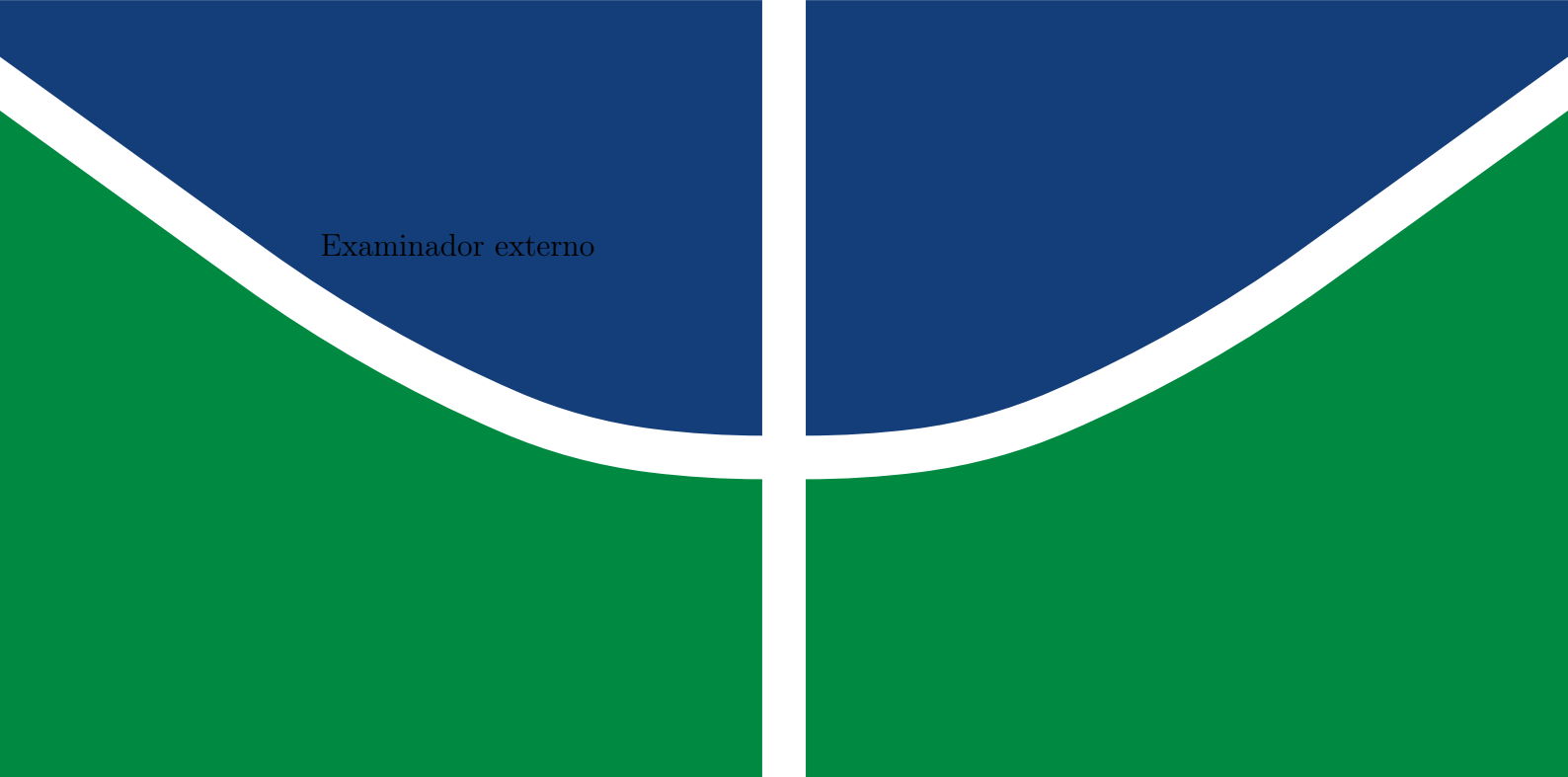




Examinador externo

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Trabalho de Graduação
Gestão de Matéria Orgânica Doméstica e
Biofertilização Utilizando Internet das Coisas**

Guilherme Carvalho de Oliveira Martins

PROJETO FINAL DE CURSO
ENGENHARIA ELÉTRICA

Brasília
2023

**Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia**

**Trabalho de Graduação
Gestão de Matéria Orgânica Doméstica e
Biofertilização Utilizando Internet das Coisas**

Guilherme Carvalho de Oliveira Martins

Projeto Final de Curso submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Dr. Adolfo Bauchspiess

Coorientador: Prof. Dr. Delvio Sandri

Brasília

2023

C000t Carvalho de Oliveira Martins, Guilherme.
Trabalho de Graduação Gestão de Matéria Orgânica Doméstica e Biofertilização Utilizando Internet das Coisas / Guilherme Carvalho de Oliveira Martins; orientador Adolfo Bauchspiess; coorientador Delvio Sandri. -- Brasília, 2023.
93 p.

Projeto Final de Curso (Engenharia Elétrica) -- Universidade de Brasília, 2023.

1. Agricultura Urbana. 2. MQTT. 3. Node-RED. 4. Compostagem Confinada. I. Bauchspiess, Adolfo, orient. II. Sandri, Delvio, coorient. III. Título

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia

Trabalho de Graduação
Gestão de Matéria Orgânica Doméstica e Biofertilização
Utilizando Internet das Coisas

Guilherme Carvalho de Oliveira Martins

Projeto Final de Curso submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

Trabalho aprovado. Brasília, 29 de novembro de 2023:

Prof. Dr. Adolfo Bauchspiess,
UnB/FT/ENE
Orientador

Prof. Dr. Delvio Sandri, UnB/ICC/FAV
Coorientador

Prof. Dr. Rudi Henri van Els, UnB/FGA
Examinador interno

Prof. MSc. Lélío Ribeiro Soares Júnior,
UnB/FT/ENE
Examinador interno

Brasília
2023

Dedicatória.

Agradecimentos

Agradecimentos.

Resumo

Este trabalho propôs utilizar o conceito de internet das coisas (IoT) para facilitar a compostagem e a produção de biofertilizante para a irrigação na agricultura urbana. Utilizando o MQ Telemetry Transport (MQTT) como protocolo de comunicação entre os equipamentos e a interface gráfica do sistema, formado por módulos separados por alguns metros em uma residência. Após um período de esterilização e inviabilização de sementes em biorreatores, o composto é levado à vermicompostagem para melhora de suas propriedades. Inserindo água por gotejamento, o vermiwash (húmus líquido) é coletado por gravidade e conduzido ao preparador de biofertilizante, que em seguida envia ao sistema de irrigação no momento adequado. Com esse trabalho foi demonstrada uma forma com que a compostagem e a agricultura urbana, facilitadas pelo uso das tecnologias adotadas, podem ser um meio de lidar localmente com o problema do lixo e com o problema da baixa complexidade nutricional, em uma mesma solução. Nos testes com os protótipos foi possível realizar a compostagem dentro do ambiente domiciliar, sem fortes odores e riscos sanitários, com o monitoramento sendo todo feito via PC ou smartphone.

Palavras-chave: Agricultura Urbana. MQTT. Node-RED. Compostagem Confinada.

Abstract

This work proposed using the internet of things (IoT) concept to facilitate composting and the production of biofertilizer for irrigation in urban agriculture. Using MQ Telemetry Transport (MQTT) as a communication protocol between equipment and the system's graphical interface, made up of modules separated by a few meters in a home. After a period of sterilization and making the seeds unviable in bioreactors, the compost is taken to vermicomposting to improve its properties. Inserting water via drip, the vermiwash (liquid humus) is collected by gravity and taken to the biofertilizer preparer, which is then sent to the irrigation system at the appropriate time. This work demonstrated a way in which composting and urban agriculture, facilitated by the use of adopted technologies, can be a means of dealing locally with the problem of waste and the problem of low nutritional complexity, in the same solution. In tests with the prototypes, it was possible to carry out composting within the home environment, without strong odors and health risks, with all monitoring being done via PC or smartphone.

Keywords: Urban Agriculture. MQTT. Node-RED. In-Vessel Composting.

Lista de ilustrações

Figura 2.1 – Temperatura em pilhas de compostagem.	19
Figura 2.2 – Systematic review and meta-analysis of time-temperature pathogen inactivation.	20
Figura 2.3 – Leiras dispostas no galpão de compostagem em larga escala da Tera Ambiental.	21
Figura 2.4 – Compostagem de três compartimentos.	22
Figura 2.5 – Systematic review and meta-analysis of time-temperature pathogen inactivation.	23
Figura 2.6 – Estrutura do composto em um processo aeróbico.	24
Figura 2.7 – Vermiwash coletado do minhocário.	25
Figura 2.8 – Banana com casca.	26
Figura 2.9 – Casca de banana.	27
Figura 2.10–Controlador Hunter X-Core 2 Setores interno.	28
Figura 2.11–Kit de irrigação por gotejamento.	28
Figura 3.12–Corte da planta.	30
Figura 3.13–Sequência de processos do sistema gestor de matéria orgânica.	31
Figura 3.14–Fluxograma do gestor de matéria orgânica.	31
Figura 3.15–Módulo Estação de Compostagem (MEC)	32
Figura 3.16–Módulo Estação de Vermicompostagem (MEV)	33
Figura 3.17–Módulo Preparador de Biofertilizante. (MPB)	34
Figura 3.18–Módulo Sistema de Irrigação. (MSI)	34
Figura 3.19–Módulo Sensores de clima. (MSC)	35
Figura 3.20–Arquitetura da rede.	36
Figura 3.21–Curva típica de temperatura para a compostagem aeróbica.	39
Figura 3.22–Nós do Node-RED para o Módulo Estação de Compostagem.	40
Figura 3.23–Nós no Node-RED para o MSI.	40
Figura 3.24–Nós no Node-RED para o MPB.	40
Figura 3.25–Nós no Node-RED para o MSI.	41
Figura 3.26–Módulo Sensores de Clima.	41
Figura 3.27–MSP-EXP430F5529LP.	42
Figura 3.28–ESP32.	42
Figura 3.29–Para Ambar, para organização das conexões com sensores e atuadores.	43
Figura 3.30–LCD.	44
Figura 3.31–Válvula esfera motorizada.	44
Figura 3.32–Sensor de distância ultrassônico.	45
Figura 3.33–Válvula Solenoide.	45

Figura 3.34–Bomba d'água para envio de solução de biofertilizante aos tanques principais.	46
Figura 3.35–Sensor de nível de líquidos.	47
Figura 3.36–Sensor de umidade do ar.	48
Figura 3.37–Caixa d'água de 310 litros.	48
Figura 3.38–Trilhas da placa dos sensores e atuadores.	51
Figura 3.39–Modelo 3d da placa no Fusion 360.	52
Figura 3.40–Modelo 3d do Biorreator A.	53
Figura 3.41–Biorreator A particionado.	54
Figura 3.42–Protótipo para teste do conceito (O "Cyber Reactor").	55
Figura 3.43–Interior do Biorreator A.	56
Figura 3.44–Biorreator B, Balde de 60L isolado com fibra cerâmica	57
Figura 3.45–Minhocario feito com tábuas de madeira Pinus e perfis de metalon.	57
Figura 3.46–Cliente Tanques Principais	58
Figura 3.47–Controlador do MSI	59
Figura 4.48–Curva cinza: Temperaturas máximas típicas. Curva azul: Temperaturas mínimas típicas. Curva laranja: Temperaturas do biorreator A ao longo do tempo	61
Figura 4.49–Serragem grossa.	62
Figura 4.50–Serragem fina.	62
Figura 4.51–(a): Decomposição aeróbica, (b): Decomposição anaeróbica	63
Figura 4.52–4 dias de compostagem utilizando apenas serragem como carbono.	63
Figura 4.53–Incremento da decomposição aeróbica ao adicionar papel e papelão no biorreator.	64
Figura 4.54–Restos de cozinha.	64
Figura 4.55–14 dias de compostagem apenas com serragem e restos de cozinha.	65
Figura 4.56–Biorreator B a 63º Celcius após cinco dias do início da compostagem.	66
Figura 4.57–Biorreator B. Compostagem com alterações de temperatura por causa dos	67
Figura 4.58–Biorreator B. Compostagem com alterações de temperatura por causa dos	67
Figura 4.59–Minhocas no material vindo do biorreator.	68
Figura 4.60–Temperatura e Umidade da varanda 2. Medições feitas entre os dias 18 e 25 de novembro de 2023, no ponto de coordenadas -15.882300, -48.011896	69
Figura 4.61–Temperatura e Umidade de três locais da residência. Medições feitas entre os dias 14 e 18 de novembro de 2023, no ponto de coordenadas -15.882300, -48.011896.	70
Figura 4.62–Filtro Plástico Tela 1" Tavlit - Netafim	71
Figura 4.63–Irrigação tipo flecha no vaso de goiaba Caipira	71
Figura 4.64–Irrigação tipo arco no abacateiro Duke 7.	72
Figura 4.65–Plantio de frutíferas.	72

Figura 4.66–Limão Taiti (<i>Citrus latifolia</i>) plantado em vaso de 39 Litros.	73
Figura 4.67–Maçã Julieta (<i>Malus domestica</i>) plantada em vaso de 48 Litros.	73
Figura 4.68–Limão Cravo (<i>Citrus limonia</i>) plantado em vaso de 48 Litros.	74
Figura 4.69–Pitanga(<i>Eugenia uniflora L.</i>) plantada em vaso de 25 Litros.	74
Figura 4.70–Maracujá (<i>Passiflora edulis Sims.</i>) plantado em vaso de 19 Litros.	75
Figura A.71–Entrada DC.	85
Figura A.72–Entrada AC.	85
Figura A.73–Pin headers	86
Figura A.74–PCF8574 acionando transistores TIP127.	86
Figura A.75–Conexões Para Comunicação I2C.	87
Figura A.76–PCF8574 Recebendo 4 sensores de nível e 2 relés.	88
Figura A.77–Conexões Para Dois Sensores Ultrassom.	88
Figura A.78–Quatro conexões para geração de sinal PWM pelo MSP430F5529	89
Figura A.79–Conexões para leitura de sinais analógicos e digitais de sensores de gases.	89
Figura B.80–Minhocario em baldes de plástico com recipiente inferior para acúmulo de chorume.	90
Figura B.81–Minhoca Californiana (<i>Eisenia fetida</i>)	91
Figura B.82–Restos orgânicos da cozinha	91
Figura B.83–Balde com o material transformado em húmus de minhoca	92
Figura B.84–Material estabilizado após a vermicompostagem.	92
Figura B.85–Conceito de um Módulo Estação de Compostagem e Vermicompostagem totalmente integrado.	93

Lista de tabelas

Tabela 4.1 – Síntese do experimento.	75
--	----

Lista de abreviaturas e siglas

ADC	Analog to Digital Converter	17
API	Aplication Program Interface	17
CPU	Central Processing Unit	17
GPIO	General Purpose Input/Output	17
HTTP	Hypertext Transfer Protocol	17
I2C	Inter-Integrated Circuit	17
IDE	Integrated Development Environment	17
IoT	Internet of Things	17
LCD	Liquid Crystal Display	17
M2M	Machine to Machine	17
MEV	Módulo Estação de Compostagem	17
MEV	Módulo Estação de Vermicompostagem	17
MPB	Módulo Preparador de Biofertilizante	17
MQTT	MQ Telemetry Transport	17
MSC	Módulo Sensores de Clima	17
MSI	Módulo Sistema de Irrigação	17
OTA	Over The Air	17
PC	Personal Computer	17
PCB	Printed Circuit Board	17
SPI	Serial Periferal Interface	17
UART	Aplication Program Interface	17
USB	Universal Serial Bus	17

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Motivação	16
1.2	Objetivo	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Alimentação	18
2.2	Poluição	18
2.3	Compostagem	18
2.4	Vermiwash	24
2.5	Agricultura Urbana	25
2.6	Internet das Coisas na Agricultura	27
2.7	Sistemas de Irrigação Comerciais	27
2.8	Protocolo MQTT	29
2.9	Node-RED	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Fluxograma	31
3.2	Diagramas dos Módulos	32
3.3	Comunicações Via MQTT	36
3.4	Programação do Node-RED	38
3.4.1	Nós do Módulo Estação de Compostagem (MEC)	38
3.4.2	Nós do Módulo Estação de Vermipostagem (MEV)	40
3.4.3	Nós do Módulo Preparador de Biofertilizante (MPB)	40
3.4.4	Nós do Módulo Sistema de Irrigação (MSI)	40
3.4.5	Nós do Módulo Sensores de Clima (MSC)	41
3.5	Materiais	41
3.5.1	MSP430F5529LP	41
3.5.2	ESP32 Dev Kit	42
3.5.3	Placa de Sensores e Atuadores	43
3.5.4	LCD	43
3.5.5	Válvula Esfera Motorizada	44
3.5.6	Sensor de Distância Ultrassônico	44
3.5.7	Válvula Solenoide	45
3.5.8	Bomba Centrífuga	46
3.5.9	Sensor de Nível de Líquidos	46
3.5.10	Sensor de Temperatura e Umidade do Ar	47

3.5.11	Caixas D'água	48
3.5.12	Compiladores	48
3.5.13	Autodesk Fusion 360	49
3.6	Funcionamendo dos Softwares	49
3.7	Construção dos Equipamentos	50
3.7.1	Placa de Sensores e Atuadores	50
3.7.2	Biorreatores	52
3.7.3	Sistema de Irrigação	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5	CONCLUSÃO	76
	Referências	77
	Apêndices	79
	Apêndice A Códigos de programação	80
A.1	Node-RED	80
A.2	Esquemáticos da placa Ambar	84
	Apêndice B Vermicompostagem	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

A falta de diversidade nutricional é um problema que traz consequências para a saúde, a boa nutrição é essencial em todas as fases da vida. Em comparação com as variedades de alimentos que existem, que acompanharam a história humana, é baixa a variedade produzida pela agricultura convencional. Temos poucos tipos de frutas, legumes e verduras comercializados nos mercados. Uma variedade desses alimentos não são vendidos amplamente por serem muito perecíveis, difíceis para colheita, muito frágeis para o transporte.

