C	34°C	36°C	37°C	37°C	39°C	39°C	38°C	38°C	38°C	38°C	38°C
11	34°C	37°C	37°C	39°C	39°C	39°C	39°C	38°C	38°C	39°C	39°C	38°C
12	34°C	38°C	41°C	43°C	44°C	42°C	42°C	40°C	39°C	38°C	35°C	35°C

fonte: Adaptado de (MELO; ZANTA, 2016).

2.3 UMIDADE DO COMPOSTO

O teor de umidade indica a quantidade de água que está disponível para atividade microbiana no processo, pois a atividade metabólica e de reprodução dos microrganismos necessita de água. No entanto, o excesso de água acaba por dificultar a oxigenação, pois bloqueia a porosidade no material causando anaerobiose e atrasando a decomposição do material. Como resultado, tem-se a produção de gases como o metano que causam mau

cheiro (SOUZA et al., 2020).

A umidade no processo de compostagem deve ficar acima de 40 % e abaixo de 60 %, para a estabilização das atividades microbianas (NETO, 2004 apud SILVA, 2022). Tais valores foram estabelecidos para leiras de compostagem de grande volume (maiores que um metro cúbico). Não foram encontrados referências que indique valores ideais de umidade para composteiras de pequeno volume. Em medidas feita em uma composteira com cerca de 2 litros (dois decímetros cúbicos), os valores de umidade variaram entre 35 % e 71 % (COOPER et al., 2010).

2.4 OXIGENAÇÃO DO COMPOSTO

Os microorganismos que realizam a compostagem liberam a energia presente nas moléculas orgânicas através de reações de químicas de oxirredução. Esse processo de oxidação da matéria orgânica pode acontecer na presença de oxigênio (levando ao processo aeróbio) e na sua ausência (levando ao processo anaeróbio). A falta de uma quantidade suficiente de oxigênio pode levar a um processo de oxidação anaeróbia, que é acompanhada de putrefação e mau cheiro, sendo que um forte indicador de zonas de anaerobiose é a liberação de gás metano (CH_4) (INACIO, 2010) (NEVES; RUMJANECK, 1992).

Uma das formas utilizadas para manter-se o composto oxigenado é através do controle do excesso de umidade. Valores elevados de umidade no composto bloqueiam a circulação de ar da composteira, dificultando a oxigenação. Mexer o material a ser compostado com uma determinada frequência é outra forma de controle de oxigenação, pois ajuda na criação de espaços vazios (poros) entre material por onde o ar pode circular e oxigenar processo (INÁCIO; MILLER, 2009).

2.5 ARMAZENAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Existem uma infinidade soluções de recipientes que podem ser usados para colocar os resíduos orgânicos com o intuito de realizar o processo de compostagem. Esses recipientes podem variar muito em forma, tamanho e material. Podem ser utilizados recipientes pequenos, como recipiente de alumínio de 2 litros feito para o Trabalho de Conclusão de Curso de Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva (2022) do Instituto Federal de Goiás, conforme apresentada na Figura 4.

A compostagem também pode ser feita em grande volumes em pátios fechados ou com alguma proteção para a chuva como mostrado na Figura 5.

Compostagens feitas por grande empresas costumam utilizar um grande volume de resíduos orgânicos empilhados, além de geralmente ter um tipo específico de resíduos

Figura 4 – Composteira de alumínio com capacidade de dois litros.



Fonte: adaptado de (SILVA, 2022).

Figura 5 – Leira de compostagem montada em um galpão aberto, com dimensões de 15 m x 8 m de área coberta.



Fonte: adaptado de (SILVA et al., 2019).

utilizado. Já o processo doméstico de compostagem costuma utilizar pequenos volumes de resíduos das mais variadas categorias de matéria orgânica consumidos no dia a dia.

Devido a esta diferença de volume e categoria de resíduos, a compostagem doméstica tem características diferentes de comportamento dos seus parâmetros, se comparado com a compostagem feita em grandes empresas. A diversidade de materiais orgânicos que é utilizada na compostagem residencial nem sempre é obedecida à relação C/N de forma adequada, o que pode levar a compostagem em baixas temperaturas (como mencionado anteriormente na Seção 2.1. Além disso, os volumes menores de matéria orgânica tendem a resultar em um processo com menores temperaturas máximas como observados nos trabalhos de Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva 2022, Sílvio Lacerda de Oliveira 2020 e Simara Lobo Melo 2016.

No próximo Capítulo serão apresentados os materiais utilizados na construção do protótipo deste projeto.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste Capítulo será explicado o conjunto de materiais utilizados para construção de uma composteira doméstica, os componentes eletrônicos utilizados para confecção do módulo de medição de parâmetros do processo de compostagem e como foi realizada a montagem do equipamento.

3.1 MATERIAIS PARA COMPOSTAGEM

Para este trabalho se optou por utilizar como método de armazenamentos uma composteira doméstica pequena de 15 litros mostrada na Figura 6, com duas Caixas Digestoras onde os resíduos orgânicos são degradados e uma Caixa Coletora onde fica depositado o fertilizante líquido, conhecido como chorume.

Figura 6 – Composteira doméstica preta de três caixas com volume total de 15 Litros.



Fonte: Autor (2022).

A composteira é alimentada por camadas de resíduos de alimentos orgânicos, tais como é orientado na Figura 7, e recoberta por uma pequena espessura de serragem.

Figura 7 – Categorias de resíduos orgânicos que podem ou não podem ser colocados na composteira.



Fonte: Adaptado de (DONO, 2019).

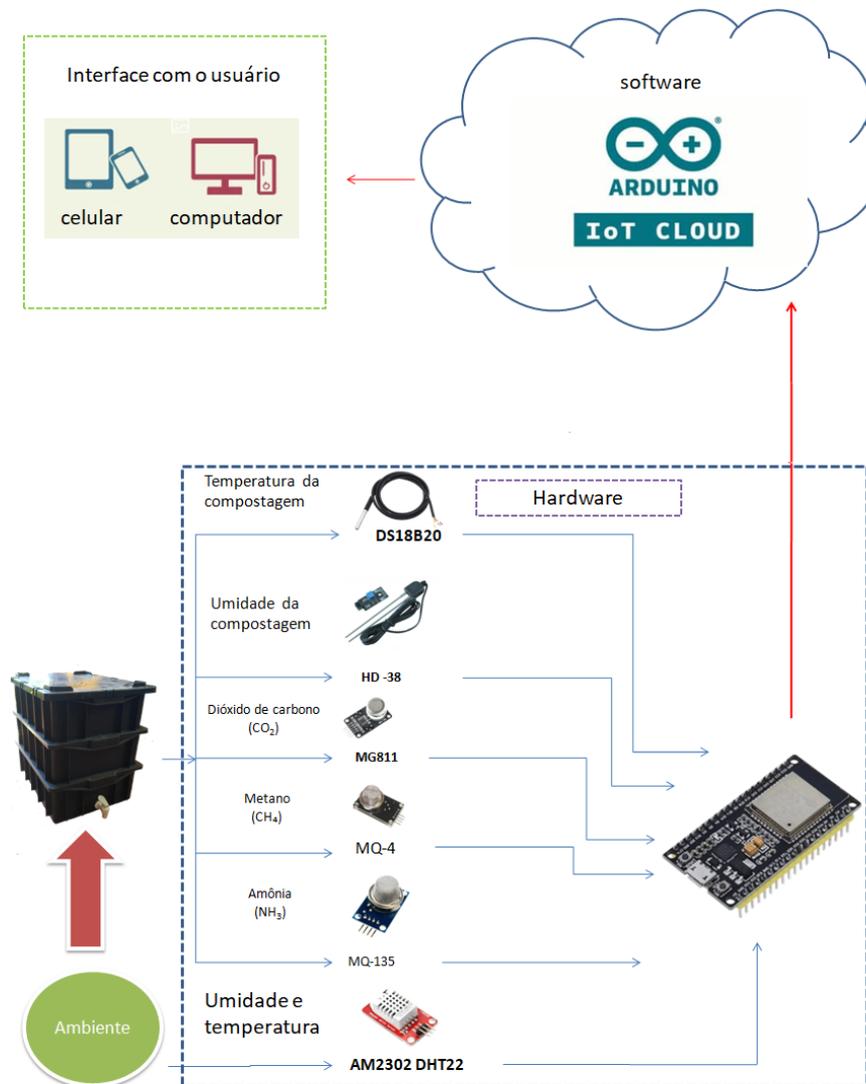
Alguns alimentos colocados na composteira favorecem o processo de degradação, outros o dificultam e outros alimentos são evitados porque atraem vetores. Restos, talos e casca de verduras e frutas (menos as cítricas), cascas de ovo, borra de café são uma excelente fonte de nitrogênio, Podas de grama e folhas também são um ótima fonte de nitrogênio. A serragem e folhas secas ajudam fornecendo carbono e diminuído a umidade do composto.

Frutas cítricas devem ser evitadas em excesso, pois alteram o pH da terra. Resíduos orgânicos como carne, laticínios, alho e cebola não devem ser colocados na compostagem, pois sua decomposição é lenta e desacelerando todo o processo de compostagem. Fezes de cães e gatos podem conter parasitas e vírus as plantas (VGRESIDUOS, 2019).

3.2 HARDWARE E SOFTWARE

O sistema eletrônico de monitoramento da compostagem será detalhado nesta seção. Uma visão geral das partes que compõem este sistema é apresentada na Figura 8.

Figura 8 – Diagrama gráfico do sistema de compostagem, contendo a interface com o usuário, o supervisor na nuvem e a plataforma eletrônica de monitoramento da compostagem.



Fonte: Autor (2022).

O sistema de monitoramento da compostagem consiste de uma plataforma eletrônica com sensores de temperatura, umidade e oxigenação controlados através de um Sistema-em-Chip ESP32. Os cinco sensores apresentados fazem a medidas dos parâmetros do processo de compostagem (internos à composteira). Um sexto sensor é utilizado para fazer a medição da temperatura e umidade do ambiente externo da composteira.

Os dados obtidos através da leitura dos sensores são processados pelo ESP32, que os envia para o supervisor Arduino IoT Cloud (instalado na nuvem) através da sua interface WiFi. Através do supervisor da nuvem, o usuário poderá ler as informações dos parâmetros da compostagem, em tempo real, ver o histórico recente de dados e também

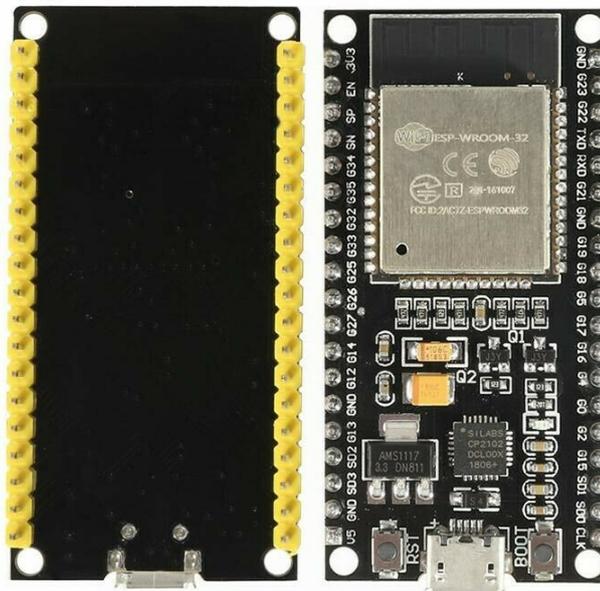
salvá-los em seu computador.

3.2.1 O SISTEMA-EM-CHIP ESP32

O ESP32 é o dispositivo responsável por controlar a leitura de dados dos diversos sensores e processar estes dados, que informam os estado dos parâmetros da compostagem. Criado pela Expressif Systems, o ESP32 é um Sistema-em-Chip (SoC) de baixa potência e baixo custo com capacidade de comunicação sem fios WiFi e bluetooth. Internamente, possui um microprocessador Tensilica Xtensa LX6, além de memórias, temporizador, comparador, entrada e saída programáveis e além de outros elementos integrados.

O SoC ESP32 apresentado na Figura 9 foi escolhido por ser uma plataforma de baixo custo com conectividade sem fios WiFi já integrado, sendo mais acessível a projetos com internet das coisas (IoT). Se comparado ao Arduino, dispensa a necessidade de outros módulos externos para obter a conexão a rede sem fios.

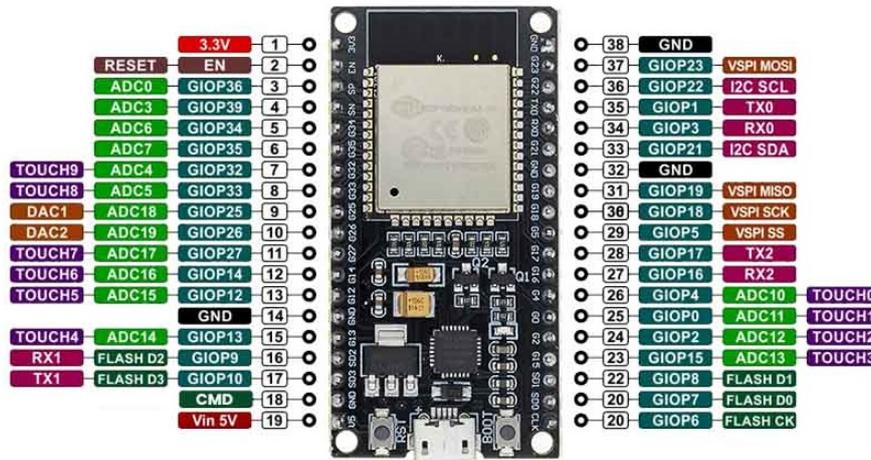
Figura 9 – Imagem do módulo SoC ESP32, de 38 pinos, integrado com demais componentes eletrônicos, tais como regulador de tensão, LEDs, conector USB-mini e gerador de relógio.



Fonte: Autor (2022).

O SoC ESP32 contém 34 pinos de entrada e saída de propósito geral (GPIO, *General Purpose Input Output*) compartilhados com funções de propósito específico. Estão disponíveis para o usuário 12 entradas de conversão de sinais analógicos para digital (ADC), fundamentais para a implementação deste projeto.

Figura 10 – Descrição dos pinos do módulo ESP32-WROOM-32 com conversor USB-UART CP2102 e número total de 38 pinos, descritos na imagem.



Fonte: Adaptado de (ELETROGATE, 2022).

Seus dois núcleos de processamento, com velocidade de 240 MHz, atingem o desempenho de 600 DMIPS. De maneira comercial, este SoC é frequentemente encontrado na forma de um módulo, onde e ele está inserido em uma placa com diversos outros componentes integrados (ESPRESSIF SYSTEMS, 2016).

Uma IDE é um ambiente de desenvolvimento integrado que contem os elementos básicos para verificar sintaxe da programação, compilar o código e enviar código ao microcontrolador. O ambiente que foi utilizado para a programação de software para o ESP32 é a IDE Arduino 2.0 mostrado na Figura 11, esta versão permite uma sincronização com projetos escritos Arduino IDE com a plataforma Arduino Cloud (BUKMAN, 2016).

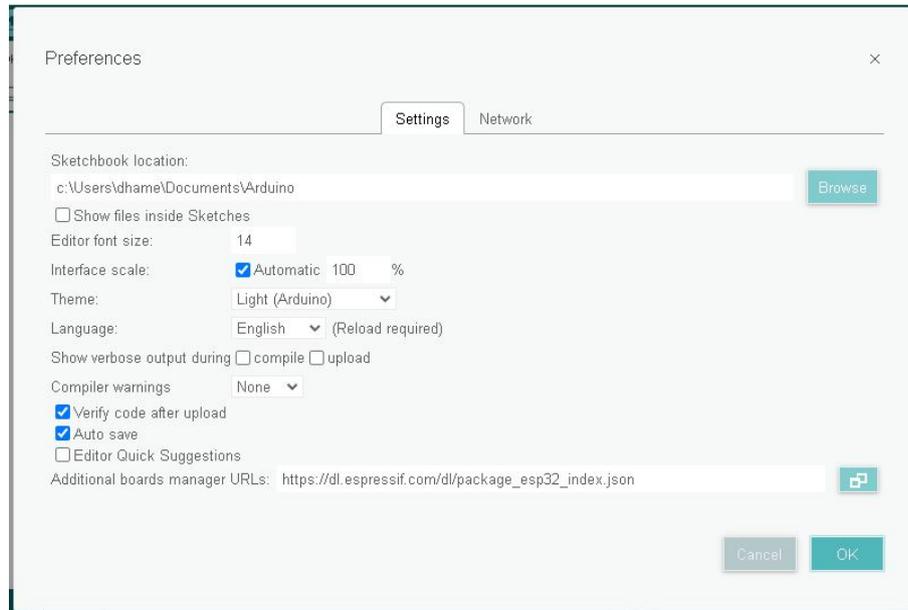
Figura 11 – Imagem da IDE Arduino versão 2.0



Fonte: autor (2022)

A placa ESP32 não está disponível na instalação padrão da arduino IDE sendo necessário adicioná-la por uma URL adicional para Gerenciadores de Placas mostrada na Figura 12 que permite acesso a uma base de dados que contém a configuração das placas da *Espressif Systems*.

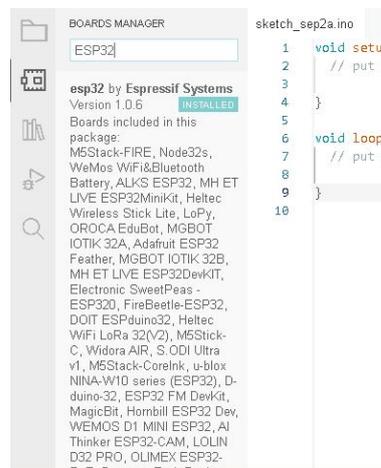
Figura 12 – Adicionado a placa esp32 através.



Fonte: autor (2022).

Apos a configuração URL a necessário adicionar uma biblioteca com configuração das placas esp32 no gerenciador de placas como mostrado na Figura 12. (MURTA, 2018).

Figura 13 – Adicionando a placa ESP32 no gerenciador de placas.



Fonte: autor (2022).