A agricultura urbana, de quintal doméstico ou em pomares e hortas comunitárias, pode ajudar para que a dieta contenha alimentos que não são prioridade da produção em larga escala, mas apreciados pelo sabor e com propriedades benéficas comprovadas, como a Jabuticaba, que contém antocianinas, com elevado efeito antioxidante, a Acerola, conhecida por ter valores muito maiores de vitamina C que o limão e a laranja, a Graviola, conhecida por ajudar no tratamento e prevenção de cânceres, Amora, Romã, Araçá, Cajá, Pitanga e muitas outras. No caso dos legumes e verduras essa lista se estende. E é perceptível o fato de que as pessoas mais jovens já não conhecem muitos desses alimentos.

A agricultura urbana também colabora na acessibilidade de produtos comuns da horticultura, mas que em muitos casos a condição financeira limita o consumo. Assim como a produção orgânica é tida como um agente capaz de suprir mercados marginalizados dentro da cadeia global de alimentos, dada a sua característica de produção e consumo locais, o cultivo urbano também pode colaborar com um incremento na segurança alimentar e qualidade da nutrição humana. E além disso, o cultivo urbano pode servir como destino para a compostagem de restos orgânicos gerados dentro das cidades, gerando uma economia circular. Em plantios mais próximos ao local de consumo também é encorajado o cultivo das PANCs, Plantas Alimentícias Não Convencionais, tão rústicas quanto saudáveis, talvez a mais conhecida delas seja a Ora-Pro-Nobis (*Pereskia aculeata*), uma cactácea trepadeira folhosa, com muitos espinhos, por isso de difícil produção comercial, porém com propriedades surpreendentes, rica em cálcio, ferro, magnésio e manganês, com bom teor de proteína, cerca de 22 por cento a cada 100 gramas de matéria seca (SOUZA et al., 2020). Planta de poucos tratos, bastante resistente, longa, se comparada com cultivares encontradas no mercado com nutrientes semelhantes, como a couve.

E o descarte das partes não consumidas, como as cascas, se torna um problema ambiental e com cara logística nas cidades. Naturalmente, os elementos que formaram aquele alimento podem ser reintroduzidos no ciclo de produção, por meio da compostagem,

transformando o material em fertilizante orgânico. Uma facilidade em se trabalhar com compostagem é por ser um processo de ocorrência natural, por meio de fungos, bactérias e outros microorganismos. O processo em si não demanda energia externa, então o contexto necessário geralmente já está presente, bastando o correto manejo. Nessa gestão pode existir o gasto de energia com motores que giram o material, bombas de aeração, ou simplesmente trabalho humano. Porém, nas cidades o cuidado de pomares e hortas geralmente é feito por quem já possui uma atividade principal, por isso o tempo necessário é fator limitante. E a compostagem dentro de uma casa ou apartamento é mais dificultosa de fazer.

O tratamento dos restos orgânicos urbanos consiste majoritariamente de coletar de casa em casa e juntar tudo em um aterro ou lixão, ao contrário de sistemas descentralizados, em que o material é gerido próximo de onde foi descartado. Muito pouco da matéria orgânica dos resíduos sólidos é revertida em adubo no Brasil, apesar da capacidade tecnológica atual e estudos a respeito do problema. Com grande parte sendo depositada em aterros ou nos milhares de lixões do país. Anualmente são dezenas de milhões de toneladas de matéria orgânica mal gerida, mal aproveitada (BRASIL, 2019).

Então por um lado temos uma escassez de alimentos, ou no mínimo uma falta de complexidade nutricional na dieta, e por outro ainda vivemos o paradigma de tratar boa parte da matéria orgânica como algo sem valor.

1.2 Objetivo

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é implementar um sistema gestor de matéria orgânica doméstica, que consiga aproveitar a matéria orgânica, transformando-a por meio da compostagem e vermicompostagem, e inserindo na água de irrigação o biofertilizante produzido.

Objetivos Específicos:

- Construir uma prova de conceito, utilizando a plataforma de desenvolvimento ESP32 operando como cliente no protocolo MQTT, sensores de nível de líquidos, sensores de ultrassom, sensores de temperatura e umidade, materiais de irrigação.
- Análise do desempenho do protocolo MQTT quanto à responsividade dos módulos em momentos em que se deseja uma sequência específica de ações entre eles.
- Mostrar o ganho de tempo nas tarefas diárias em um plantio, utilizando o sistema de biofertilização automatizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, será feita uma revisão bibliográfica dos temas importantes para este trabalho.

2.1 Alimentação

Quando se pensa sobre o que é importante em um alimento, o padrão é definir quanto ao seu valor nutricional: proteínas, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais. Esse senso comum revela mais sobre como é a dieta moderna, ao menos a ocidental, do que sobre toda real composição de um alimento. Há também um grande grupo de substâncias bioativas, por exemplo os flavonóides, conhecidos por exercerem atividade antiinflamatória ([MACHADO et al., 2008](#)). Mesmo sem levar em conta essas substâncias, ainda assim, a população é carente dos componentes mais básicos, que são as vitaminas e os minerais. Essa carência também é conhecida como "fome oculta", não se manifesta como uma fome comum, mas reforça ou origina problemas de saúde que se desenvolvem de forma latente. A população brasileira necessita de melhorar a qualidade na alimentação, tem carência na ingestão de frutas, legumes e verduras ([MOREIRA et al., 2015](#)).

2.2 Poluição

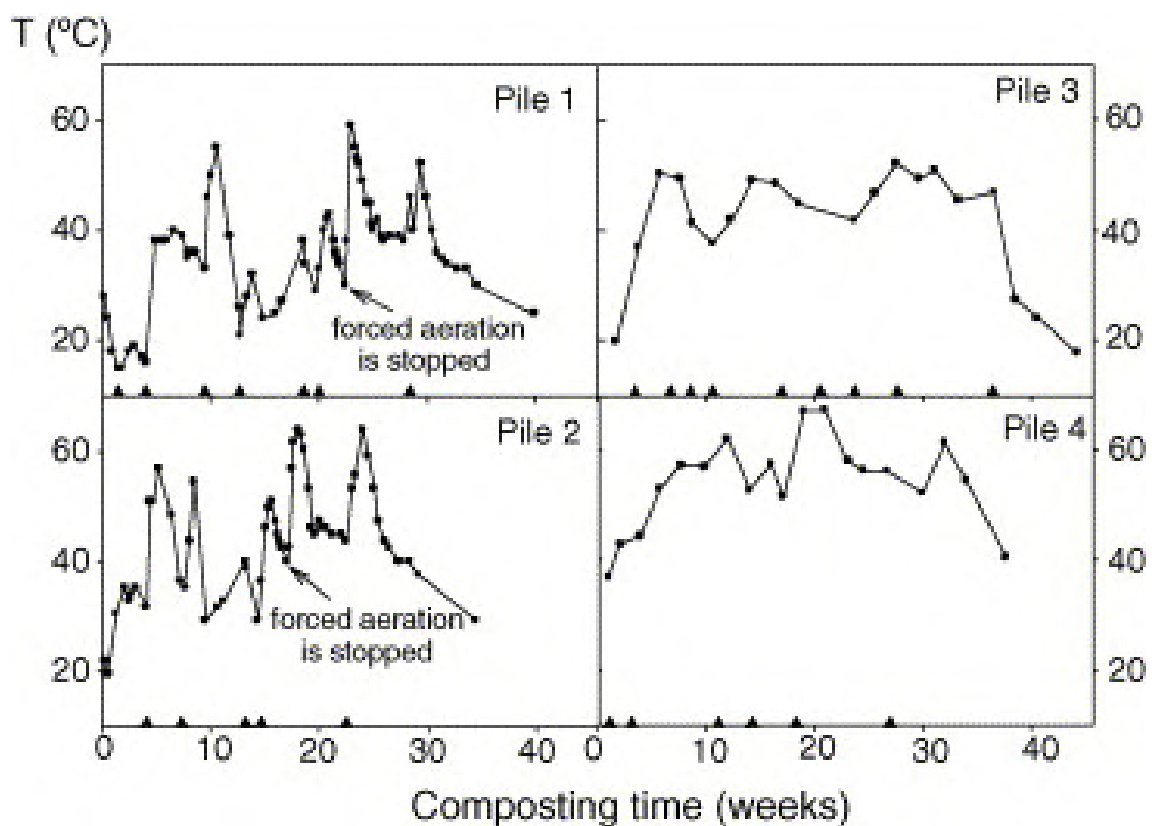
Cerca de 50 por cento dos resíduos sólidos no Brasil são matéria orgânica, ([BRASIL, 2019](#)), com os lixões sendo o destino de 39 por cento dos resíduos coletados. ([ABRELPE, 2022](#)). Não há em estudos o cálculo de um valor para o custo referente apenas à coleta dos restos orgânicos. Mas a depender do país, chega-se a gastar bilhões de reais para fazer a coleta e transporte de lixo até um local em que é depositado, causando impactos ambientais, como no caso dos lixões, ou serão levados para aterros onde se faz um uso melhor, mas ainda assim com custos bilionários. Somente no estado de São Paulo são gastos 2,2 bilhões de reais por ano. O governo estuda criar uma cobrança para coleta do lixo.

2.3 Compostagem

A compostagem em pequena escala é feita no local de geração dos restos orgânicos, tem a vantagem de evitar a poluição gerada pelo transporte desse material até outro local de processamento. ([CAYUELA; SÁNCHEZ-MONEDERO; ROIG, 2006](#)) conclui que a compostagem com reviramento resulta em maior perda de N (45 por cento), entretanto apresenta maiores valores de ácidos húmicos devido à maior temperatura alcançada, o que melhora a decomposição por exemplo das ligninas da serragem de madeira. Enquanto na

compostagem com ventilação forçada as perdas são de até 10 por cento dos valores iniciais de N. As perdas de N são em maioria devido à volatilização a amônia (NH_4). Mas também segundo (CAYUELA; SÁNCHEZ-MONEDERO; ROIG, 2006), o processo de compostagem por ventilação forçada possui a desvantagem de criar caminhos de ar na pilha de composto, cessando a decomposição termofílica em boa parte da pilha, como vemos na figura 2.1, que mostra as interrupções do processo termofílico devido aos canais de ventilação formados na pilha de compostagem. sendo necessário então um reviramento da massa para reativar o processo,

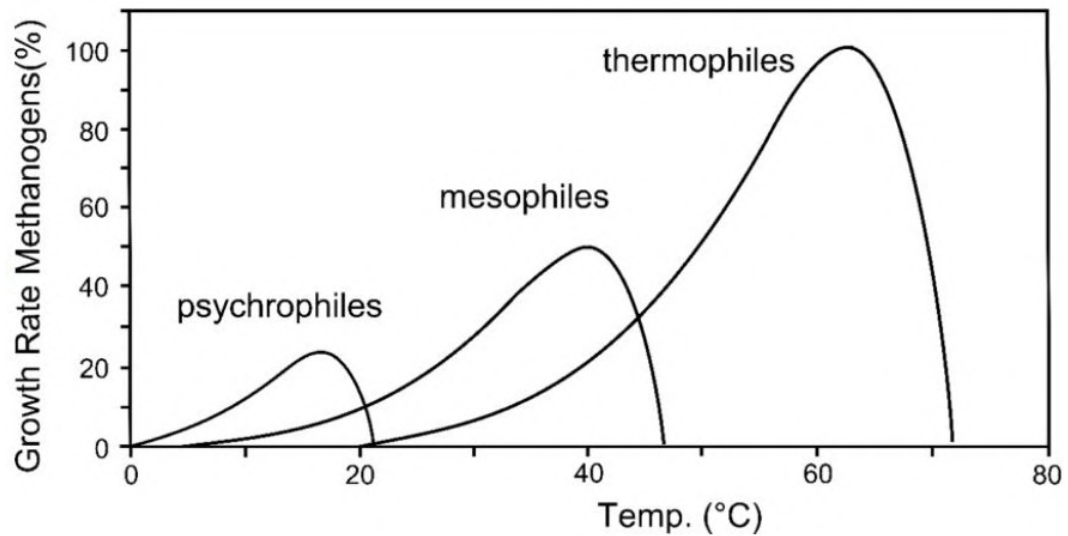
Figura 2.1 – Temperatura em pilhas de compostagem.



(CAYUELA; SÁNCHEZ-MONEDERO; ROIG, 2006).

De acordo com (LIM et al., 2017), para pequenas quantidades de material orgânico, faz-se necessário a compostagem em local confinado (in-vessel composting), pois as temperaturas desejadas geralmente não podem ser alcançadas para pequenos volumes de material.

Figura 2.2 – Systematic review and meta-analysis of time-temperature pathogen inactivation.



Fonte: (VEGA DE LILLE, 2015).

A compostagem aeróbica pode ser separada em três fases, mesofílica, termofílica e maturação. A fase mesofílica remete aos organismos que prosperam nessa faixa de temperaturas, o mesmo vale para a fase termofílica, como mostra a figura c, na maturação a degradação do material é finalizada. Microorganismos se alimentam da matéria orgânica, em boa parte os aminoácidos presentes no material, com reações exotérmicas ocorrendo, a temperatura da pilha aumenta, até um ponto em que o ambiente se torna mais propício ao grupo de organismos da fase termofílica, com organismos que prosperam em temperaturas acima de 40° Celsius, e na fase de estabilização a temperatura do material começa a cair à medida que vão se esgotando os nutrientes, com a sucessão de organismos acontecendo agora no sentido contrário.

A figura 2.3 mostra uma compostam de larga escala, que processa grandes volumes de matéria orgânica.

Figura 2.3 – Leiras dispostas no galpão de compostagem em larga escala da Tera Ambiental.



Fonte:

<https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/panorama-do-mercado-de-compostagem-em-escala-industrial-no-brasil>.

A figura 2.4 mostra uma compostam de pequena escala. Os compartimentos auxiliam na organização do processo, onde o material é removido de um compartimento para o outro, esse reviramento é necessário para que todo o material seja submetido ao aumento de temperatura e degradação.

Figura 2.4 – Compostagem de três compartimentos.