3.2.2 SENSORES

Conforme o Vocabulário Internacional de Metrologia (2012) medição é “processo experimental para obter um ou mais valores razoavelmente atribuíveis a uma grandeza” já um sensor pode ser entendido como “elemento de um sistema de medição que é diretamente submetido ao fenômeno, corpo ou substância que fornece a grandeza a medir”. Nesta parte são apresentados os sensores utilizados no projeto para fazer as medições em um processo de compostagem.

3.2.2.1 SENSOR DE TEMPERATURA DO COMPOSTO: SENSOR DS18B20

O monitoramento da temperatura é um procedimento importante para controlar o processo de compostagem. O sensor DS18B20 é um sensor de temperatura que fornece leituras entre $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ com a resolução de 9 bits a 12 bits, como demonstrado na Tabela 2.

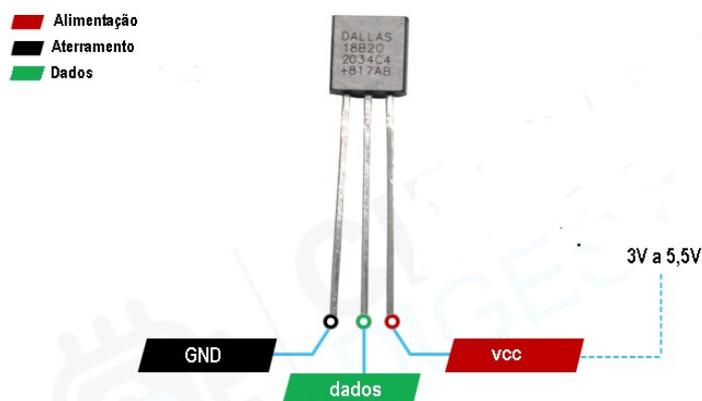
Tabela 2 – Resolução do sensor DS18b20.

9 bits	10 bits	11 bits	12 bits
0,5 $^{\circ}\text{C}$	0,25 $^{\circ}\text{C}$	0,13 $^{\circ}\text{C}$	0,0625 $^{\circ}\text{C}$

Fonte: Adaptado de (MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, 2019).

O sensor de temperatura DS18B20 possui 3 pinos VCC, GND e Dados (Figura 14), onde: i) VCC é a entrada de alimentação que pode ser de 3,3 V ou 5,0 V; ii) GND é a referência de tensão; iii) Dados é um sinal de comunicação bidirecional no padrão de protocolo one-wire que, como saída, fornece o valor de leitura de temperatura instantânea e, como entrada, é usado para configuração do sensor.

Figura 14 – Diagrama de pinos do sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: Adaptado de (LASTMINUTEENGINEERS, 2020).

O encapsulamento do sensor DS18B20 mostrado na Figura 15 é feito de um tubo em aço inoxidável, construído em material resistente a oxidação.

Figura 15 – Imagem do encapsulamento do sensor do sensor DS18B20.



Fonte: Adaptado de (ELETROGATE, 2022).

A cápsula pode ser inserida em diversas categorias de locais úmidos para que a temperatura possa ser aferida. O sensor de temperatura DS18B20 foi escolhido pela forma de encapsulamento que permite melhor isolamento, se comparado aos outros modelos comerciais disponíveis.

3.2.2.2 O PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO SERIAL *ONE-WIRE*

Um protocolo de comunicação é um conjunto de regras que permite que duas ou mais entidades de um sistema de comunicação troquem informações, para se conectar e enviar dados o sensor DS18B20 emega o protocolo *one-Wire*. Este protocolo utiliza apenas uma única linha de comunicação mestre para controlar um ou mais dispositivos escravos. Com a vantagem de utilizar apenas 1 pino para a comunicação de diversos dispositivos, é um protocolo simples e econômico para enviar e receber dados de diversos sensores.

Seu funcionamento consiste em 3 etapas: i) a primeira etapa habilita a comunicação e identifica os dispositivos escravos ligados; ii) a segunda etapa seleciona o dispositivo escravo que receberá os comandos e; iii) a terceira etapa ocorre a leitura ou escrita dos dados (LINKE, 2009).

3.2.2.3 SENSOR DE UMIDADE DO COMPOSTO: HD-38

O sensor de umidade do solo HD-38 apresentado na Figura 16 consiste em duas ponteiros usadas para medir a resistência elétrica do solo aonde está inserida.

Figura 16 – O sensor de umidade do solo HD-38.

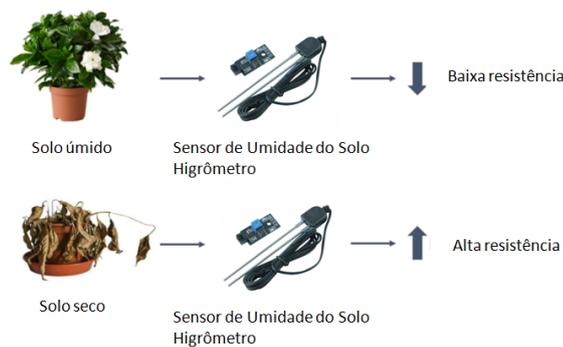


Fonte: Autor (2022).

As duas ponteiros permitem que a corrente passe pelo solo e então obtém o valor da resistência elétrica, que depende da quantidade de umidade. Desta forma, é possível obter-se uma estimativa do conteúdo volumétrico da água misturado com o solo ao seu redor.

O sensor HD-38 é utilizado como uma das resistências elétricas de um divisor resistivo, em que o valor da tensão sobre resistor formado pelas ponteiros do sensor e lido pelo microcontrolador com um sinal que corresponde aos valores de umidade no solo. Como mostrado na Figura 17 quando há mais água, o solo conduz mais eletricidade, o que significa que haverá menos resistência indicando um nível de umidade será maior. O solo seco conduz mal a eletricidade, portanto, quando houver menos água, o solo conduzirá menos eletricidade ocasionando uma maior resistência indicando o nível de umidade será menor.

Figura 17 – Características de funcionamento do sensor HD-38.



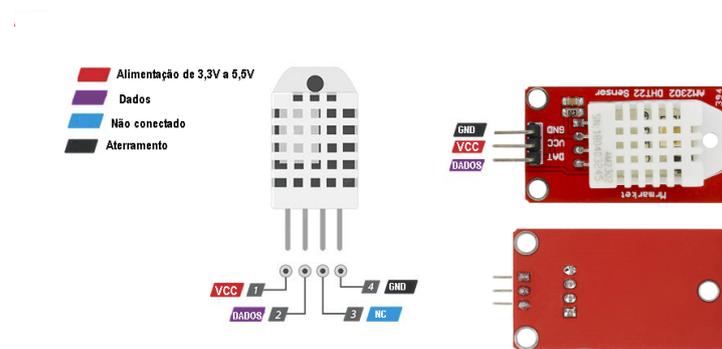
Fonte: Autor (2022).

3.2.2.4 UMIDADE E TEMPERATURA DO AMBIENTE: MÓDULO DHT22 AM2302

Em um processo de compostagem de pequeno volume as variações de umidade e temperatura do ambiente influenciam as variações dos parâmetros da compostagem. O sensor DHT22 é usado para medir a temperatura e a umidade no ambiente onde está colocada a composteira. A temperatura de trabalho deste sensor é de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ com uma acurácia menor do que $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que a faixa de umidade é de 0 a 100 % com uma acurácia de $\pm 2\text{ }%$.

O sensor DHT22 possui 4 pinos: VCC, GND, Dados e NC (como é mostrado na Figura 18). Entre os pinos VCC e GND é possível colocar-se uma tensão de alimentação de 3,3 a 5,5 volts. O pino Dados transmite as informações de leitura e o pino NC não é utilizado.

Figura 18 – Imagem do módulo de sensor de umidade e de temperatura DHT22 AM2302 e descrição dos pinos de alimentação e dados.



Fonte: Adaptado de How To Mechatronics (2015).

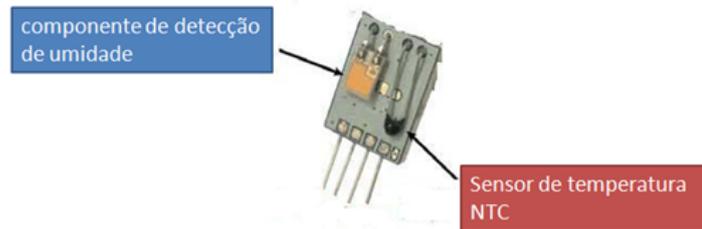
O DHT22 contém um componente de detecção de umidade e um sensor de temperatura NTC (ou termistor) em um único encapsulamento (como é mostrado na Figura 19).

Um termistor NTC apresentado na Figura 20 é usado para medir a temperatura. Um termistor é um dispositivo semiconductor que muda sua resistência conforme a variação da temperatura.

Os termistores são feitos para que a resistência mude com a temperatura, de modo que possa se alterar 100 ohms ou mais de mudança por grau Celsius. O acrônimo NTC significa *Negative Temperature Coefficient* o que significa que a resistência diminui com o aumento da temperatura (NEDELKOVSKI, 2015).