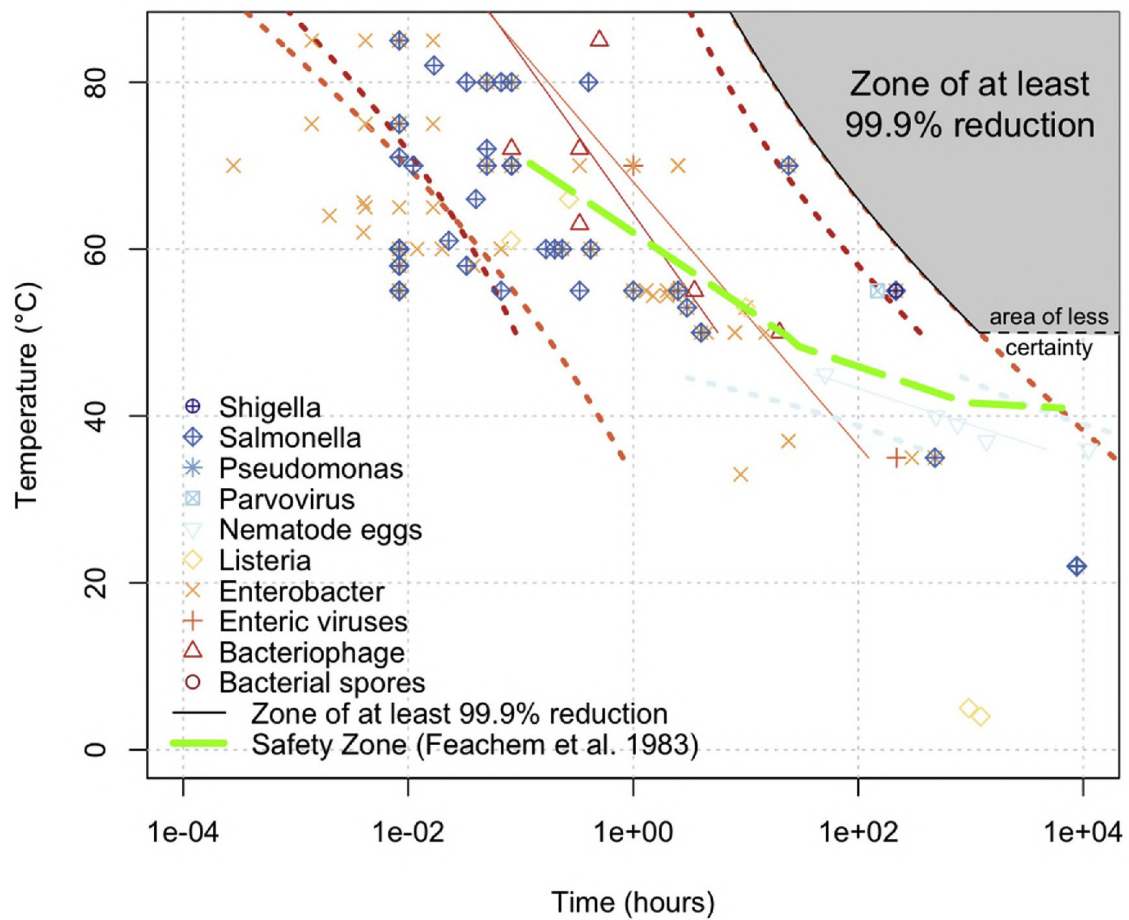


Fonte:

<https://thecuriousroad.com/homestead/three-bin-composting/>

Os microorganismos consomem carbono e nitrogênio numa proporção de cerca de 30 C / 1 N (AYILARA et al., 2020). Em medidas mais práticas, a proporção ótima é de cerca de 3 partes de materiais como grama seca, serragem e podas secas, polularmente chamados "browns", e 1 parte de restos orgânicos como, cascas de frutas, verdudas, borra de café, os chamados "greens". Quais carbonos utilizar dependerá de qual é mais acessível, porém a serragem é mais demorada de ser processada pelos microrganismos, devido às macromoléculas, como a lignina da madeira, que conferem justamente proteção ao ataque de microorganismos, mas por esse fato a serragem atua também como um elemento estruturante da compostagem, permitindo boa aeração. Como dito, as reações metabólicas desses organismos são exógenas, fazendo com que a temperatura das leiras ou reatores de compostagem passe de 60º Celsius. Isso faz cair drasticamente a contagem de organismos considerados patógenos, figura 2.5, como a salmonela e a E. Coli, (ESPINOSA et al., 2020).

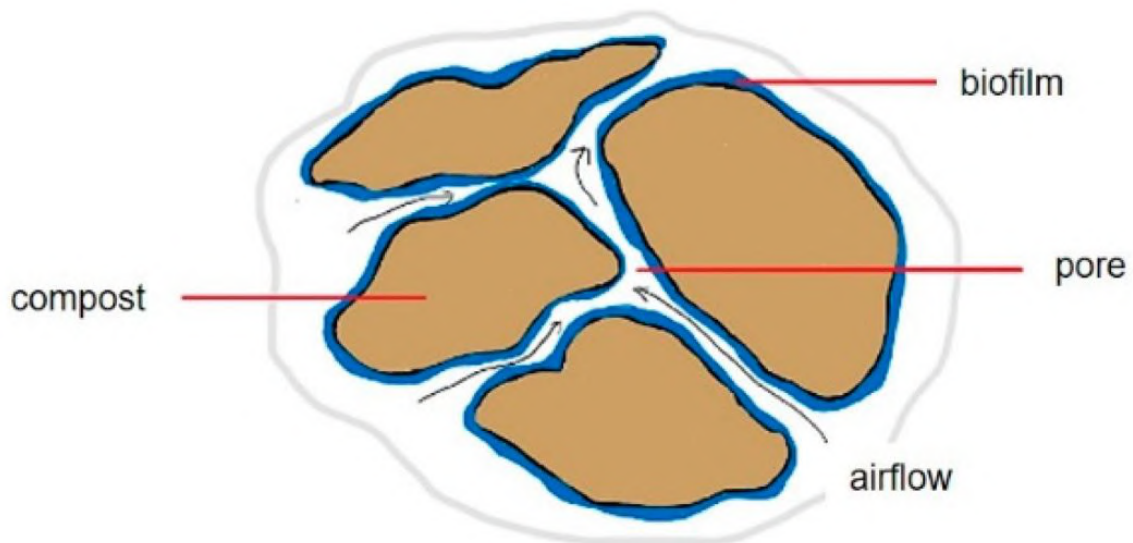
Figura 2.5 – Systematic review and meta-analysis of time-temperature pathogen inactivation.



Fonte: (ESPINOSA et al., 2020)

Na figura 2.6 é mostrada uma ilustração da estrutura do composto, onde nota-se a dinâmica entre ar e umidade.

Figura 2.6 – Estrutura do composto em um processo aeróbico.



Fonte: (AZIS et al., 2022)

Há um compromisso entre o nível de umidade necessário para a movimentação dos microorganismos e transporte de nutrientes e a oferta adequada de oxigênio no material. (KULIKOWSKA; GUSIATIN, 2015).

2.4 Vermiwash

Os restos de alimentos das cozinhas podem ser considerados um insumo que, depois de compostado, se transforma em um rico fertilizante orgânico. A minhoca mais conhecida para uso em minhocários é a *Eisenia Fetida*, conhecida como minhoca Californiana. A matéria orgânica, ao passar pelo seu trato intestinal, tem melhoradas, qualitativa e quantitativamente, as substâncias húmicas (GONZAGA; COELHO; CAETANO, 2015). Também no contato com as minhocas esse futuro adubo está sendo inoculado com microorganismos benéficos para o solo e para as plantas, por elas produzem importantes substâncias bioativas, metabólicos que promovem o crescimento do vegetal e o equilíbrio da vida nos substratos. O vermiwash, ou húmus líquido é obtido ao inserir água no material com minhocas, um líquido preto ou amarronzado é coletado, como visto na imagem 2.7. Pode ser então misturado à água de irrigação, servindo como um biofertilizante, ou mesmo pulverizado na plantação (GUDETA et al., 2021).



Figura 2.7 – Vermiwash coletado do minhocário.

2.5 Agricultura Urbana

A agricultura urbana ganha mais relevância com o debate sobre a sustentabilidade das cidades. Em se tratando de plantios urbanos, há legislações que proíbem a utilização de agrotóxicos, como por exemplo Lei 6.671 de 2020 (CLDF, 2020). a Lei das Hortas Urbanas no Distrito Federal,

Para efeitos da Lei Distrital nº 4.772 , de 24 de fevereiro de 2012, entende-se como hortas urbanas, jardinagem urbana e paisagismo produtivo:

Artigo 5º:

I - hortas urbanas: áreas destinadas ao cultivo de plantas comestíveis e medicinais;

II - jardinagem urbana: cultivo ornamental de plantas, folhagens, flores, frutos e ervas, desde que não sejam tóxicos;

III - paisagismo produtivo: cultivo de plantas ornamentais, comestíveis ou medicinais, com a finalidade de promover o embelezamento e a funcionalidade dos jardins urbanos.

§ 2º É vedada a utilização de agrotóxicos e o cultivo de espécies transgênicas na prática das atividades elencadas no caput.

No Artigo 7º:

§ 1º Os resíduos orgânicos devem receber tratamento no local em que foram gerados, observadas as normas técnicas aplicáveis.

Essa legislação acompanha os preceitos da agroecologia, proibindo o uso de agrotóxicos e espécies transgênicas na agricultura urbana, o que pode influenciar as outras práticas, a fertilização por exemplo, para caminhos mais ecológicos, com o emprego de adubação orgânica, que estimula as próprias defesas da planta.

Como ilustração, nas figuras 2.8 e 2.9 pode-se comparar a massa de uma casca de banana em relação à banana completa. A casca da fruta mais consumida no mundo representa 42% da massa total. É claro que para os outros alimentos os restos podem responder por valor menor, como a manga e o abacate, mas como vimos, cerca de 50% do nosso lixo é matéria orgânica. Fica claro que os restos orgânicos podem ser uma fonte de matéria a ser transformada em adubo.



Figura 2.8 – Banana com casca.



Figura 2.9 – Casca de banana.

A agricultura urbana não cabe como substituta à agricultura tradicional, mas complementar, e tem potencial para receber parte dos restos orgânicos gerados nas próprias cidades. Reintroduzindo esses nutrientes no solo, ela colabora com o fechamento do laço de matéria orgânica e assim reduz os impactos ambientais dos depósitos de lixo. (MOUGEOT, 2006).

2.6 Internet das Coisas na Agricultura

Os dispositivos IoT coletam informações de sensores e por fim tomam decisões baseadas nos dados coletados, na agricultura isso pode incrementar a qualidade e a quantidade da produção, pelo fato de trazerem precisão e constância nas tarefas, como já está acontecendo por todo o mundo. Das tecnologias empregadas a Wi-Fi é a que aparece com mais frequência (30%), seguida da comunicação via celular (21%). Os sensores mais utilizados na agricultura que emprega IoT são o de temperatura (24%), umidade do ar (19%), umidade do solo (15%), pH do solo (7%), nível de água (6%) e intensidade luminosa (3%), segundo a revisão feita por (MADUSHANKI et al., 2019)

2.7 Sistemas de Irrigação Comerciais

Há controladores voltados para irrigação residencial que apresentam funções com opções de mudança de horários, de agenda, o que já proporciona um ótimo aprimoramento se comparado à irrigação manual. Mas esses produtos não oferecem a possibilidade da bio-

fertilização por um sistema integrado com a vermicompostagem. Somente na produção comercial foram encontradas soluções para uma maior automação do cultivo. Para a automação em larga escala existem sistemas bastante completos e em constante aprimoramento para atender as demandas de uma produção comercial. Figuram entre as maiores empresas de irrigação do mundo empresas como a NETAFIM, Jain Irrigation Systems Limited (JISL), The Rain Bird Corporation e Rivulis.

Para os cultivos domésticos as soluções mais encontradas são os temporizadores de abertura de válvulas como o da figura 2.10. Em pequenas produções as soluções mais comuns são as mangueiras de gotejamento como o kit da figura 2.11.



Figura 2.10 – Controlador Hunter X-Core 2 Setores interno.



Figura 2.11 – Kit de irrigação por gotejamento.

Vemos que a quantidade de funções dos produtos destinados à pequenos cultivos é pequena, na maioria limitando-se a um sistema de gotejamento da água ou abertura e fechamento temporizado de válvulas.

2.8 Protocolo MQTT

MQTT é um protocolo de comunicação assíncrona, o que ajuda na comunicação em ambientes com alta latência e instabilidade na rede, como na ausência momentânea de algum dispositivo. Consiste de uma forma de envio e recebimento de mensagens de dispositivos por meio de um intermediário, o broker, e os dispositivos, dentro dessa lógica, sendo chamados clientes assinantes ou publicadores dessas mensagens. Os clientes dentro desse protocolo não tem interação alguma com os outros clientes, nesse sentido nada muda se a publicação é feita em um tópico que contém 10 ou 1000 dispositivos assinantes. Esse modelo desacopla os publicadores e os assinantes, permitindo flexibilidade para a comunicação. Uma vantagem do MQTT na internet das coisas é que ele consome uma baixíssima largura de banda, ao contrário do protocolo HTTP, sendo ideal para a comunicação de máquina para máquina (M2M) na internet das coisas. ([LIGHT, 2007](#))

2.9 Node-RED

O Node-RED é uma ferramenta de programação visual, criada pela IBM, que atualmente está sendo utilizado na Internet das Coisas, pelas suas capacidades de integrar dispositivos, API's e serviços online ([OPENJS..., s.d.](#)). Uma aplicação com o Node-RED pode funcionar com ele instalado em uma máquina virtual (serviço na nuvem), em um PC local ou em dispositivos menores, como o Raspiberry Pi, no qual já vem com o Node-RED instalado no seu sistema operacional. O Node-RED, inicialmente criado para uso interno na IBM, hoje já é utilizado até como ambiente de configuração de dispositivos IoT Industriais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve os materiais e o sistema construído para os experimentos.

O local de testes do sistema é mostrado na figura 3.12, uma vista de corte do local, que mostra os Módulos Sensores de Clima (MSC), o Módulo Sistema de Irrigação (MSI), o Módulo Preparador de Biofertilizantes (MPB), o Módulo Estação de Vermicompostagem (MEV), e por fim o biorreator A (Ba) e o biorreator B (Bb) compondo o Módulo Estação de Compostagem (MEC). O foco do trabalho é o processo de compostagem e vermicompostagem. O MSI e os MSC's são parte acessória desse trabalho. Tubos e canos de transporte de água e fertilizante foram suprimidos na ilustração:

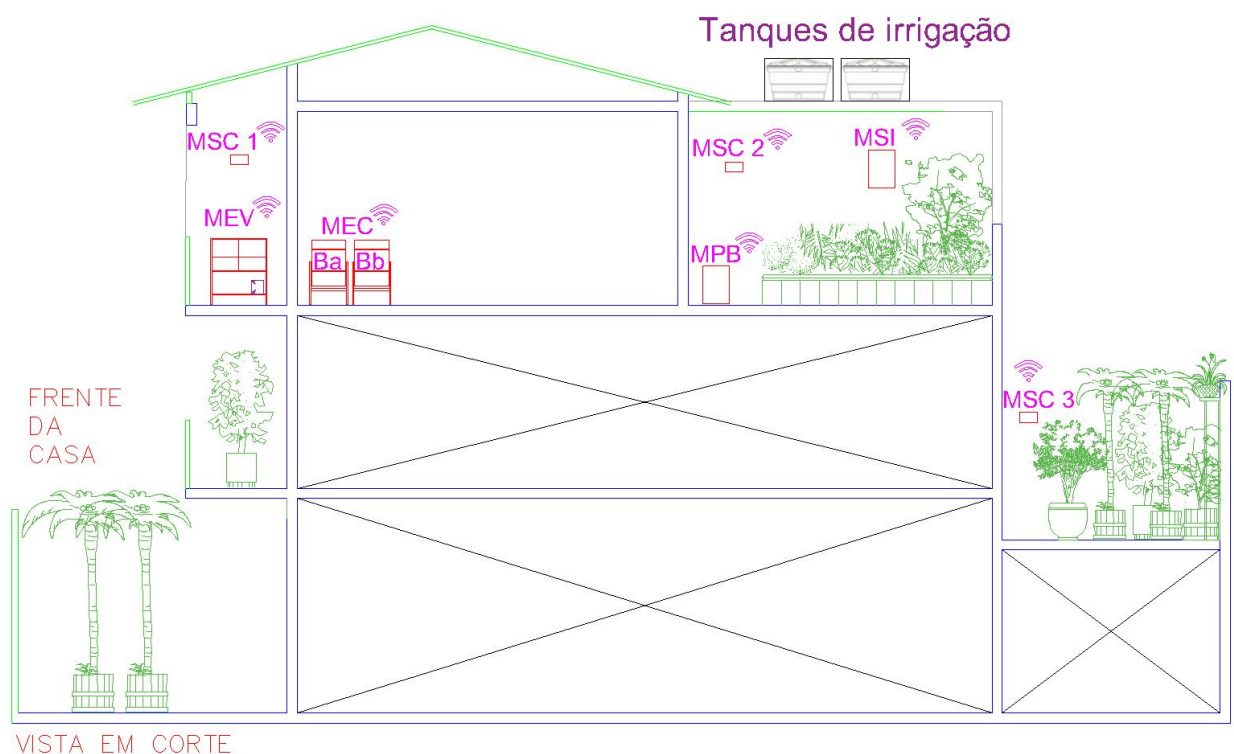


Figura 3.12 – Corte da planta.

A transformação da matéria orgânica e a produção dos adubos líquidos acontece nos três módulos em negrito da figura 3.13 .

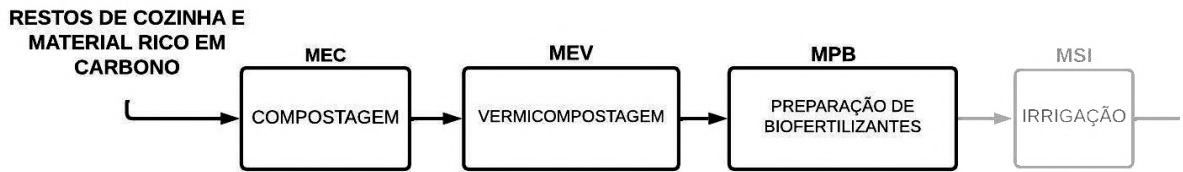


Figura 3.13 – Sequência de processos do sistema gestor de matéria orgânica.

3.1 Fluxograma

Na figura 3.14 vemos o fluxograma do sistema gestor de matéria orgânica.

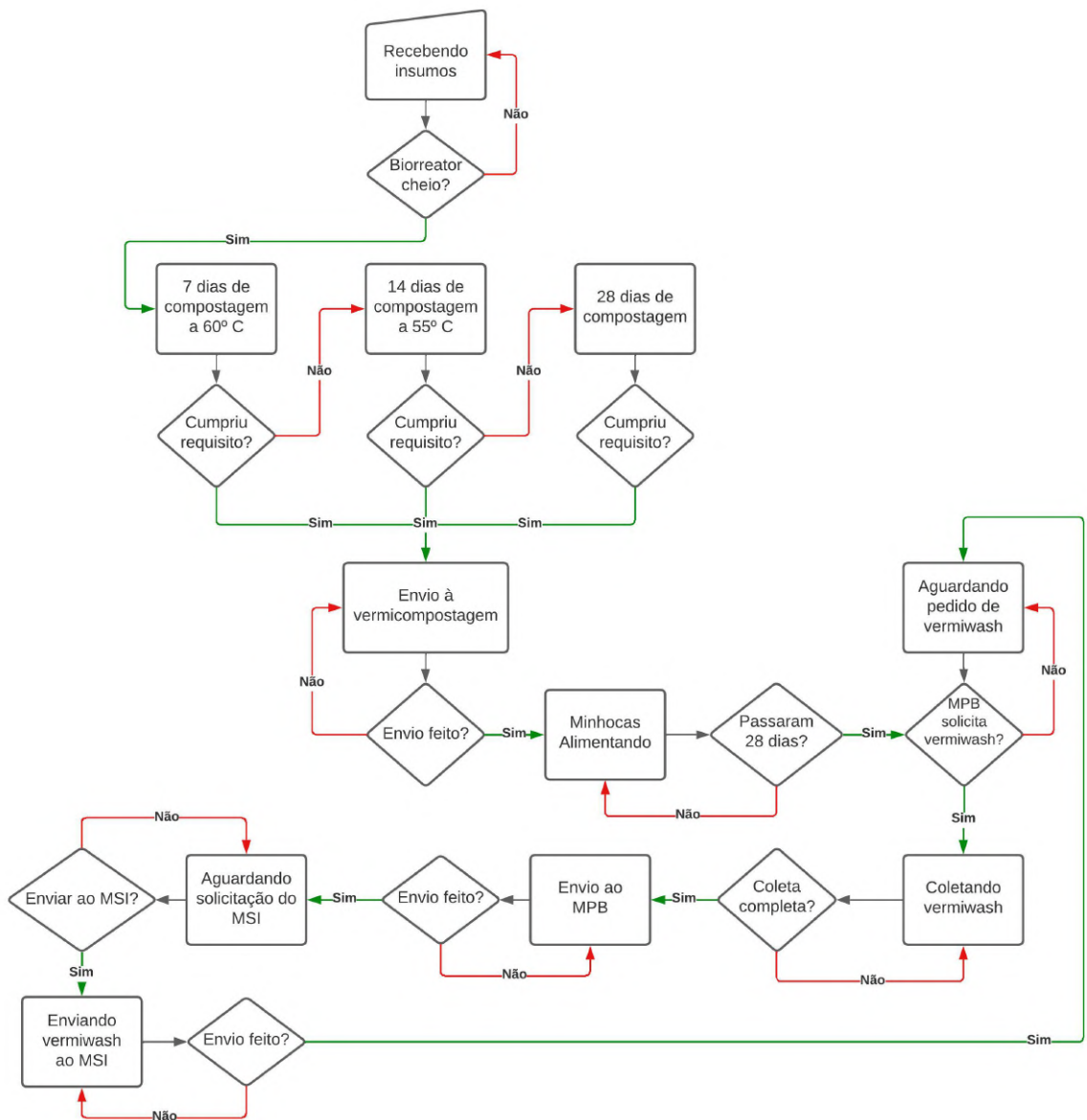


Figura 3.14 – Fluxograma do gestor de matéria orgânica.

Como visto no fluxograma, o biorreator é o início de todo o processo. Dois biorreatores se alternam no recebimento de matéria orgânica, dessa forma são dois conjuntos iguais de processos que funcionam de forma independente no sistema gestor de matéria orgânica. Da entrada de material para alimentação das minhocas até o início do gotejamento para extração do vermiwash decorrem 28 dias, tempo suficiente para as minhocas processarem o material e transforma-lo em húmus.

3.2 Diagramas dos Módulos

Cada módulo é responsável por uma parte da operação. A comunicação é feita pelo protocolo MQTT, utilizando o ESP32. Dentro do protocolo MQTT esses módulos são clientes, que assinam e publicam em tópicos.

Todos os módulos possuem uma placa de circuito impresso, que serve de base para receber sensores, atuadores, o ESP32 e o MSP430, ela realiza a interação entre eles, foi desenvolvida para esse projeto.

Módulo Estação de Compostagem (MEC)

O MEC, figura 3.15 , é onde se inicia a decomposição do material orgânico, inserida pelo usuário,

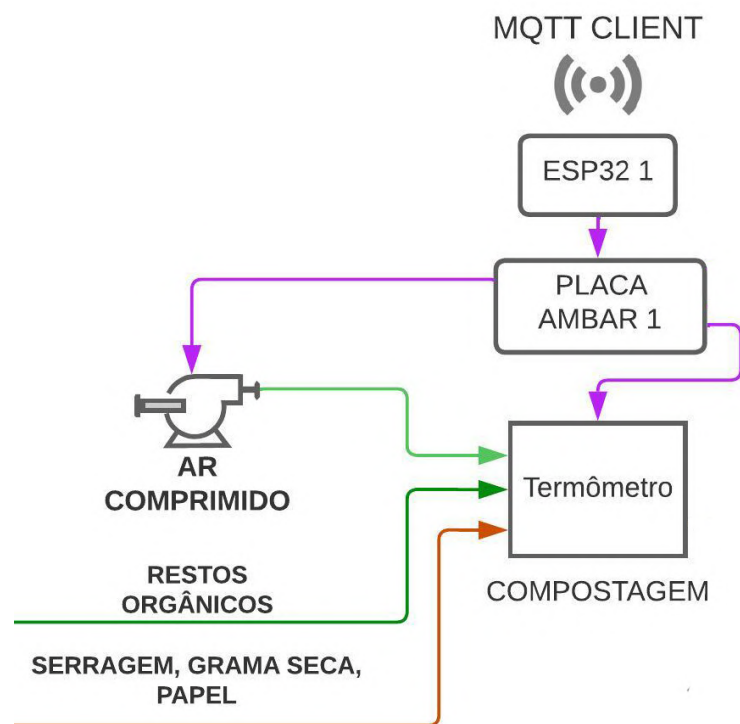


Figura 3.15 – Módulo Estação de Compostagem (MEC)

Módulo Estação de Vermicompostagem (MEV)

Após a compostagem, o material é levado para o MEV, figura 3.16 , que gera o húmus de minhoca. No tempo adequado é inserido água, por meio de gotejadores, gerando assim o chamado "vermiwash", ou húmus de minhoca líquido, que é coletado por gravidade.

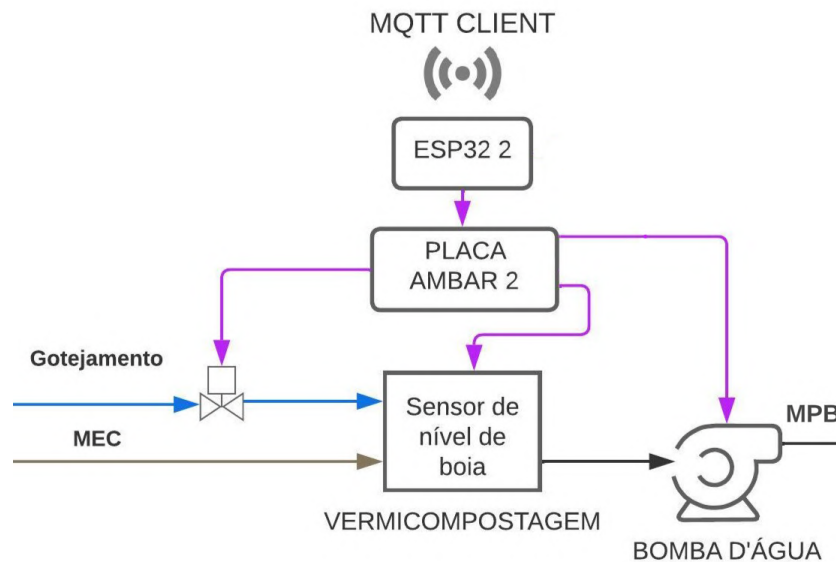


Figura 3.16 – Módulo Estação de Vermicompostagem (MEV)

Módulo Preparador de Biofertilizante (MPB)

O preparador de biofertilizante, figura 3.17 , recebe o vermiwash vindo da estação de vermicompostagem, possui um reservatório para estoque desse líquido. Também é onde o usuário poderá aplicar uma agenda diferente de fertirrigação. O preparador então envia a solução nutritiva em um tempo sincronizado com a operação do sistema de irrigação. O MPB foi concebido para trabalhar junto com um sistema de irrigação, como o que foi utilizado nesse trabalho, mostrada na 3.18.

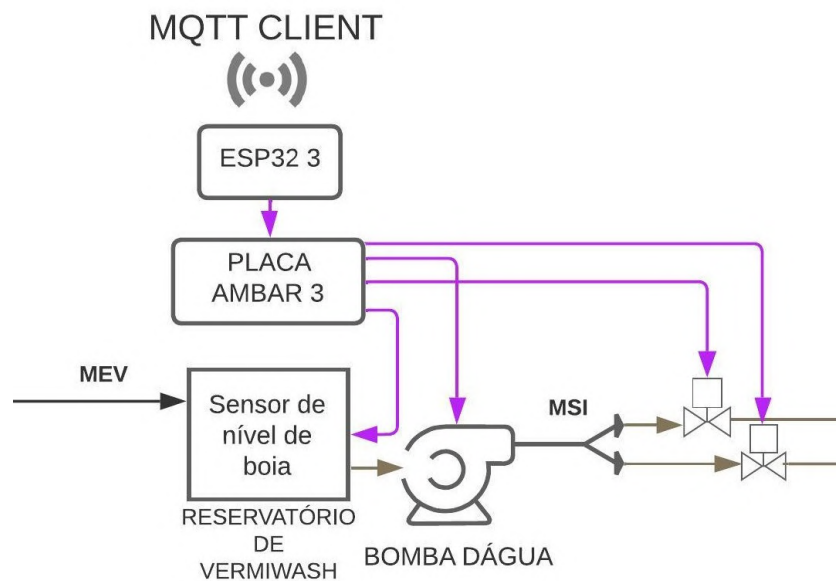


Figura 3.17 – Módulo Preparador de Biofertilizante. (MPB)

Módulo Sistema de Irrigação (MSI)

O módulo de irrigação receberá um dos produtos do sistema estudado nesse trabalho, que é o vermiwash extraído da vermicompostagem.

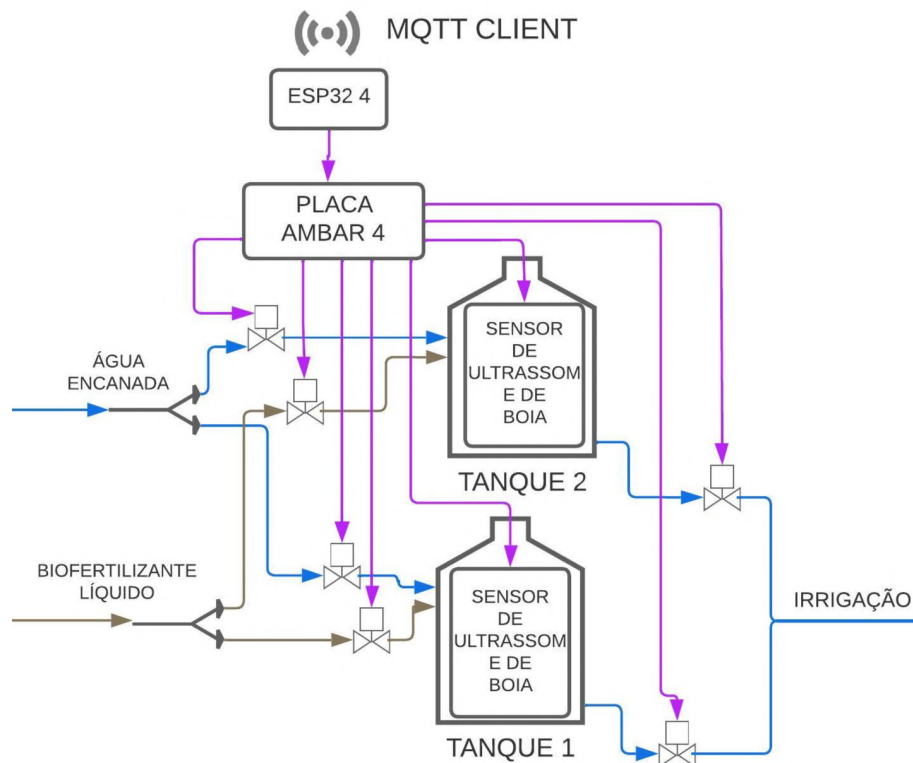


Figura 3.18 – Módulo Sistema de Irrigação. (MSI)

Módulo Sensores de Clima (MSC)

Três ESP32 também monitoram temperatura e umidade, figura 3.19, em pontos de interesse:

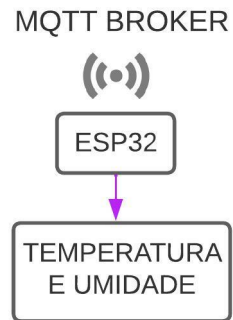


Figura 3.19 – Módulo Sensores de clima. (MSC)

3.3 Comunicações Via MQTT

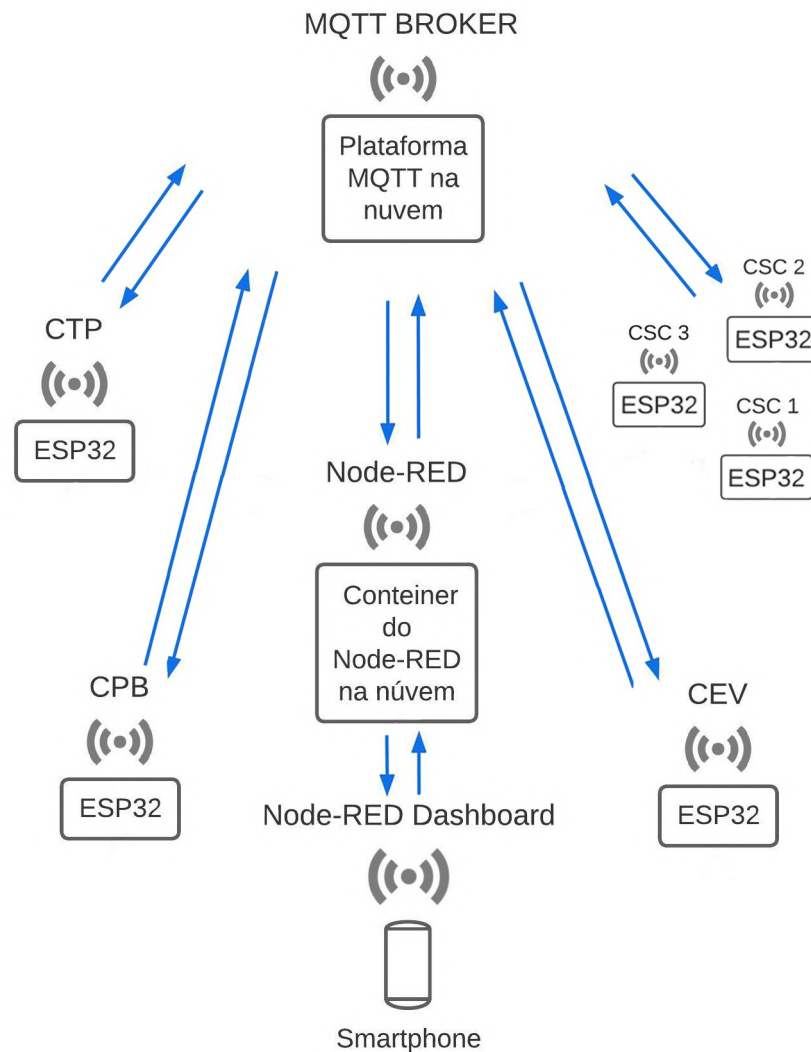


Figura 3.20 – Arquitetura da rede.

Na figura 3.20 é mostrada a arquitetura da rede, para esse trabalho foi utilizado o broker gratuito na nuvem do HiveMQ, enquanto que o Node-RED foi utilizado com o mesmo rodando em uma máquina virtual pelo Google Cloud.

ESP32 do MEC

Tópicos que publica:

Temperatura no interior dos Biorreatores A e B:

- "ambar/MEC/temp_reatorA/center"
- "ambar/MEC/temp_reatorB/center"

Topicos que assina:

Comando para acionamento do compressor de AR:

- "ambar/MEC/reatorA/airpump"
- "ambar/MEC/reatorB/airpump"

ESP32 DO MEV

Esse ESP32 apenas assina, em um tópico:

Comando para início da extração de vermiwash:

- "ambar/MEV/gotejamento/setorA"
- "ambar/MEV/gotejamento/setorB"
- "ambar/MEV/bombear/vermiwash"

ESP32 DO MPB

O ESP32 do Módulo Preparador de Biofertilizante publica e assina os respectivos tópicos no protocolo MQTT:

Tópicos que publica:

Publica o seu estado de operação:

- "ambar/MPB/vermiwash"

Topicos que assina:

Recebe o payload pelo qual interpreta se deve acionar o bombeamento de vermiwash aos tanques principais.