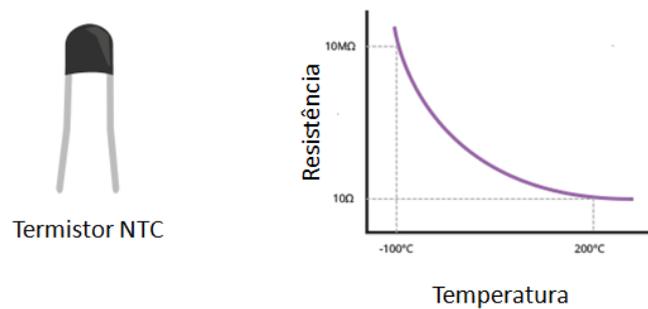
Para medir a umidade do ambiente, o sensor DHT22 tem dois eletrodos que possuem um substrato de retenção de umidade entre eles (como é mostrado na Figura 21).

Figura 19 – Sensor DHT22 aberto e sem a tampa.



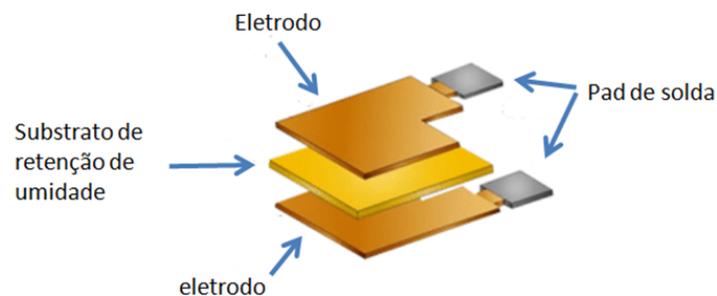
Fonte: Adaptado de How To Mechatronics (2015).

Figura 20 – Sensor de temperatura NTC e o gráfico de redução da resistência elétrica conforme o aumento da temperatura.



Fonte: Adaptado de How To Mechatronics 2015.

Figura 21 – Componente de detecção de umidade internos ao sensor DHT22.



Fonte: Adaptado de How To Mechatronics (2015).

Íons são liberados pelo substrato à medida que o vapor de água é absorvido aumentando a condutividade entre os eletrodos. A mudança na resistência entre os dois

eletrodos é proporcional à umidade relativa a umidade mais alta diminui a resistência entre os eletrodos, enquanto a umidade mais baixa aumenta a resistência entre os eletrodos (NEDELKOVSKI, 2015).

3.2.2.5 SENSORES DE GASES

Neste projeto foram utilizados diferentes sensores de gases para monitorar a emissão de metano, CO₂ e amônia. Os sensores utilizados são fabricados a partir de dispositivos semicondutores e detectam gases a partir de alterações em sua condutividade elétrica, devido à redução de gases existentes no ar, sendo que a condutividade na presença do gás pode aumentar ou reduzir dependendo do tipo de substância química utilizada no sensor.

Esses sensores funcionam a partir de uma tensão de aquecimento (VH ou *heater voltage*). Esta tensão de aquecimento fornece uma temperatura de operação necessária para o funcionamento do sensor, podendo ser ele influenciado pelas oscilações na temperatura ambiente onde estão sendo feita as medições. As principais vantagens de utilizar esses sensores são o baixo custo de aquisição e o tamanho reduzido.

Nesses, o gás atmosférico penetra primeiro por uma membrana selecionadora que separa a parte do ar que será medida. Após passar pela membrana, o gás entra em contato com os eletrodos e o eletrólito dentro do sensor. Quando a substância entre contato com eletrodos a uma alteração na condutividade elétrica eles.

3.2.2.5.1 Sensor de Dióxido de Carbono(CO₂): Mg811

O sensor Mg811 mostrado na Figura 22 é usado avaliar a quantidade de dióxido de carbono liberada na compostagem.

Figura 22 – Imagem do sensor Mg811 usado para a detecção da concentração de dióxido de carbono (CO₂).

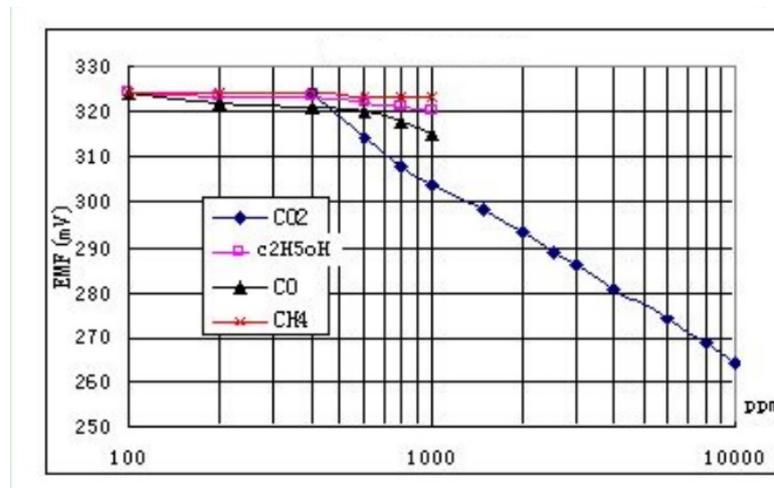


Fonte: Adaptado de (MYBOTIC; INSTRUCTABLES, 2020).

Seu funcionamento se dá através de uma reação química que ocorre quando o dióxido de carbono é captado pelo sensor. As características elétricas do sensor de gás

MG-811 mostram que a uma maior concentração de dióxido de carbono (dada em PPM - Partes por Milhão) menor será a tensão de saída no sensor (dada em mV) representado pelo gráfico da Figura 23.

Figura 23 – Gráfico de sensibilidade do sensor de dióxido de carbono Mg811, apresentando o decaimento da tensão gerada (em mV) pelo sensor com o aumento da concentração deste gás (em PPM).



Fonte: Datasheet MG811 (2015).

Ao ligá-lo pela primeira vez ele inicia um processo de aquecimento que leva cerca de 30 a 60 segundos para atingir a estabilização. Uma vez estabilizado, o sensor está pronto para detectar a concentração de CO₂ (SAPTIANI et al., 2019).

3.2.2.5.2 O Sensor de Amônia: MQ-135

A medição de amônia (NH₃) durante o processo de compostagem é utilizada como um parâmetro para determinar a quantidade de nitrogênio. Quando o nitrogênio fica em excesso, ele poderá ser perdido como amônia. O sensor MQ-135 (mostrado na Figura 24) é usado para detectar a presença de gás amônia, indicando o excesso de nitrogênio.

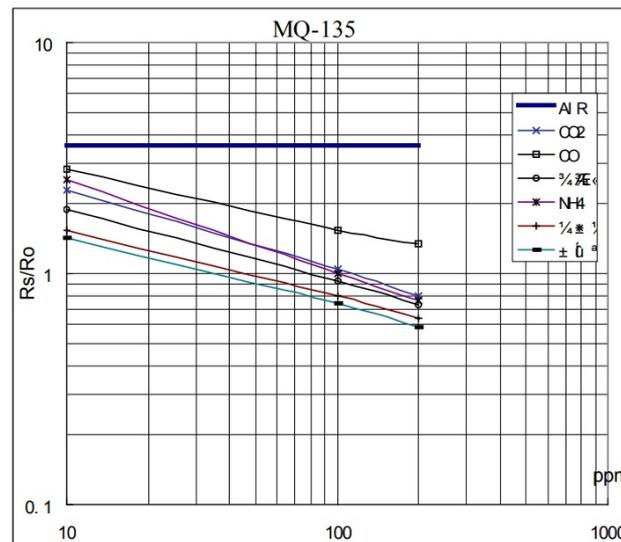
Figura 24 – Módulo do sensor de gás MQ-135, usado para a detecção do gás amônia.



Fonte: Autor (2022).

O material sensível do sensor MQ-135 se comporta como uma resistência variável aos vários tipos de gases concentrados, sendo necessário um ajuste para o gás que se deseja medir. Como mostrado na Figura 25, o sensor MQ-135 apresenta uma relação inversa entre o a concentração de gases (dada em PPM) e valor da relação entre as resistência RS e $R0$.

Figura 25 – O gráfico mostra a sensibilidade do sensor MQ-135 para diferentes concentrações de gases, obtida através da relação $RS/R0$.



Fonte: Datasheet MQ135 [2015](#).

O valor de RS indica o valor da resistência do sensor em contato com diferentes gases enquanto que o valor de $R0$ a resistência do sensor em ar limpo.

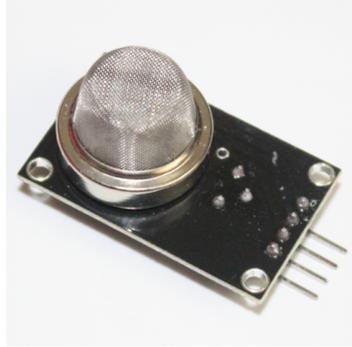
3.2.2.5.3 Sensor de Gás Metano (CH₄): MQ-4

A presença de gás metano na compostagem indica uma falta de oxigenação do composto. O sensor MQ-4 (Figura 26) foi fabricado para detecção de gases inflamáveis como Metano, Propano e Butano. Sua construção detecta especialmente o gás Metano.

Como mostrado na Figura 27 seu funcionamento é semelhante ao sensor MQ-135, onde ele contém um material sensível que se comporta como uma resistência variável aos vários tipos de gases concentrados, sendo necessário um ajuste para o gás que se deseja medir.