- "ambar/tanque1/status"
- "ambar/tanque2/status"

ESP32 DO MSI

Publica nos seguintes tópicos no protocolo MQTT:

Situação de recebimento de nutrientes:

- "ambar/tanque1/statusPrep"
- "ambar/tanque2/statusPrep"

Publicação na forma de códigos numéricos a disponibilidade para recebimento de biofertilizante nos tanques:

- "ambar/tanque1/status"
- "ambar/tanque2/status"

Momento do ciclo de operação em que os tanques estão, se estão enchendo, evaporando cloro, prontos, regando, vazios:

- "ambar/tanque1/nodered"
- "ambar/tanque2/nodered"

Publica o volume de água em cada tanque:

- "ambar/tanque1/nivel"
- "ambar/tanque2/nivel"

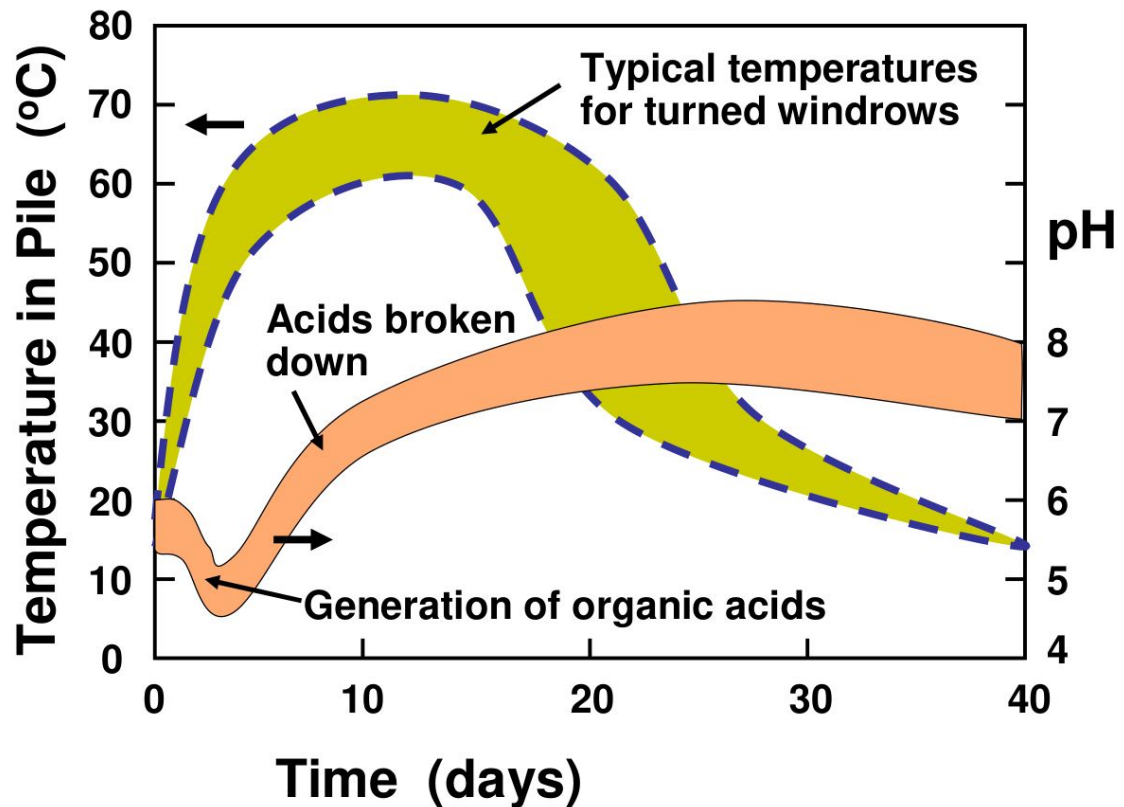
3.4 Programação do Node-RED

O Node-RED foi utilizado para fornecer a interface gráfica do sistema gestor de matéria orgânica.

3.4.1 Nós do Módulo Estação de Compostagem (MEC)

A faixa de temperaturas típicas em um processo de compostagem aeróbica, mostrada na figura 3.21, foi adicionada na composição dos gráficos de temperatura dos biorreatores. Então conforme o gráfico de temperatura é construído, a faixa de valores típicos vai se desenvolvendo no mesmo gráfico. Isso auxilia o usuário, gerando informações para tomada de decisão: inserir água, melhorar a proporção C/N, revirar o composto, inserir oxigênio.

Figura 3.21 – Curva típica de temperatura para a compostagem aeróbica.



(HUBBE; NAZHAD; SÁNCHEZ, 2010).

O código em javascript (apêndice b) que imprime a faixa típica de temperatura está inserido no nó "Máximo e Mínimo Compostagem Aeróbica", e o *inject* "A cada hora" marca o período de uma hora para que o nó "Máximo e Mínimo Compostagem Aeróbica" envie o payload para atualizar o gráfico com os novos valores típicos daquela fase do processo. Ao longo da composição do gráfico são adicionados 672 pontos para as temperaturas mínimas e o mesmo para as temperaturas máximas típicas, o que totaliza 28 dias de compostagem. Entretanto se em ao menos 5 dias o material ficar exposto a 65° Celcius, ele pode seguir para o minhocário, com isso ganha-se celeridade, aumentando a capacidade do sistema de processar mais matéria orgânica. A figura 3.22 mostra a configuração dos nós do Node-RED para o MEC:

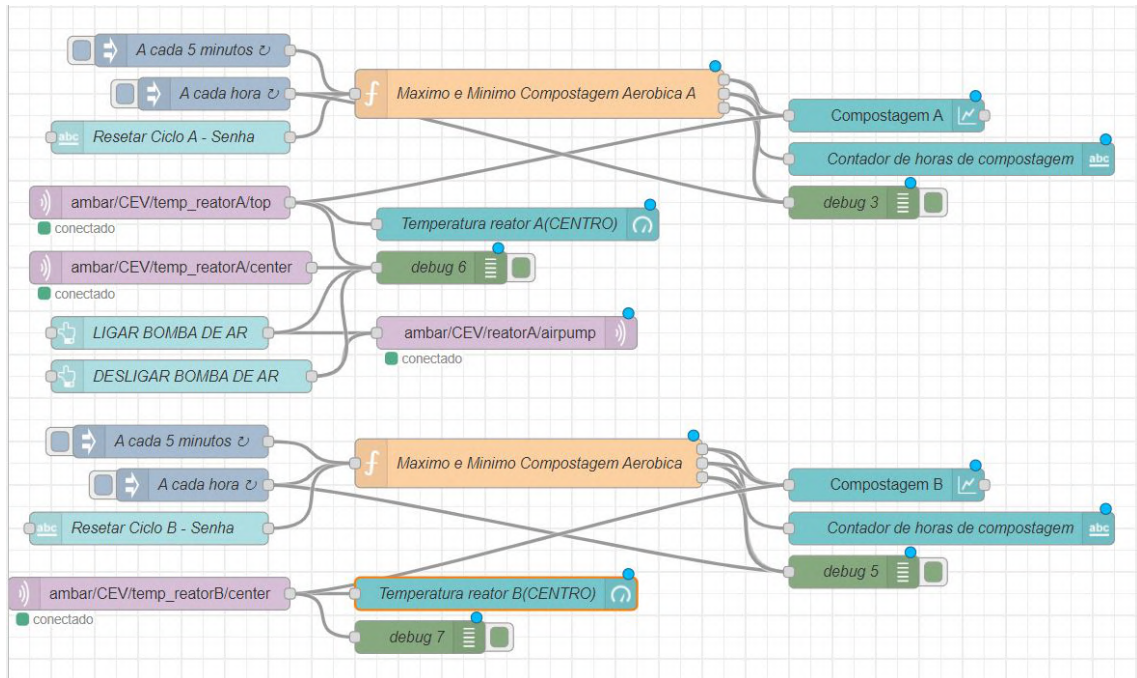


Figura 3.22 – Nós do Node-RED para o Módulo Estação de Compostagem.

3.4.2 Nós do Módulo Estação de Vermipostagem (MEV)

A figura 3.23 mostra os nós para o MEV

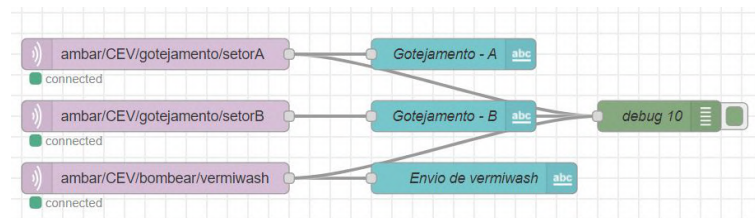


Figura 3.23 – Nós no Node-RED para o MSI.

3.4.3 Nós do Módulo Preparador de Biofertilizante (MPB)

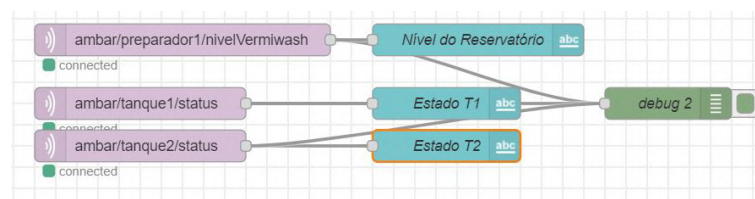


Figura 3.24 – Nós no Node-RED para o MPB.

3.4.4 Nós do Módulo Sistema de Irrigação (MSI)

A figura 3.25 mostra os nós para o módulo do sistema de irrigação.

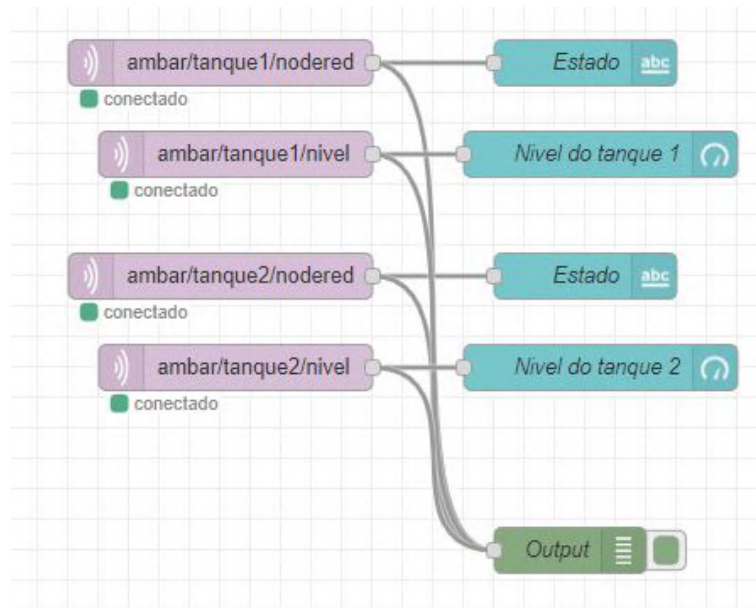


Figura 3.25 – Nós no Node-RED para o MSI.

3.4.5 Nós do Módulo Sensores de Clima (MSC)

A figura 3.26 mostra os nós dos sensores de clima. Os ESP32 publicam nos tópicos de temperatura, umidade e índice de calor no: CSC 1, CSC 2 e CSC 3.

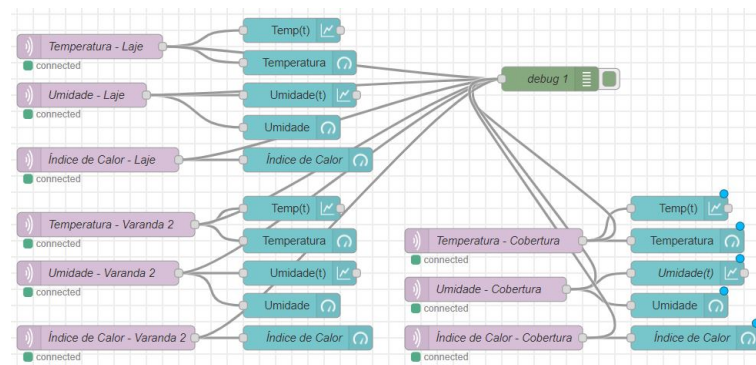


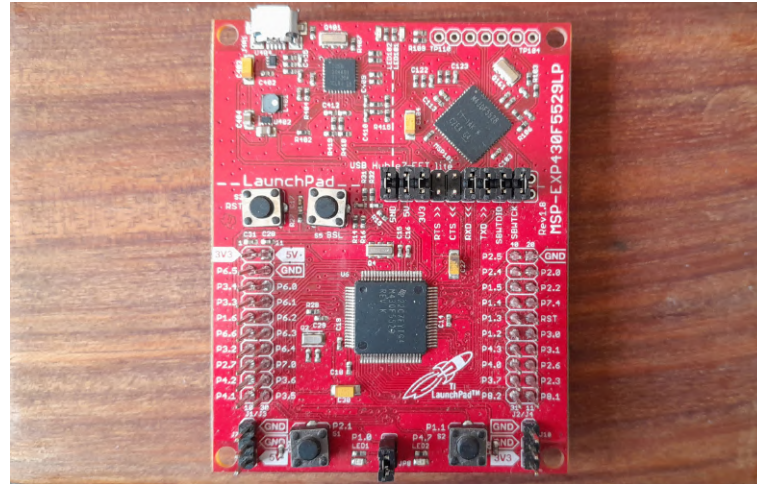
Figura 3.26 – Módulo Sensores de Clima.

3.5 Materiais

3.5.1 MSP430F5529LP

O MSP430F5529LP, figura 3.27, é uma plataforma de desenvolvimento produzida pela Texas Instruments, baseada no chip MSP430F5529. A linha de chips MSP430 é voltada para aplicações de ultra baixo consumo de energia, com frequências não ultrapassando os 25MHz. É voltado para sistemas com sensores analógicos e digitais. Dispõe de comunicações UART, SPI, I2C, USB, conversores ADC de 12Bits, timers e portas para GPIO.

Figura 3.27 – MSP-EXP430F5529LP.



Adquirido em: <https://www.ti.com/tool/MSP-EXP430F5529LP>

3.5.2 ESP32 Dev Kit

O ESP32 DEV KIT figura 3.28, é uma plataforma de desenvolvimento, baseada no módulo de propósitos gerais ESP32-WROOM-32, com Wi-Fi e Bluetooth. Suas aplicações vão desde sensoriamento de baixa energia até reconhecimento de voz e imagem. O chip ESP32-D0WDQ6 é o núcleo do módulo, possui duas CPUs que podem ser individualmente controladas, com a frequência variando de 80Mhz a 240Mhz. Também há um coprocessador, que opera a menores frequências, podendo ser utilizado ao invés das CPUs principais nos modos de Deep-sleep, quando a demanda é apenas monitoramento de periféricos por exemplo, poupando energia.

O ESP32 oferece comunicação SPI, UART, I2C, além de portas para GPIO.

Figura 3.28 – ESP32.



Adquirido em: <https://curtocircuito.com.br/>

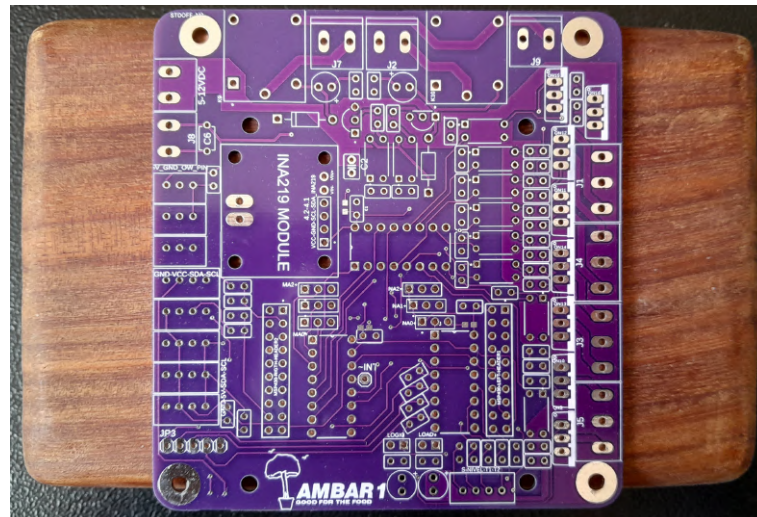
A programação do ESP32 pode ser feita pela Arduino IDE ou por outros compiladores,

por exemplo o software próprio da ESPRESSIF, o Espressif-IDE, onde há mais possibilidades de desenvolvimento, como ferramentas mais sofisticadas de debug.

3.5.3 Placa de Sensores e Atuadores

A placa de sensores e atuadores, figura 3.29, foi concebida para organizar o hardware do sistema experimental, concentrando a alimentação das válvulas motorizadas e das bombas, e também recebendo todos os dispositivos utilizados no experimento: Sensores de temperatura, sensores de ultrassom, sensores de nível de boia, LCD e sensor de corrente e consumo. Nomeada placa "Ambar".

Figura 3.29 – Para Ambar, para organização das conexões com sensores e atuadores.