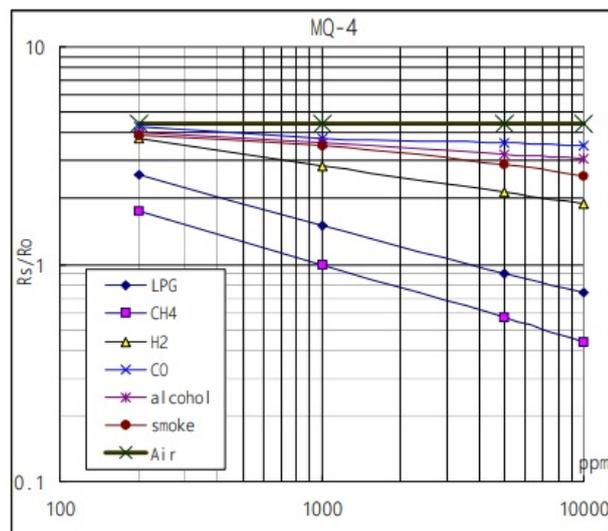
Assim como o MQ-135 o valor de RS indica o valor da resistência do sensor em contato com diferentes gases enquanto que o valor de $R0$ a resistência do sensor em ar limpo.

Figura 26 – Módulo do sensor de Gás MQ-4, usando neste projeto para medição de gás metano.



Fonte: Autor (2022)

Figura 27 – O gráfico mostra a sensibilidade do sensor MQ-4 para diferentes concentrações de gases, obtida através da relação R_S/R_0 .



Fonte: Fonte: Datasheet MQ-4 2010

3.2.3 MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo que teve sua primeira versão lançada em 1999, utilizado para monitorar oleodutos dentro de um sistema de controle industrial SCADA. Desenvolvido para exigir pouco processamento e também não necessitar de muita largura de banda, é um protocolo muito usado para sistemas embarcados. Em trabalhos que comparam a eficiência dos protocolos de comunicação de redes HTTP, CoAP e MQTT o protocolo MQTT se mostrou o mais indicado para uso em um dispositivo IoT (Internet das Coisas) (SOARES, 2019; MQTT.ORG, 2022).

O protocolo MQTT utiliza um modelo de *Publish/Subscribe* que tem dois tipos de entidades de rede: i) O Broker, que é um servidor intermediário da informação que

recebe e envia os dados enviados pelos clientes e; ii) os clientes que possuem dois tipos de atuações, postagem (*publish*) e recebimento (*subscriber*) sendo possível trabalhar como postagem, recebimento ou nos dois em simultâneo. A interação entre clientes *publish* e *subscriber* se dá por meio da criação de tópicos, os *publish* criam tópicos no *broker* para onde enviam uma informação específica e os clientes *subscriber* podem se inscrever nos tópicos que tem a informação que eles desejam receber (HIVEMQ, 2015).

Os nomes de tópicos são *strings* que podem representar uma hierarquia de informações usando o caractere barra (/) para separar os níveis da hierarquia, como é mostrado no exemplo abaixo (RIBAS, 2022):

- **topic:** /casa/terreo/composteira/temperatura
- **topic:** /casa/terreo/ambiente/temperatura
- **topic:** /casa/terreo/composteira/umidade
- **topic:** /casa/terreo/ambiente/umidade

Os clientes assinantes podem usar filtros para especificar quais mensagens querem receber. Para realizar esta filtragem, se utilizam dois caracteres coringas + e #, onde o caractere + é utilizado para filtrar um tipo de mensagem específica em um nível e o caractere # serve para selecionar todas as mensagens de um determinado nível, como mostrado no exemplo abaixo (RIBAS, 2022).

No exemplo abaixo, mostra-se a sintaxe utilizada para receber apenas os sensores de temperatura do nível térreo, usa-se:

- **topic:** /casa/terreo/+ /temperatura

No exemplo abaixo, mostra-se a sintaxe utilizada para receber informações de todos os sensores da nível térreo, usa-se:

- **topic:** /casa/terreo/#

No protocolo MQTT tem-se três diferentes qualidades de serviço (QoS) para a entrega das mensagens. Essas qualidades de serviço consistem em relação de garantia de entrega entre um *publisher* e um *subscriber* como descritas abaixo (TOLDINAS et al., 2019):

- QoS 0: No máximo uma vez;
- QoS 1: Pelo menos uma vez;

- QoS 2 : Exatamente uma vez.

Na configuração QoS 0 não confirmação da entrega da mensagem assim nesta QoS a mensagem é enviada apenas uma vez não havendo passos seguintes.

Na configuração QoS 1 garante que a mensagem seja entregue pelo menos uma vez. para isso o remetente armazena a mensagem até receber um pacote do destinatário que reconhece o recebimento da mensagem. É possível que uma mensagem seja enviada ou entregue várias vezes.

Na configuração QoS 2, a mensagem é entregue exatamente uma vez necessitando que a mensagem seja armazenada localmente no emissor e no receptor até o final do processo. Este QoS funciona com dois pares de solicitação de resposta, sendo que o primeiro par consiste no envio da mensagem e a resposta da recepção e o segundo par consiste no aviso que a resposta de recepção foi recebida e no envio da confirmação que processo foi concluído e a mensagem pode ser apagada.

Uma mensagem MQTT pode variar de 16 a 40 bits. Os primeiros 8 bits da mensagem se dividem nos 4 primeiros bits iniciais para identificar o tipo de mensagem (como é mostrado na Tabela 3), um bit seguinte com indicador de mensagem duplicada, dois bits para identificar o tipo de QoS e mais um bit para informar se a mensagem irá ser retida ou não. Os próximos 32 bits definem o tamanho do pacote (NERI; LOMBA; BULHÕES, 2019).

Tabela 3 – Tipos de mensagens MQTT.

Valor	Nome	Direção	Descrição
0000	Reservado	Proibido	Reservado
0001	CONNECT	Cliente para Servidor	Requisição do cliente para conectar ao servidor
0010	CONNACK	Servidor para Cliente	Reconhecimento da conexão
0011	PUBLISH	Cliente para Servidor ou Servidor para cliente	Publicar mensagem
0100	PUBACK	Cliente para Servidor ou Servidor para cliente	Reconhecimento da publicação
0101	PUBREC	Publicação recebida	Publicação recebida(parte 2 do QoS=1)
0110	PUBREL	Cliente para Servidor ou Servidor para cliente	Publicação lançada(parte 2 do QoS=2)
0111	PUBCOMP	Cliente para Servidor ou Servidor para cliente	Publicação completa(parte 3 do QoS=2)
1000	SUBSCRIBE	Cliente para Servidor	Pedido de inscrição
1001	SUBACK	Servidor para cliente	Reconhecimento de inscrição
1010	UNSUBSCRIBE	Cliente para Servidor	Pedido de desinscrição
1011	UNSUBACK	Servidor para cliente	Reconhecimento desinscrição
1100	PINGREQ	Requisição	Requisição PING
1101	PINGRESP	Servidor para cliente	Resposta PING
1110	DISCONNECTy	Cliente para Servidor	Cliente esta desconectado
1111	Reservado	Proibido	Reservado

Fonte: Adaptado de (NERI; LOMBA; BULHÕES, 2019).

3.2.4 ARDUINO IOT CLOUD

O Arduino IoT Cloud é uma plataforma de desenvolvimento e infraestrutura que facilita a criação de aplicativos e interface para navegadores. A plataforma fornece uma interface gráficas de configuração, escrita de código, *upload* e visualização. Com a Arduino

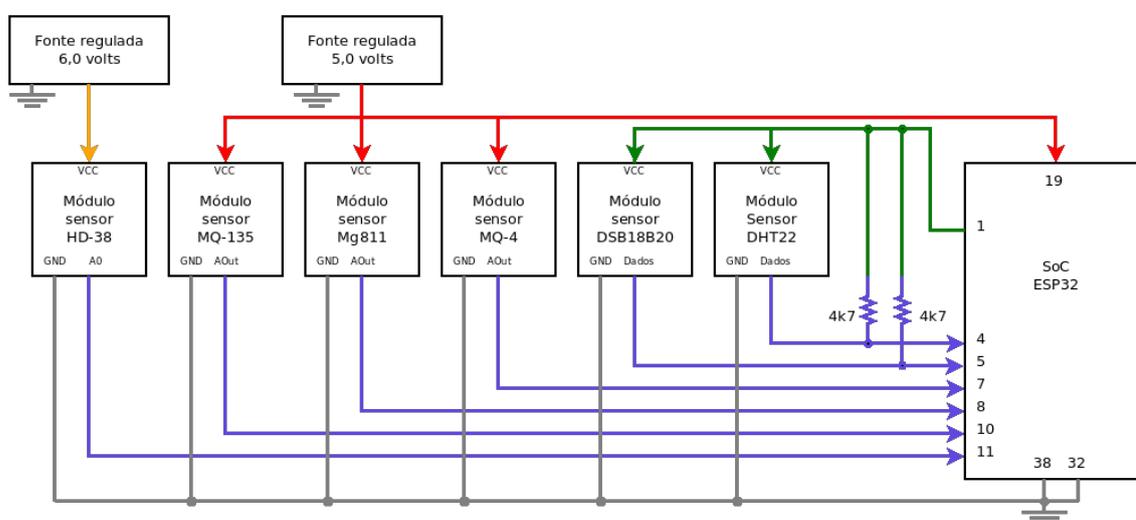
IoT Cloud também é possível armazenar os dados monitorados no seu servidor online por um tempo determinado.