Produzida por: <https://jlcpcb.com/>

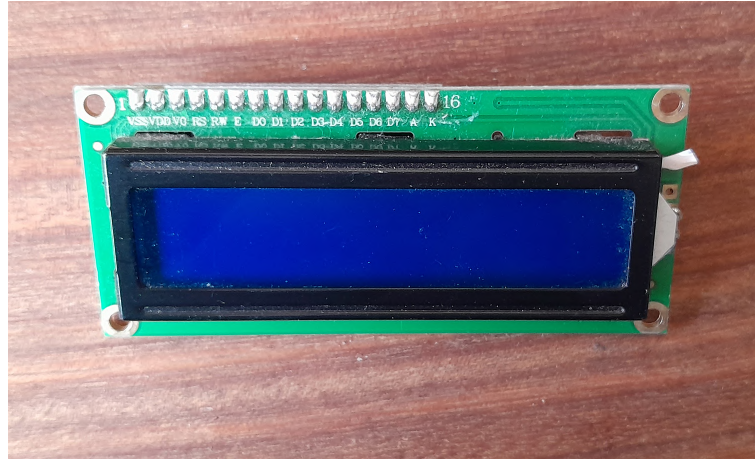
Confeccionada com as dimensões do padrão PC/104, para compatibilidades com as medidas de invólucros comerciais desse padrão.

3.5.4 LCD

O módulo LCD, figura 3.30, possui o chip PCF8574, um chip para comunicação I2C, dessa forma a comunicação com o MSP430 é simplificada, por utilizar somente dois fios e

com o barramento compartilhado entre vários outros dispositivos, o que economiza portas dos microcontroladores.

Figura 3.30 – LCD.

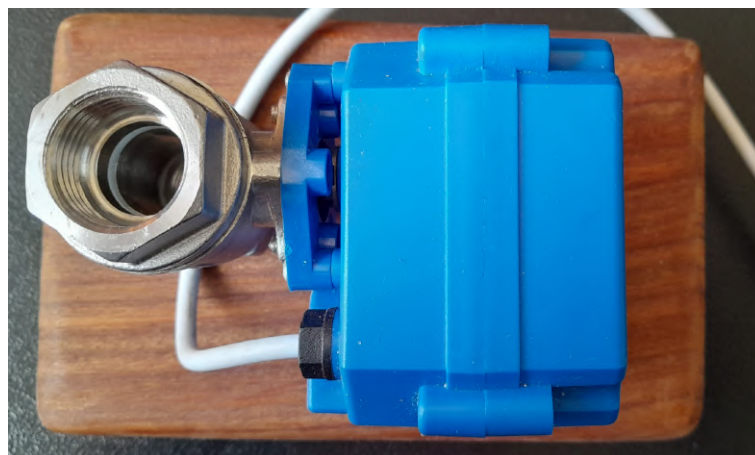


Adquirido em: <https://curtocircuito.com.br/>

3.5.5 Válvula Esfera Motorizada

A válvula esfera motorizada, figura 3.31, aceita alimentação de 4 a 6 V dc, com corrente de operação em torno de 70 mA. São três fios: fio vermelho para o sinal de abrir, azul para o sinal de fechamento e o fio amarelo para o GND. Permanece energizada apenas no momento de abertura ou fechamento, possui circuito interno próprio para esse controle.

Figura 3.31 – Válvula esfera motorizada.



Adquirido em: <https://pt.aliexpress.com>

3.5.6 Sensor de Distância Ultrassônico

O sensor de distância, figura 3.32, será utilizado para estimar mais precisamente o volume de água nos tanques 1 e 2. Este sensor de distância ultrassônico funciona por meio do envio periódico de ondas ultrassônicas e a contagem do tempo desde que a onda foi enviada

até o momento de chegada do sinal de eco vindo de alguma superfície em que a mesma refletiu.

Figura 3.32 – Sensor de distância ultrassônico.



Adquirido em: <https://www.casadarobotica.com/>

3.5.7 Válvula Solenoide

A válvula solenoide, figura 3.33, é alimentada em 220 V ac. Será utilizada para abrir e fechar a irrigação e selecionar o destino do vermiwash.

Figura 3.33 – Válvula Solenoide.



Adquirido em: <https://www.mercadolivre.com.br/>

3.5.8 Bomba Centrífuga

A bomba centrífuga ilustrada na figura 3.34 impulsiona até 14 Litros por minuto e será utilizada para o transporte de vermiwash até o recipiente do preparador e também para o envio das soluções nutritivas aos tanques principais.

Especificações:

- Pode trabalhar submersa;
- Baixo nível de ruído (40db a ≤ 0.5 mts de altura);
- Tensão nominal: 12 V dc;
- Coluna d'água máxima: 5 mca;
- Fluxo de Água: 840 L/h (horizontal).

Figura 3.34 – Bomba d'água para envio de solução de biofertilizante aos tanques principais.

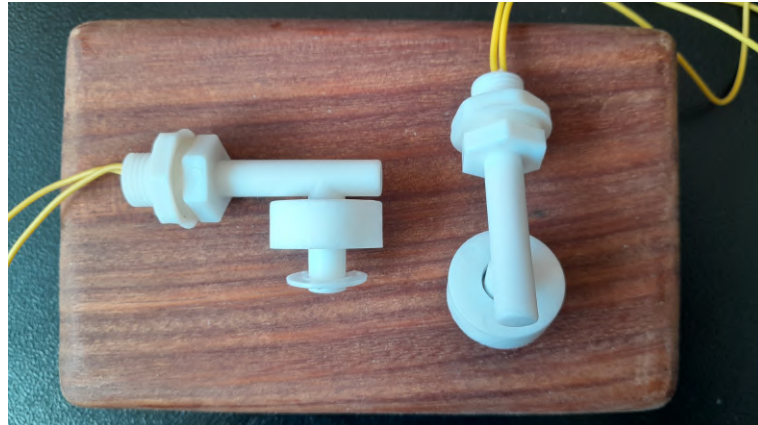


Adquirido em: <https://www.mercadolivre.com.br/>

3.5.9 Sensor de Nível de Líquidos

Os sensores de nível, figura 3.35, serão utilizados para sinalizar o esvaziamento ou enchimento dos tanques:

Figura 3.35 – Sensor de nível de líquidos.



Adquirido em: <https://www.huinfinito.com.br/>

3.5.10 Sensor de Temperatura e Umidade do Ar

O módulo de temperatura e umidade, figura 3.36, é baseado no chip SHT30 da Sensirion, tem melhor acurácia que o DHT22, mais popular.

Especificações seguindo o fabricante são:

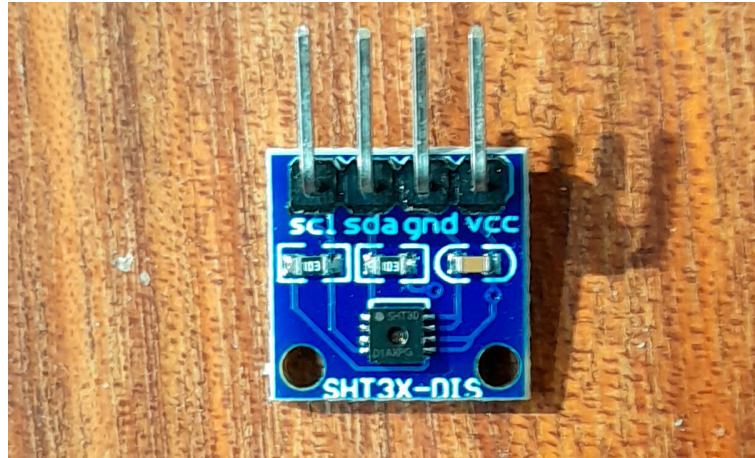
Umidade:

- Precisão de medição da umidade relativa: 2 %;
- Faixa de operação: 0 - 100 %;
- Tempo de resposta (tau: 63 %): 8 s.

Temperatura:

- Precisão da medição de temperatura: 0.2 °C;
- Faixa de operação: -40 - 125 °C;
- Tempo de resposta (tau: 63 %): > 2 s,.

Figura 3.36 – Sensor de umidade do ar.



Adquirido em: <https://www.usinainfo.com.br/>

3.5.11 Caixas D'água

Os reservatórios da irrigação, figura 3.37, serão duas caixas d'água de 310 L cada. Fabricadas em polietileno.

Figura 3.37 – Caixa d'água de 310 litros.



Adquirido em: <https://www.leroymerlin.com.br/>

3.5.12 Compiladores

A launchpad MSP430F5529LP foi programada utilizando o Code Composer Studio V12.2.0, da Texas Instruments, os ESP32 foram programados no ambiente de desenvolvimento Arduino por meio do recurso OTA (Over The Air). Dessa forma os dispositivos ESP32 podem receber novas versões de código sem precisar conectá-los fisicamente ao computador.

3.5.13 Autodesk Fusion 360

O Autodesk Fusion 360 é uma plataforma que integra o desenvolvimento de PCBs, a modelagem 3d do produto, a simulação mecânica, testes de stress, etc. O Fusion 360 herda uma série de funcionalidades de produtos consagrados na indústria.

A placa Ambar e os biodigestores foram projetadas nesse software.

3.6 Funcionamendo dos Softwares

MEC

O ESP32 do MEC recebe os valores de temperatura no biorreator e publica em tópicos no MQTT, para construção dos gráficos da compostagem. Também aciona o compressor de AR mediante comando enviado pelo usuário via MQTT.

MEV

O ESP32 do MEV aciona válvulas para o gotejamento da extração de vermiwash no minhocário. Monitora o nível de vermiwash no recipiente por meio de sensores tipo boia. Por fim aciona a bomba d'água para envio do vermiwash ao MPB.

MPB

O ESP32 do MPB solicita ao MEV o envio de vermiwash e aguarda o comando para envio do vermiwash ao MSI.

MSI

O ESP32 do MSI recebe do MSP430F5529 o estado de operação do sistema de irrigação por meio da comunicação UART e publica o estado em tópicos no MQTT. O MSP430F5529 do MSI gerencia a irrigação seguindo alguns princípios:

- Cumprir um tempo de evaporação do cloro na água, depois de o tanque ser enchido, quando finalizado esse tempo, o tanque se encontra pronto para irrigação e informa, via MQTT, o módulo preparador de biofertilizante, comunicando que está disponível para receber a solução nutritiva. Esse tanque que se encheu e cumpriu o tempo de evaporação do cloro, passa a esperar que a água do outro tanque, que está em processo de irrigação, se esgote. Se até esse momento o preparador de biofertilizante por algum motivo não estiver disponível ou sem nutrientes em estoque, a irrigação vai prosseguir mesmo assim.

MSC

O ESP32 dos MSC's apenas coleta dados de temperatura e umidade do sensor e publica em tópicos no MQTT.

Somente mangueiras e canos conectam os módulos, as informações que um módulo precisa enviar para o outro são transmitidos por meio dos ESP32 operando como clientes

dentro do protocolo MQTT.

3.7 Construção dos Equipamentos

3.7.1 Placa de Sensores e Atuadores

A placa concebida para esse projeto é utilizada em todos os módulos do sistema, como base de conexão entre os microcontroladores e os sensores e atuadores, foi projetada no software Autodesk Fusion 360. Confeccionada para receber a plataforma de desenvolvimento MSP430F5529LP, por meio das suas barras de pinos, mas obviamente pode receber sinais de controle de qualquer outro microcontrolador. Ela facilita a conexão entre sensores e o microcontrolador, também realiza a interação com cargas maiores que os microcontroladores conseguem suprir. Suas especificações são:

- 8 saídas controladas via protocolo I2C para acionamento de cargas de até 24 V dc ;
- 2 saídas controladas via protocolo I2C para acionamento de cargas de até 220 ac;
- Recebe três dispositivos (conectores KK) com protocolo One-Wire;
- Recebe três dispositivos (conectores KK) com protocolo i2c;
- Recebe dois sensores de ultrassom (conectores KK) ;
- 4 entradas (conectores KK) para o conversor A/D;
- Recebe o módulo INA219 para medição de corrente e consumo das cargas de até 24 V dc;

No apêndice "a" encontra-se os esquemáticos dos circuitos da placa, na figura ?? vemos o projeto das trilhas de cobre e na figura 3.39 vemos o modelo 3D montado no Fusion 360:

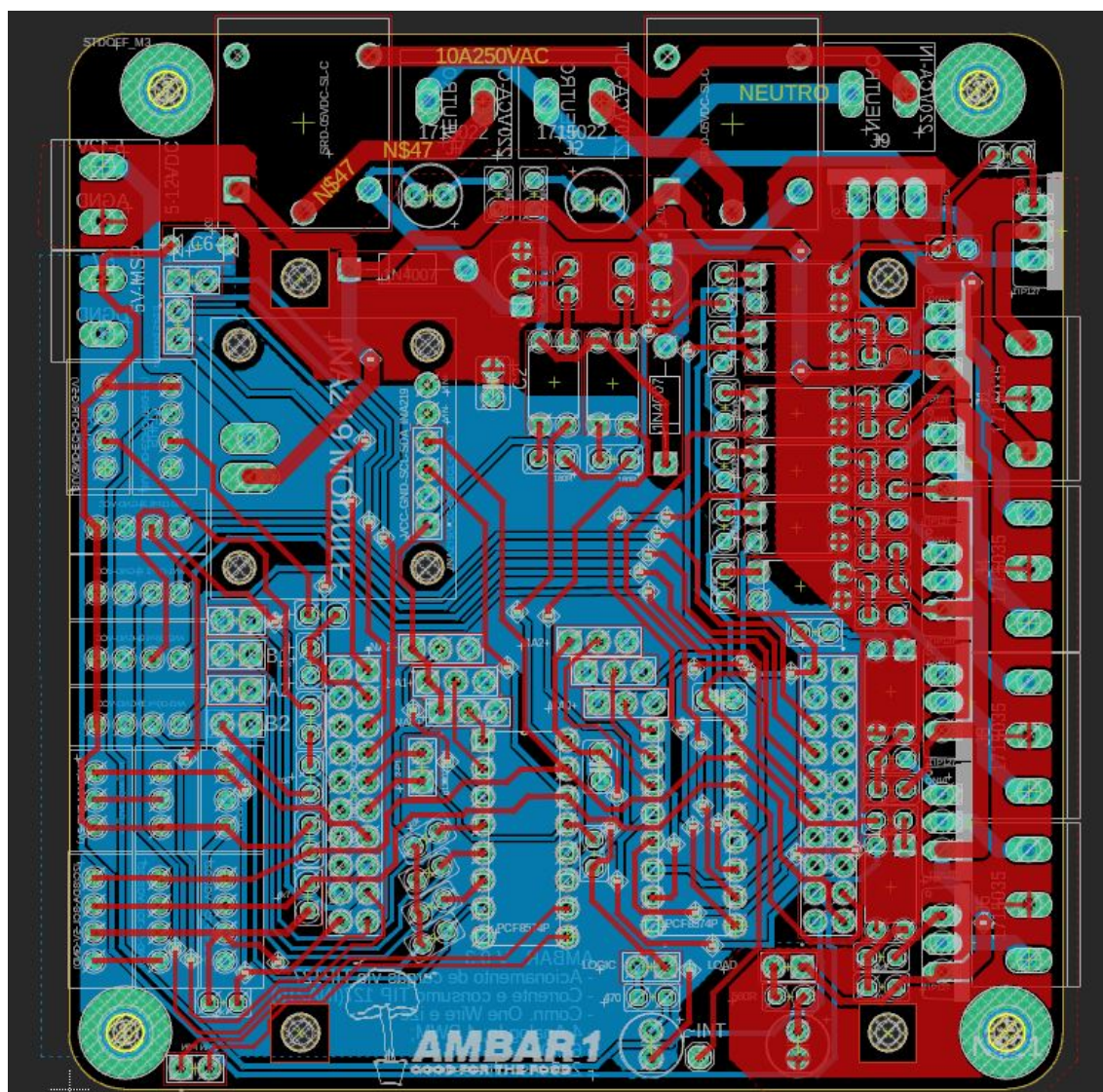


Figura 3.38 – Trilhas da placa dos sensores e atuadores.

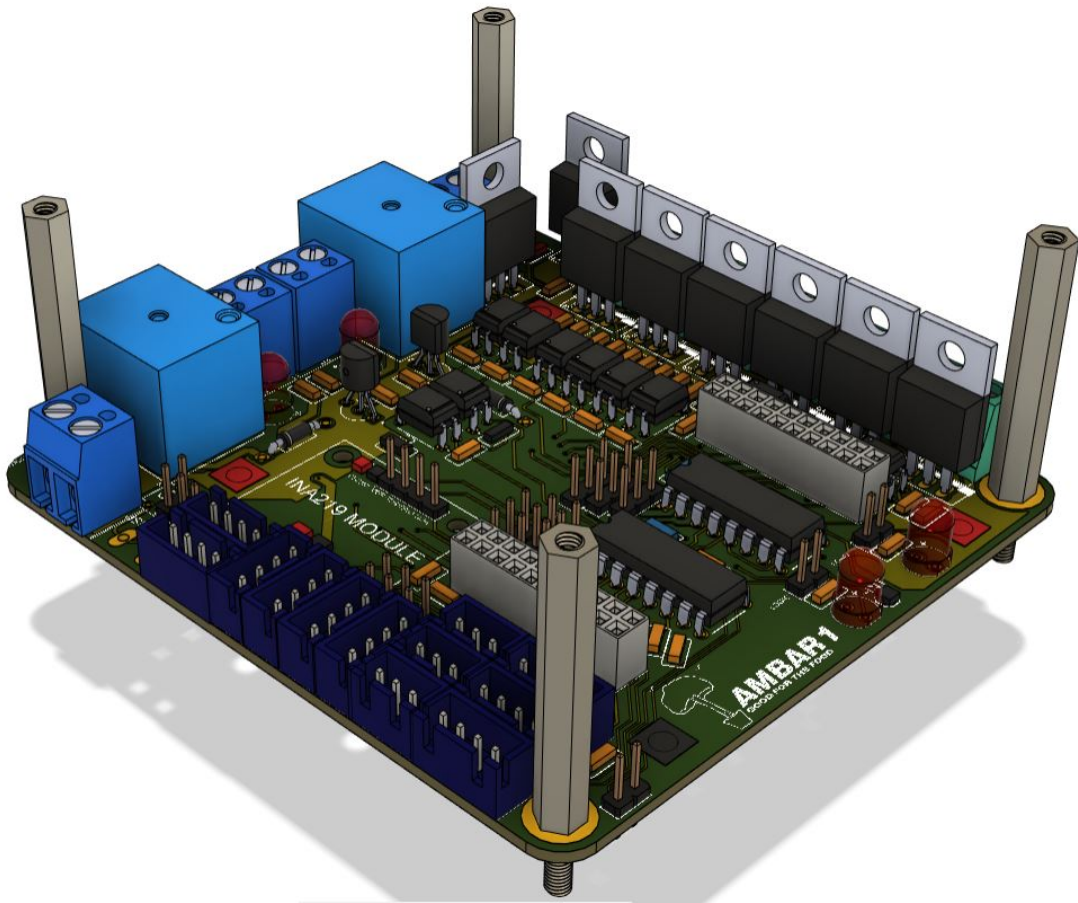


Figura 3.39 – Modelo 3d da placa no Fusion 360.

Gerar um modelo 3d das placas que serão confeccionadas ajuda a otimizar a posição dos componentes, visando reduzir o tamanho do produto.

3.7.2 Biorreatores

Os materiais para a construção deveriam ser os mais sustentáveis. Então com o fim de que esse estudo incentivasse a reflexão sobre quais tipos de materiais utilizar na produção de biorreatores domésticos, o biorreator A foi construído a partir de materiais mais elementares. Para a parte que entra em contato com a matéria orgânica foram pesquisados os seguintes materiais: Madeira, Plástico, Aço Inox e Alumínio, com o Alumínio sendo a opção escolhida para construir um biorreator rotativo pelos seguintes motivos:

- Não enferruja;
- A sua oxidação forma uma camada que termina por conferir proteção à deterioração;
- Resiste à altas temperaturas;
- Melhor para trabalhar e mais barato do que o aço inox;

- Um dos materiais mais recicláveis e reciclados que existem;

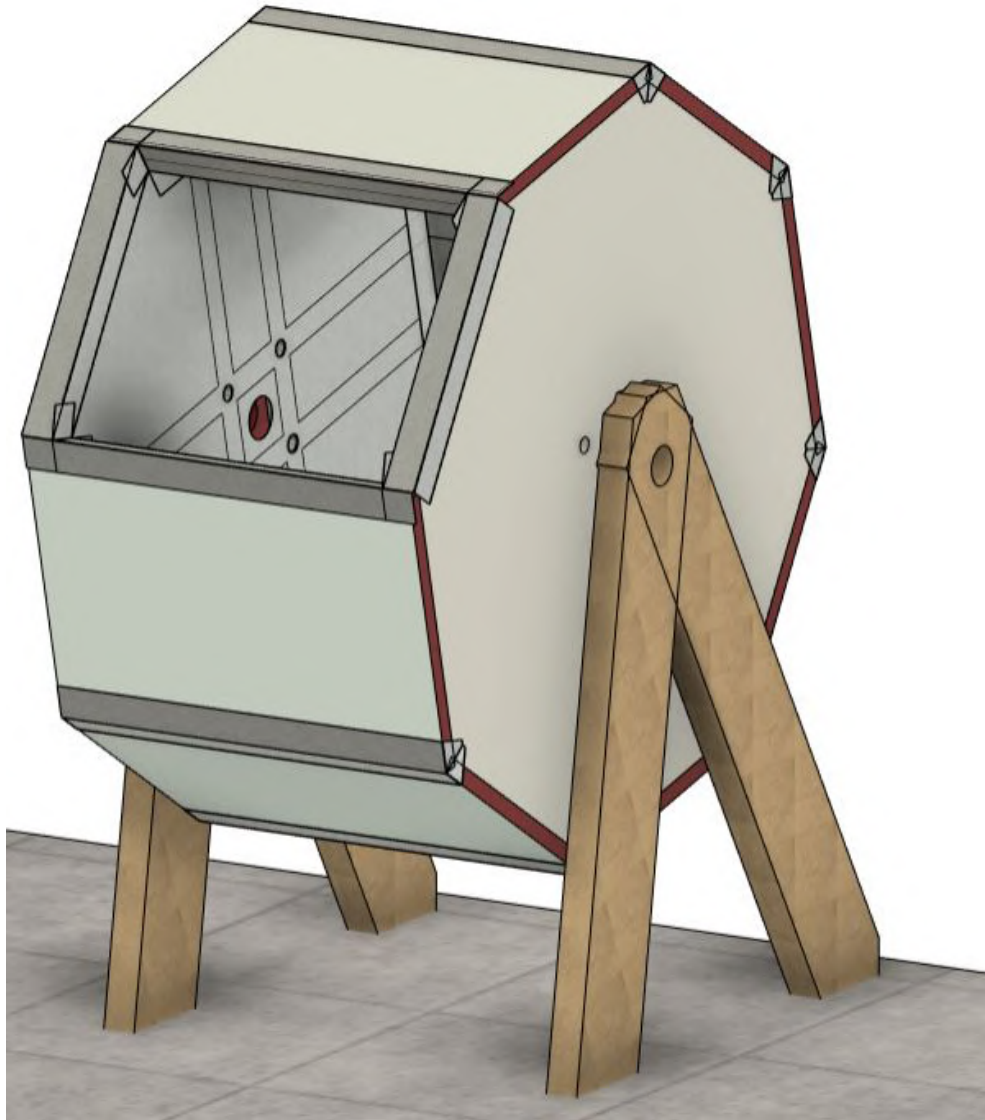


Figura 3.40 – Modelo 3d do Biorreator A.

Como isolamento térmico, o biorreator A possui um espaço de ar entre a superfície interna e a externa, figura 3.41, O MDF foi utilizado como acabamento e também serve como uma segunda barreira isolante, figura 3.40.

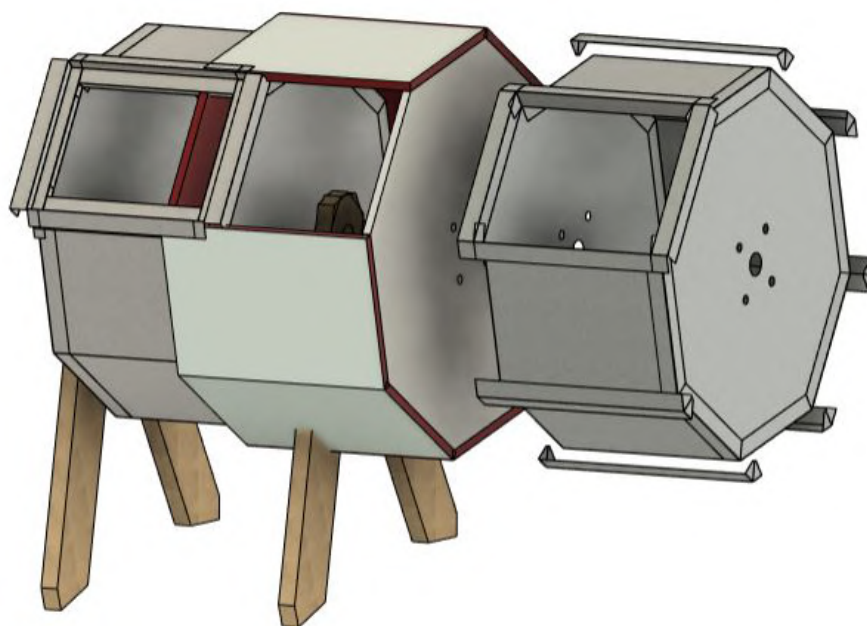


Figura 3.41 – Biorreator A particionado.

Na figura 3.41, é mostrado o modelo 3d no software Fusion 360, onde foi possível realizar todas dobraduras das chapas de alumínio antes de fazer qualquer corte na chapa real, servindo como forma de aprimorar o desenho e treinamento para a construção.

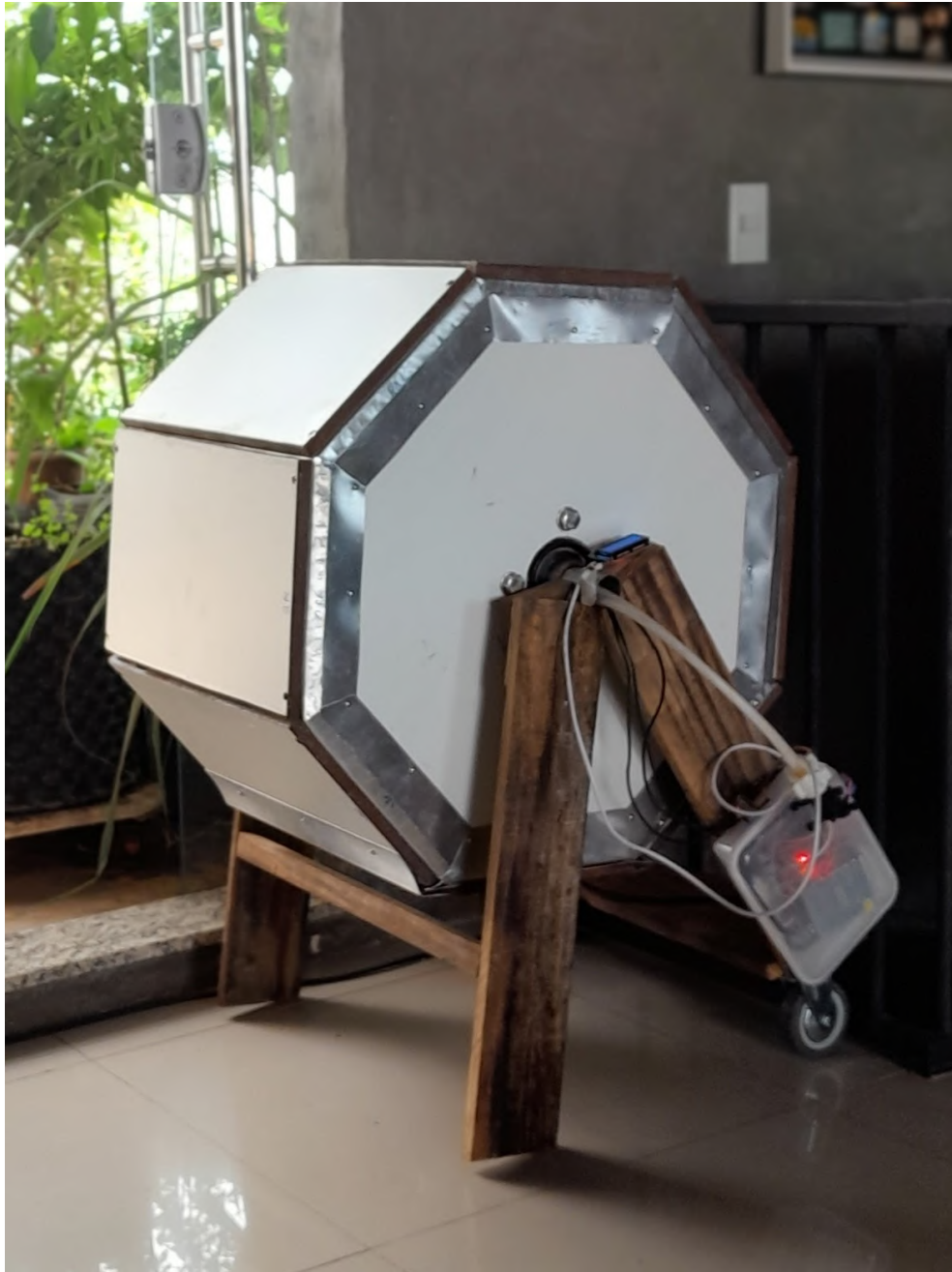


Figura 3.42 – Protótipo para teste do conceito (O "Cyber Reactor").

O biorreator construído é mostrado na figura 3.42. O interior do biorreator A é visto na figura 3.43. A princípio a haste vertical, próxima da parede direita, fixaria três termômetros, no nível baixo, médio e alto da câmara, bem como daria suporte para uma mangueira de aeração e uma mangueira para coleta de gases para análise de sensores localizados fora do biorreator, mas os restos orgânicos, a serragem e o papelão, ao menos quando recém inseridos, se tornam uma massa que provoca um torque que move a haste vertical. Então uma nova haste, menor, foi colocada, com dois termômetros, um no eixo de rotação e outro 10 cm abaixo. No interior do biorreator também foram fixadas cinco abas em alumínio para misturar material.



Figura 3.43 – Interior do Biorreator A.

Após mais estudos foi encontrado que o MDF é potencialmente nocivo à saúde, por ter formaldeído em sua composição, um agente comprovadamente cancerígeno ([BREGINSKI, 2015](#)). Em projetos futuros é preciso escolher um outro material para ser aplicado nos projetos.

Como verificação de que a compostagem confinada poderia alcançar a temperatura de interesse, foi construído o biorreator B, figura [3.44](#).



Figura 3.44 – Biorreator B, Balde de 60L isolado com fibra cerâmica

A partir de 2 baldes de 60L e com isolamento de fibra cerâmica. A fibra cerâmica certamente garantiria o isolamento térmico.

A figura 3.45 mostra um minhocário feito com madeira Pinus e tubos de metalon. Nele foi realizada inserção de água e coleta do vermiwash.



Figura 3.45 – Minhocario feito com tábuas de madeira Pinus e perfis de metalon.

3.7.3 Sistema de Irrigação

Para receber o módulo de irrigação foi confeccionada uma caixa de MDF para fixação na parede, figura 3.47. Nela estão as válvulas tipo esfera para controle de entrada e saída dos dois tanques, a caixa com os microcontroladores ESP32 e MSP430F5529 e a placa Ambar.



Figura 3.46 – Cliente Tanques Principais

Como nos outros módulos, o MSI é composto de uma placa Ambar e um ESP32, porém ele também recebe o microcontrolador MSP430F5529, onde o sistema de irrigação foi programado no princípio.

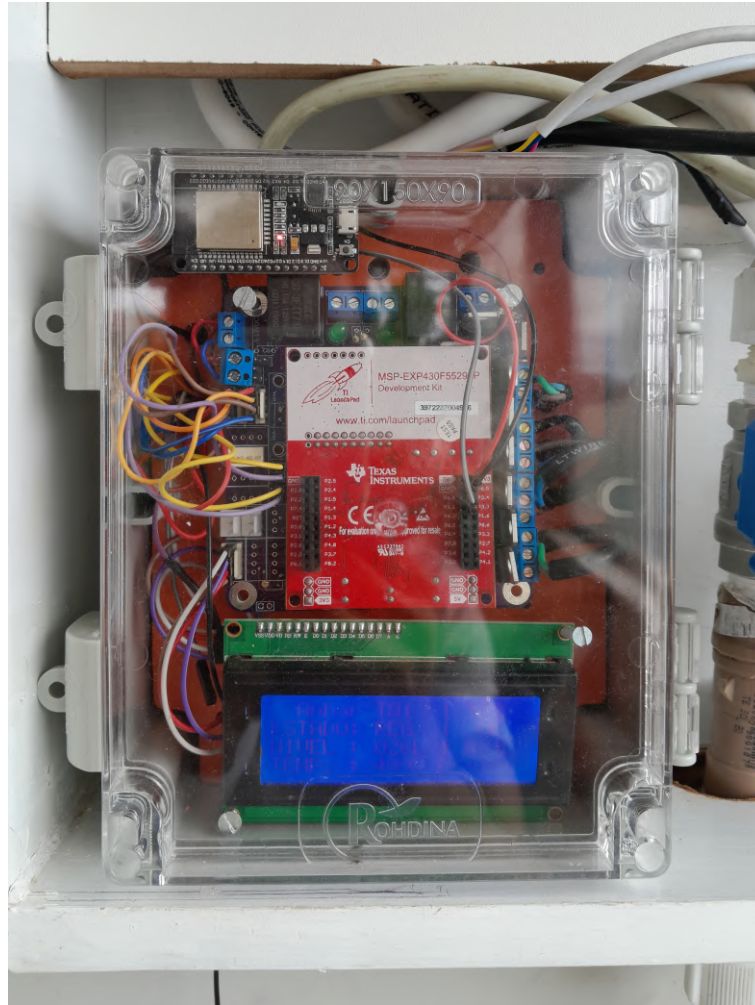


Figura 3.47 – Controlador do MSI

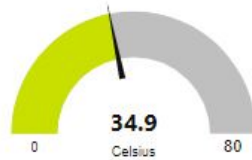
O ESP32 e o MSP430F5529 se comunicam pela UART.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

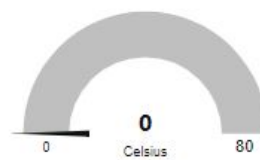
A utilização do sistema gestor de matéria orgânica na compostagem confinada permitiu obter informações importantes para a compreensão do processo. Durante o experimento a dashboard do Node-RED pode ser visualizada via PC e smartphone, o que trouxe conveniência ao usuário. A figura 4.48 mostra o painel dos biorreatores, com a compostagem sendo feita no biorreator A. O mostrador indica que a temperatura era de 34.9 graus Celcius com 278 horas de compostagem, o que é distante da faixa de temperatura típica, que também é mostrada no mesmo gráfico, com a linha em azul claro representando as máximas temperaturas esperadas e a linha azul escuro as mínimas temperaturas esperadas na compostagem. Quando é iniciada uma nova compostagem no biorreator, o usuário informa ao sistema o início do novo ciclo, e as curvas típicas de temperatura acompanharão a construção dos gráficos. Essa opção está no painel da compostagem, "REINICIAR CICLO".