Para utilizar um dispositivo na *IoT Cloud*, ele precisa ser associado a uma *Thing*. Cada *Thing* contém conjunto de variáveis configuradas e o histórico dos dados coletados das variáveis. Para que as variáveis sejam monitorada e manipuladas por um interface visual, são criadas dashboards. Cada dashboard consiste em um conjunto de *widget* que são elementos visuais veiculados as variáveis cridas no *Thing* permitindo algum tipo de interação com esta variáveis.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Fazendo uso dos componentes explicados anteriormente juntado com outros componente eletrônico mais fundamentais (resistores, fios e fontes de alimentação) iniciou-se a montagem de um protótipo do equipamento. Iniciando com um montagem em *protoboards* com as ligações exemplificadas no esquema da Figura 28.

Figura 28 – Representação das ligações da montagem .



Fonte: Autor (2022).

Para alimentação dos sensores de gases que necessitam de tensão de 5 volts (MQ4 E MQ135) e 6 volts (Mg811), utilizou-se dois módulos de circuito regulador de tensão ajustável modelo LM2596 (Conversor DC *Step Down*), apresentado na Figura 29. Ambos os reguladores de tensão utilizados foram conectados a uma fonte regulada de 12 volts, que fornece 3,3 ampères de corrente.

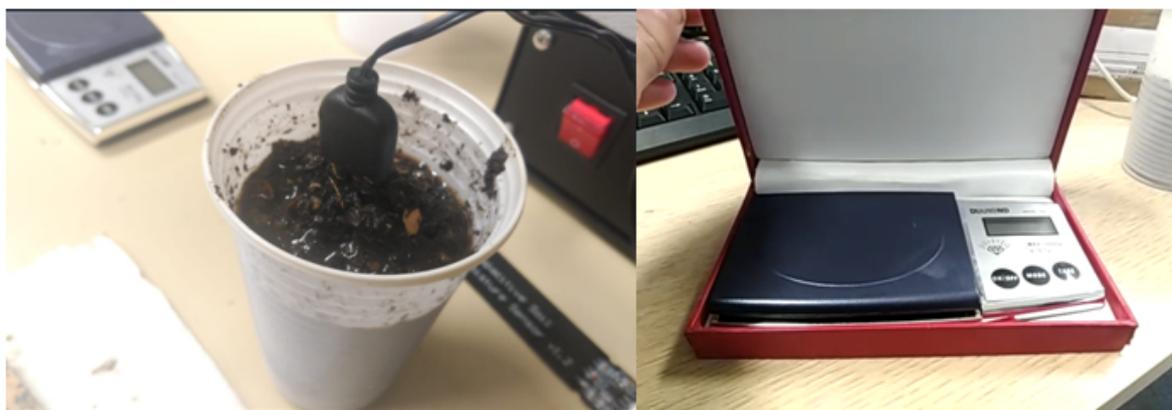
Figura 29 – Regulador de tensão ajustável LM2596.



Fonte: Autor (2022).

Para estipular uma relação entre a umidade do solo medida pelo sensor HD-38 e saída do monitor serial do ESP32 foi utilizado um copo de plástico com 280 gramas de composto e uma balança com resolução de 0,1 gramas (mostrado na Figura 30).

Figura 30 – Material utilizado no procedimento de calibração do sensor HD-38



Fonte: Autor (2022)

O procedimento de calibração foi realizado como segue. O microcontrolador foi programado para realizar 60 medidas da saída do sensor no monitor serial e informar a média, variância e desvio padrão dessas medidas. A primeira etapa do procedimento consistiu em verificar o valor da saída do sensor HD-38 ao ar livre, onde ele apresenta um valor de resistência de circuito aberto e uma tensão máxima de saída.

A segunda etapa do procedimento consistiu em pegar 280 gramas de composto seco, colocar o sensor no composto e verificar o valor da saída do sensor, usando o monitor serial da IDE Arduino.

As próximas etapas consistiram em adicionar ao composto seco porções de 28 gramas de água, aumentando assim a sua umidade. Desta forma, o aumento de umidade seria de 10 em 10 por cento, a cada vez que uma nova medida de água era adicionada. A cada 28 gramas que eram adicionados as medidas eram refeitas, os resultados foram colocados na Tabela 4.

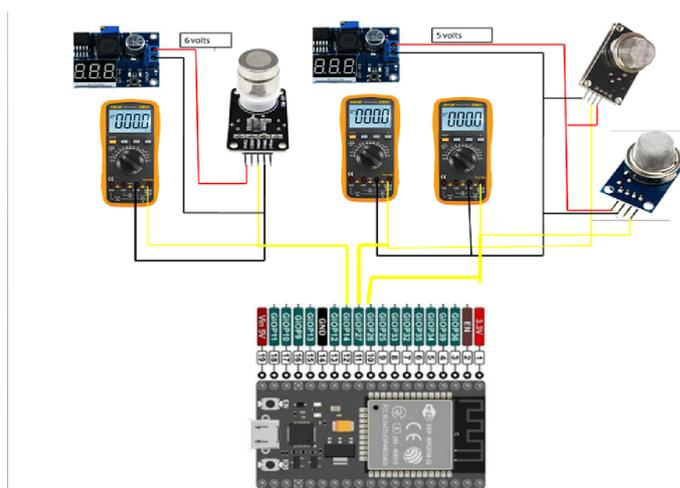
Tabela 4 – Resultados da medida do HD-38

Massa da terra seca (gramas)	Massa da terra úmida (gramas)	Massa de água (gramas)	Umidade do solo (porcentagem)	Medida de 60 Medida do sensor HD-38	Variância	Desvio padrão
<i>circuito aberto</i>	<i>circuito aberto</i>	<i>circuito aberto</i>	<i>circuito aberto</i>	4095	0	0
280	280	0	0	2341.05	308.99	17.58
280	280	0	0	2463.88	1053.43	32.46
280	307,6	27,6	9,857142857	1839.03	169.32	13.01
280	307,6	27,6	9,857142857	1895.50	61.17	7.82
280	335,6	55,6	19,85714286	1803.47	128.22	11.32
280	335,6	55,6	19,85714286	1903.33	250.73	15.83
280	363,4	83,4	29,78571429	1661.45	250.73	18
280	363,4	83,4	29,78571429	1988.22	25.05	05.01
280	390,9	110,9	39,60714286	1921.20	241.89	15.55
280	390,9	110,9	39,60714286	2014.60	25.09	05.01
280	418	138	49,28571429	2058.05	86.69	9.31
280	418	138	49,28571429	2126.48	79.41	8.91
280	446	166	59,28571429	2101.35	70.43	8.39
280	446	166	59,28571429	2128.03	34.47	5.87

fonte: Autor(2022)

Não havendo disponibilidade de um equipamento para fazer a verificação das medidas dos sensores de gás Mg811 , MQ4 e MQ135 foram usadas as curvas de sensibilidade obtidas nos próprios *datasheets* para estipular uma relação entrada a entrada de gás no sensor em PPM e a saída e volts. Para fazer os teste com o sensor Mg811, ele foi ligado a uma fonte de 6 volts , os sensores MQ-4 e MQ-135 fora ligados a um tensão de 5 volts. A saída de tensão no pino analógico (AOut) dos sensores ao ar aberto foi verificada com um multímetros, o esquema e mostrado na Figura 31.

Figura 31 – Esquema de ligações para teste de funcionamento dos sensores Mg811, MQ-4 e MQ-135.



Fonte: Autor (2022).

Na plataforma Arduino IoT Cloud foram criadas *Dashboards* com os gráficos e o valores instantâneos dos parâmetros monitorados. Na Figura 32 são apresentas as *Dashboards* implementadas neste trabalho, contendo gráficos e valores instantâneos da temperatura do composto e do ambiente (em grau Celsius).

Figura 32 – *Dashboard* de monitoramento da temperatura do composto e temperatura ambiente (em graus Celcius).



Fonte: Autor (2022).

Na Figura 33 e mostrado a *Dashboard* com gráfico e o valor instantâneo da umidade do ambiente (em porcentagem relativa).

Figura 33 – *Dashboard* de monitoramento da umidade do ambiente (em porcentagem relativa).



Fonte: Autor (2022).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Com a realização dessa pesquisa foi possível verificar que a compostagem de resíduos sólidos orgânicos no meio doméstico garante que haja um destino adequado aos resíduos orgânicos.

Os sensores de temperatura do composto DS18B20 e de temperatura e umidade ambiente DHT22 se mostraram de fácil uso. Seus resultados foram comparados com outros dois sensores de uso comercial mostrados na Figura 34.

Figura 34 – Sensores utilizados para comparar os resultados dos sensores DS18B20 e DHT22.



Fonte: Autor (2022).

As Figuras 35, 36, 37 e 38 mostram a evolução da temperatura da composteira por 4 dias, sendo ela alimentada por resíduos gerados por 3 pessoas seguindo as recomendações mostradas na seção 3.1. Pelos dados desses gráficos, percebe-se que a temperatura do composto e do ambiente se mantêm próximas no período da manhã e da noite, com a temperatura do composto ficando um pouco abaixo da temperatura ambiente em alguns momentos. No período da tarde, em que ocorre o aumento da temperatura ambiente, a diferença das temperaturas aumenta, ficando a temperatura do composto alguns graus sempre acima da temperatura ambiente.

Figura 35 – Temperatura do ambiente e do composto do dia 11 de agosto de 2022.

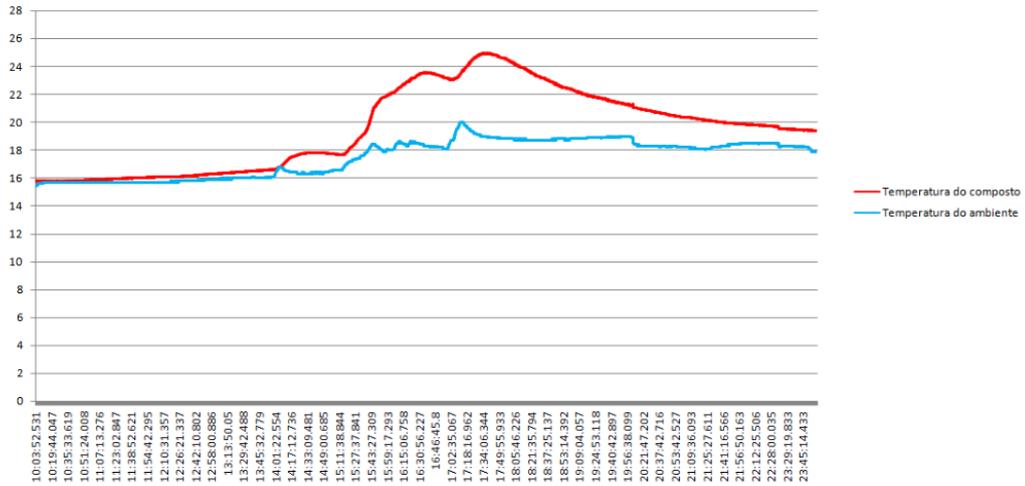
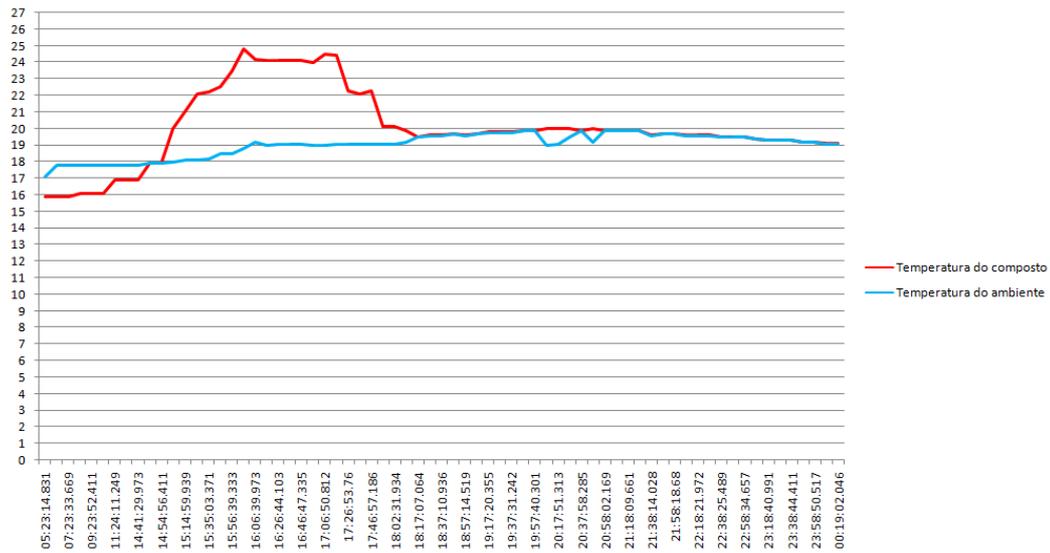
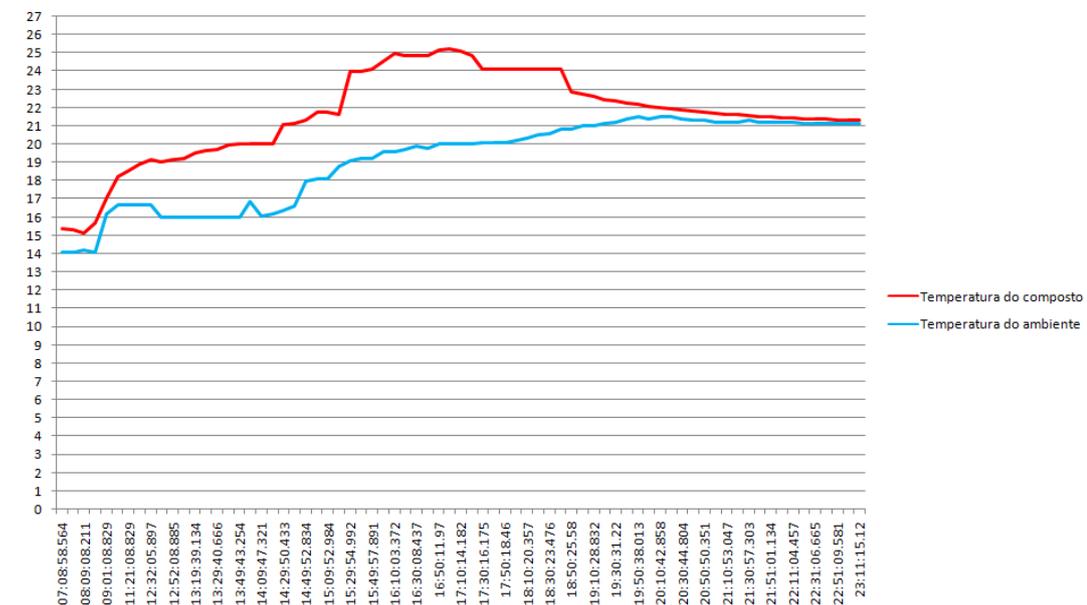


Figura 37 – Temperatura do ambiente e do composto dia 13 de agosto de 2022.



Fonte: Autor (2022).

Figura 38 – Temperatura do ambiente e do composto dia 14 de agosto de 2022.



Fonte: Autor (2022).

A medição de dados dos demais sensores foi realizada de forma satisfatória, mas os dados obtidos não foram conclusivos, de forma que foram omitidos neste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante a problemática da geração dos resíduos orgânicos e a necessidade de um descarte adequado desses resíduos, a compostagem se demonstra com um método de tratamento e reutilização desses resíduos de maneira sustentável. Este projeto teve como um objetivo formular uma plataforma de monitoramento para a compostagem feito no meio doméstico e fim de se obter maiores conhecimentos sobre processo de compostagem em pequenos volumes feitos diretamente nas residências.

Durante a realização da pesquisa se constatou que a maioria dos trabalhos publicados tem como objetivo o estudo do comportamento de leiras de grandes volumes, havendo uma carência de estudos sobre variação dos parâmetros da compostagem em pequenos volumes e consequência da variação de seus parâmetros para o resultado da compostagem e o tempo de duração do processo.

Na escolha de sensores para o projeto se demonstrou uma grande dificuldade de acesso a recurso teste verificação que pudessem fazer uma relação entre a entrada do sensor e sua saída para assim se obter um segurança com os dados obtidos. As tentativas de caracterização do sensor HD-38 não obtiveram resultados uteis. As medidas realizadas com os sensores de gás , Mg811, MQ-4 e MQ-135 também foram inconclusivas.

Como mostrado na Tabela 4 o sensor HD-38 não demonstrou um comportamento padrão. As tensões da saída analógica dos sensores Mg811, MQ-4 e MQ-135 não demonstraram um comportamento as curvas obtidas no *datasheet* (mostradas previamente nas Figuras 23, 27 e 25). Oscilações na alimentação de tensão e maus contatos podem ter tido uma forte influência nos resultados.

A plataforma Arduino IoT Cloud se mostrou eficiente para receber e monitorar os parâmetros de forma *online*, pois permite que dados sejam armazenados diretamente no seu servidor. O uso desta plataforma de forma gratuita oferece limitações no tempo de armazenamento dos dados e na quantidade de parâmetros armazenados, sendo que para ter mais de 5 variáveis criadas e seus sistema e os dados armazenados por mais de 24 horas, sendo necessário contratar um plano pago. Houve algumas perdas conexões nos primeiros dias de medições, isso devida a uma instabilidade na conexão no local onde esta composteira. Alguns dados foram perdidos, o problema melhorou com uma alteração no código para solicitar a conexão com a rede como maior frequência.

As medições de temperatura ambiente e do composto mostraram uma temperatura maior do composto quando o ambiente onde a composteira estava era esquentando pela radiação solar. Uma maior temperatura do ambiente favorece a atividade microbiana. Como conclusão, o aquecimento da composteira favorável a aceleração do processo de

compostagem.

Para trabalhos futuros poderia-se aprofundar mais no levantamento de dados composteira de uso domésticos utilizando vários sensores do mesmo modelo e assim poder comparar o resultado entre eles. Se mostrou a necessidade de maiores trabalhos sobre a calibragem e teste dos sensores HD-38 , MQ-4 , MQ-135 e Mg811 para que eles possam ser utilizados para monitorar os parâmetros compostagem.

REFERÊNCIAS

- AMBIENTE, M. do M.; SESC/SC. *Compostagem Doméstica, Comunitária e Institucional de Resíduos Orgânicos*. [S.l.: s.n.], 2017. ISBN 9788577383139. Citado na página 13.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. *Princípios de Química-: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente*. [S.l.]: Bookman Editora, 2018. Citado na página 12.
- BRITO, L. M. *Compostagem, fertilização do solo e substratos*. [S.l.]: Agrobok, 2017. ISBN 9789897232084. Citado na página 16.
- BUKMAN, G. Desenvolvimento de um protótipo para segurança residencial de baixo custo. 2016. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/280/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoDeProt%c3%b3tipo.pdf>. Citado na página 25.
- CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Elsevier, 2013. ISBN 9788535259544. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=pJ_KNAEACAAJ>. Citado na página 13.
- COOPER, M. et al. Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: teórico e prático. *Piracicaba: ESALQ–Divisão de biblioteca, 35p: il.(Série Produtor Rural, Edição Especial)*, 2010. Citado na página 19.
- DAY, M.; SHAW, K. Biological, chemical and physical processes of composting. *Compost utilization in horticultural cropping systems*, Lewis Publishers Raton e Florida Florida, p. 17–50, 2001. Citado na página 15.
- DONO, N. D. *Redução de lixo orgânico através da compostagem*. 2019. <<https://www.impactounesp.com.br/post/redu%C3%A7%C3%A3o-de-lixo-org%C3%A2nico-atrav%C3%A9s-da-compostagem>>. Acessado em 22 Ago 2022. Citado na página 22.
- D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. et al. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. *São Paulo: IPT/Cempre*, v. 2, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- ELETROGATE. José Gustavo Abreu Murta, 2022. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/>>. Citado na página 25.
- ELETROGATE. *Guia Completo Do Sensor DS18B20 a Prova d'água*. Ricardo Lousada, 2022. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/guia-completo-sobre-sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>>. Citado na página 28.
- ESPECIAIS, A. A. B. de Empresas de Limpeza Pública e R. *BPanorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - EDIÇÃO 2020*). 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download/5692>>. Acessado em: 8 de junho 2022. Citado na página 12.
- ESPRESSIF SYSTEMS. *ESP32 Datasheet*. [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf>. Citado na página 25.

- FERNANDES, S. M. C. P. D. S. F. Manual prático para a compostagem de biossólidos. 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf>. Citado na página 16.
- HAUG, R. *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Taylor & Francis, 1993. ISBN 9780873713733. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=MX_jbemODmAC>. Citado na página 15.
- HIVEMQ. Part 1—introducing mqtt. *Nd HiveMQ-verkkosivusto Viitattu*, 2015. Disponível em: <<https://www.hivemq.com/blog/mqtt-essentials-part-1-introducing-mqtt/>>. Citado na página 36.
- INACIO, C. d. T. Dinâmica de gases e emissões de metano em leiras de compostagem. *Embrapa Solos-Tese/dissertação (ALICE)*, 2010., 2010. Citado na página 19.
- INÁCIO, C. d. T.; MILLER, P. Compostagem: ciência e prática aplicadas a gestão de resíduos. *Embrapa Solos. Rio de*, v. 156, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 19.
- INDUSTRIAL, I. N. de Metrologia Normalização e Q. Vocabulário internacional de metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados ; (vim 2012). INMETRO, 2012. Disponível em: <https://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2021/02/vim_2012.pdf>. Citado na página 27.
- KIEHL, E. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. [S.l.]: Edmar José Kiehl, 2012. Citado na página 16.
- LACERDA, K. A. P. et al. Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 6, p. 40753–40763, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 17, 18 e 20.
- LASTMINUTEENGINEERS. *Interfacing DS18B20 1-wire digital temperature sensor with Arduino*. Last Minute Engineers, 2020. Disponível em: <<https://lastminuteengineers.com/ds18b20-arduino-tutorial/>>. Citado na página 27.
- LINKE, B. *Reading and writing 1-WIRE® devices through serial interfaces*. maxim integrated., 2009. Disponível em: <<https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN74.pdf>>. Citado na página 28.
- LYNCH, M. D.; NEUFELD, J. D. Ecology and exploration of the rare biosphere. *Nature Reviews Microbiology*, Nature Publishing Group, v. 13, n. 4, p. 217–229, 2015. Citado na página 15.
- MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. *Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Citado na página 27.
- MELO, S. L.; ZANTA, V. M. Análise do uso de compostagem doméstica em conjuntos habitacionais de interesse social na cidade de são domingos–bahia. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, p. 169–180, 2016. Citado 3 vezes nas páginas 17, 18 e 20.
- MG811 CO2 Sensor Features Good sensitivity and selectivi ty to CO2. [S.l.], 2015. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/1415579/Winsen/MG811/1>>. Citado na página 33.

MIHELICIC, J. R. *Engenharia Ambiental - Fundamentos, Sustentabilidade e Projeto*. [S.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2017. ISBN 9788521634881. Citado na página 16.

MQ-4 Semiconductor Sensor for Natural Gas Sensitive material of MQ-4 gas. [S.l.], 2010. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/904637/HenanHanweiElectronics/MQ-4/1>>. Citado na página 35.

MQ135 Semiconductor Sensor for Natural Gas Sensitive material. [S.l.], 2015. Disponível em: <[https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20\(Ver1.4\)%20-%20Manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/PDF/Semiconductor%20Gas%20Sensor/MQ135%20(Ver1.4)%20-%20Manual.pdf)>. Citado na página 34.

MQTT.ORG. *MQTT: The Standard for IoT Messaging*. 2022. Disponível em: <<https://mqtt.org/>>. Citado na página 35.

MURTA, J. G. A. *Conhecendo o Esp32 - Usando Arduino IDE*. Eletrogate, 2018. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-usando-arduino-ide-2/>>. Citado na página 26.

MYBOTIC; INSTRUCTABLES. *Tutorial: How to use MG811 CO2 Carbon Dioxide Gas Sensor*. Instructables, 2020. Disponível em: <<https://www.instructables.com/Tutorial-How-to-Use-Mg811-Co2-Carbon-Dioxide-Gas-S/>>. Citado na página 32.

NEDELKOVSKI, D. *DHT11 e DHT22 sensors temperature and humidity tutorial using Arduino*. 2015. Disponível em: <<https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/dht11-dht22-sensors-temperature-and-humidity-tutorial-using-arduino/>>. Citado 3 vezes nas páginas 30, 31 e 32.

NERI, R.; LOMBA, M.; BULHÕES, G. *MQTT*. Departamento de Eletronica - Escola Politecnica UFRJ, 2019. Disponível em: <<https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/mqtt/>>. Citado na página 37.

NETO, J. T. P. Compostagem: Fundamentos e métodos. *I Simpósio sobre compostagem*, UNESP, v. 1, n. 1, 2004. Citado na página 19.

NEVES, M.; RUMJANECK, N. Bioquímica e fisiologia da fixação de nitrogênio. *Microbiologia do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 141–155, 1992. Citado na página 19.

RIBAS, N. K. Federação de brokers do protocolo mqtt implementação e análise de desempenho. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2022. Citado na página 36.

SAPTIANI, P. et al. The electrical properties characterization of mg-811 gas sensor toward the temperature alteration of soil testing chamber. In: IOP PUBLISHING. *Journal of Physics: Conference Series*. [S.l.], 2019. v. 1280, n. 2, p. 022058. Citado na página 33.

SILVA, J. R. d. et al. Automação do processo de compostagem: uso de sensores para monitoramento e controle de parâmetros de um processo sustentável. Universidade Federal de Goiás, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 20.

SILVA, M. A. Características químicas da biodegradação aeróbica acelerada a partir do reaproveitamento de resíduos de alimentos. Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

SOARES, L.; KIRKLEWSKI, B. *Apenas 1% do Lixo Orgânico É reaproveitado no Brasil*. CBN, 2019. Disponível em: <<https://cbn.globoradio.globo.com/media/audio/243607/apenas-1-do-lixo-organico-e-reaproveitado-no-brasi.htm>>. Citado na página 12.

SOARES, R. F. R. D. *Comparação entre protocolos da camada de aplicação para IoT*. Dissertação (B.S. thesis) — Brasil, 2019. Citado na página 35.

SOUZA, H. d. et al. Características físicas e microbiológicas de compostagem de resíduos animais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, SciELO Brasil, v. 71, p. 291–302, 2019. Citado na página 15.

SOUZA, L. A. de et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, v. 8, n. 3, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 19.

TOLDINAS, J. et al. Mqtt quality of service versus energy consumption. In: IEEE. *2019 23rd International Conference Electronics*. [S.l.], 2019. p. 1–4. Citado na página 36.

VGRESIDUOS. *Quais Resíduos de Alimentos Podem Ser colocados Na Composteira?* 2019. <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/quais-residuos-de-alimentos-podem-ser-colocados-na-composteira/>>. Acessado em 22 Ago 2022. Citado na página 22.