COMPOSTAGEM AEROBICA

Bioreator A



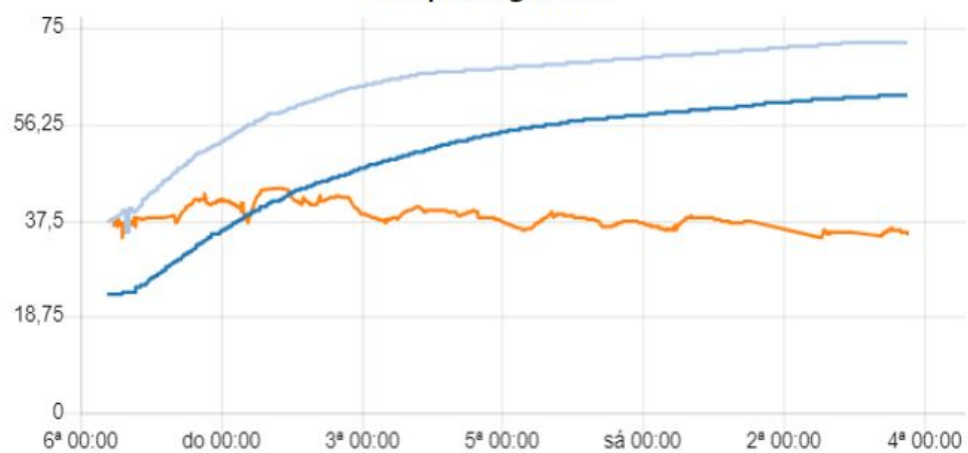
Bioreator B



Horas de Compostagem A

278 Horas

Compostagem A



LIGAR BOMBA DE AR

DESLIGAR BOMBA DE AR

REINICIAR CICLO A

Figura 4.48 – Curva cinza: Temperaturas máximas típicas. Curva azul: Temperaturas mínimas típicas. Curva laranja: Temperaturas do biorreator A ao longo do tempo

Nesse experimento foi feita uma compostagem onde não se utilizou grama e folhas secas, apenas os restos de cozinha e a serragem em dois tamanhos, figura 4.54, serragem grossa, figura 4.49, e serragem fina, figura 4.50, adquiridas em uma madeireira.



Figura 4.49 – Serragem grossa.

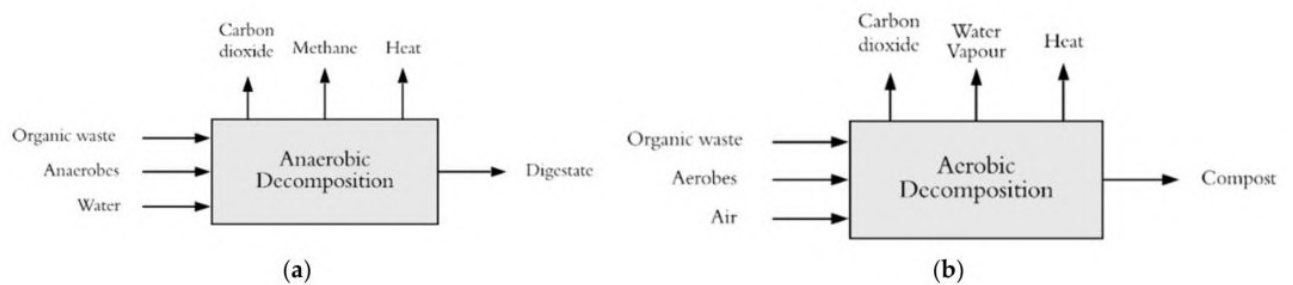


Figura 4.50 – Serragem fina.

Seguindo a mesma proporção, 3 partes de material rico em carbono para 1 parte de material rico em nitrogênio.

A estrutura do composto, com boa porosidade, permite a aeração do material, que fornece oxigênio aos microorganismos aeróbicos, no qual o metabolismo é responsável pelo aquecimento do material. Esse processo é ilustrado na figura 4.51, que mostra o diagrama de blocos básico da compostagem aeróbica e da compostagem anaeróbica.

Figura 4.51 – (a): Decomposição aeróbica, (b): Decomposição anaeróbica



(AZIS et al., 2022) .

Como mostra a imagem 4.52, a serragem é um ótimo elemento estruturante para a compostagem, devido à resistência à decomposição da lignina e outras moléculas. Porém, com pouco carbono disponível para ser consumido pelos microorganismos, as temperaturas não passaram de 45°C para esse experimento.



Figura 4.52 – 4 dias de compostagem utilizando apenas serragem como carbono.

No experimento, após duas semanas o material começou a produzir odores já considerados desagradáveis, devido principalmente à falta de carbono disponível. Foram adicionados mais 20 Litros de papel Kraft e papelão picado, o que provoca o aumento da temperatura, visto na figura 4.53. Isso demonstra que a indisponibilidade do carbono da serragem faz com que o material esteja na prática com "excesso" de nitrogênio, estimulando a decomposição anaeróbica e consequente produção de metano, como visto no diagrama de blocos básico da compostagem anaeróbica.

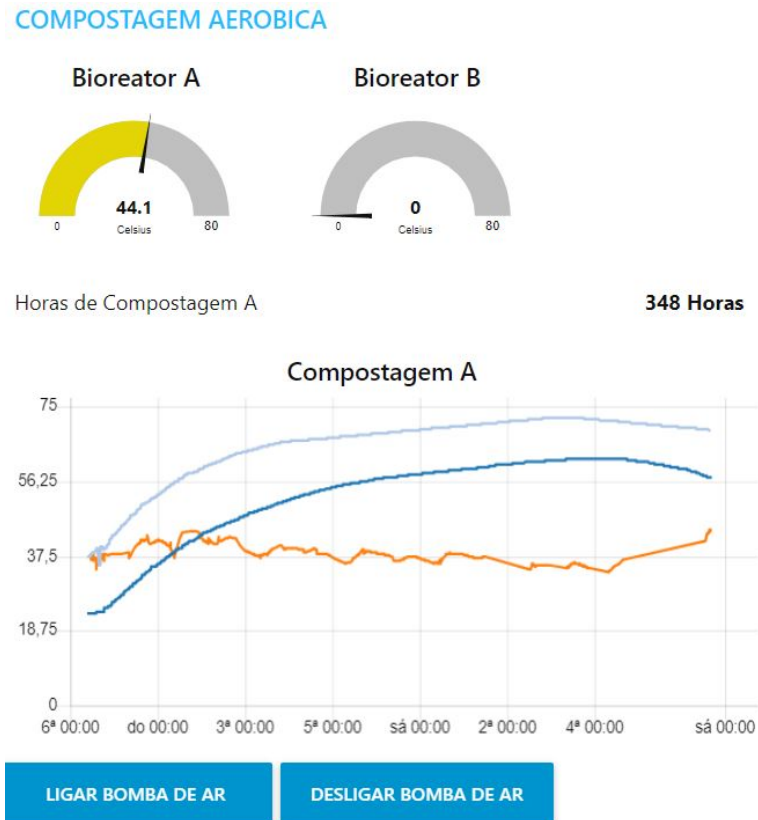


Figura 4.53 – Incremento da decomposição aeróbica ao adicionar papel e papelão no biorreator.

Para analisar melhor a duração do processo de compostagem, os restos de cozinha foram congelados até somar uma quantidade que utilizasse toda a capacidade dos biorreatores, figura 4.54. Mas no funcionamento cotidiano a colocação de matéria orgânica da cozinha e do carbono pode ser feita diariamente até chegar na capacidade do biorreator, inserindo durante um período não maior que 15 dias, para respeitar o tempo de segurança da compostagem.



Figura 4.54 – Restos de cozinha.

Após 14 dias o material demonstra mais uniformidade e redução de volume, como visto na figura 4.55, mas a falta de materiais como a grama e podas secas impediu o aumento de temperatura acima de 45 ° C, bem como fez necessário inserir mais serragem para mitigar o aumento da formação de metano.



Figura 4.55 – 14 dias de compostagem apenas com serragem e restos de cozinha.

Já a temperatura da compostagem no biorreator B, utilizando como fonte de carbono apenas a grama seca alcançou 63° Celcius, como mostra o gauge do Node-RED, figura 4.56. É possível notar a influência da grama seca no aumento da temperatura, por ser de mais rápida decomposição que a madeira, fornece ao processo aeróbico o necessário carbono.

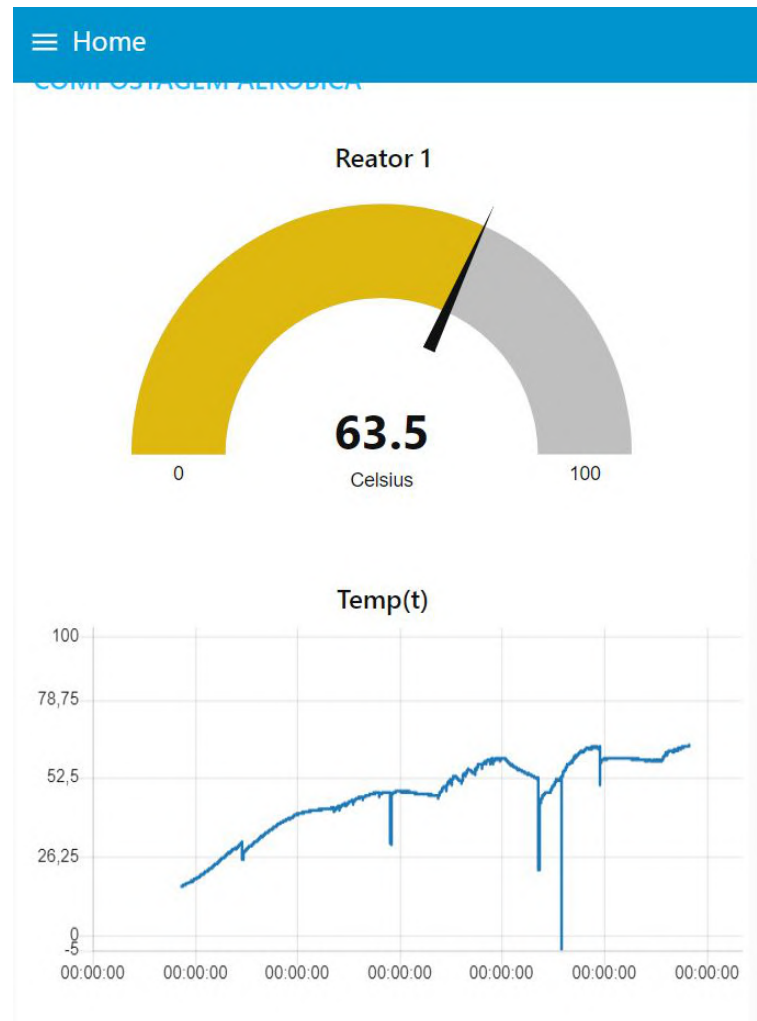


Figura 4.56 – Biorreator B a 63º Celcius após cinco dias do início da compostagem.

A figura 4.56 mostra o gráfico de temperatura em função do tempo para uma compostagem realizada no Biorreator B. Como esse biorreator é estático, o reviramento do material era feito retirando a sua tampa e misturando o material com uma pá, o que fazia o calor se dissipar pelo ambiente externo, isso causava quedas de temperatura, como pode ser percebido no gráfico.

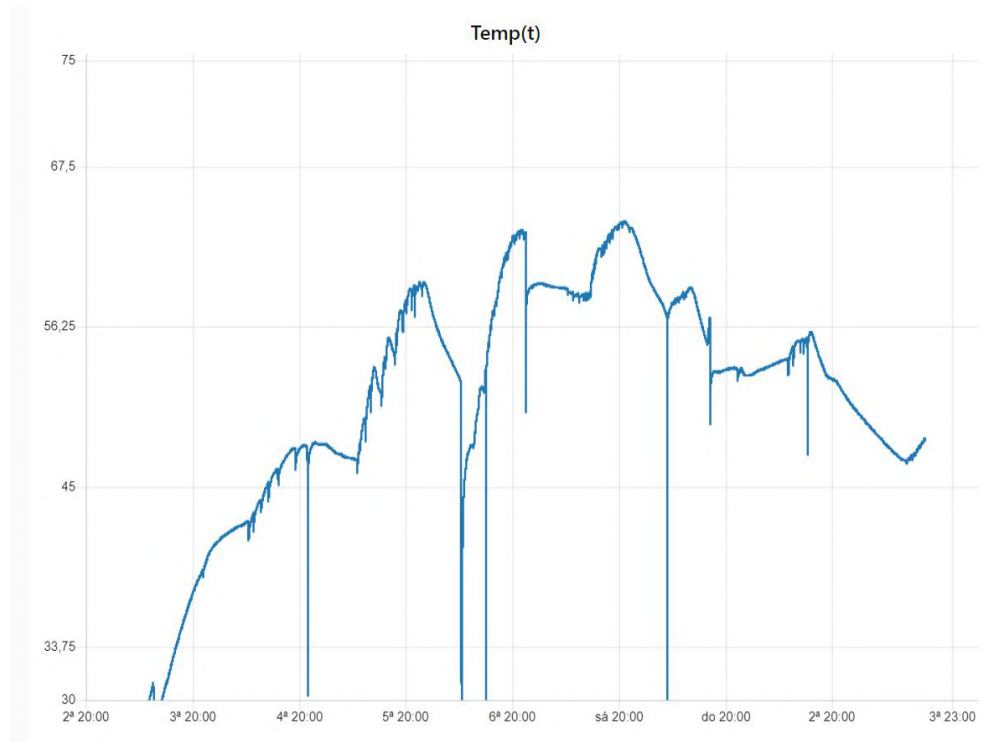


Figura 4.57 – Biorreator B. Compostagem com alterações de temperatura por causa dos .

Na figura 4.58 é apontado pela seta o incremento de temperatura dentro do biorreator B ao se injetar AR por meio do bombeamento manual. A velocidade da resposta de temperatura indica uma alta atividade biológica no composto.

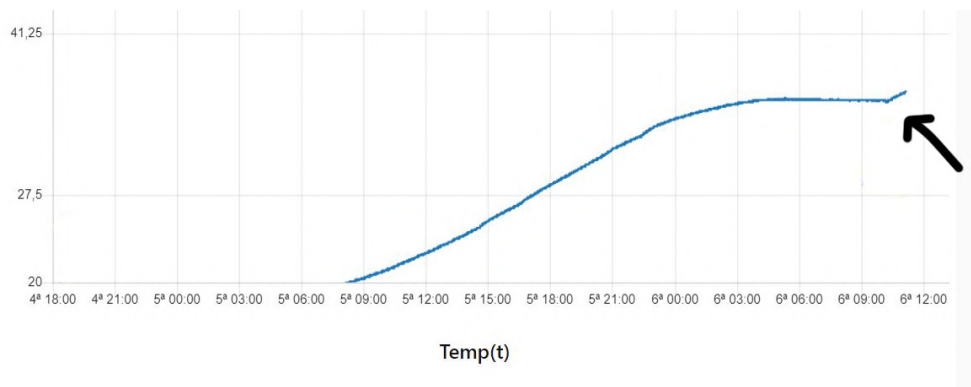


Figura 4.58 – Biorreator B. Compostagem com alterações de temperatura por causa dos .

Como visto, há tempo mínimo para o tratamento de patógenos e inviabilização de sementes, 65° Celcius por 5 dias ou 60° Celcius por 7 dias, mas o tempo máximo em que o material permanece nos biorreatores é definido pela necessidade de alimentação das minhocas e pela taxa de entrada dos insumos. Ao retirar o material do biorreator ainda quente para colocar no minhocário, deve-se tomar cuidado para que ele seja distribuído o suficiente para esfriar. Na vermicompostagem, entre 3 a 7 dias as minhocas se espalham no material inserido, depois de o mesmo passar pelo biorreator, como é visto na imagem 4.59.



Figura 4.59 – Minhocas no material vindo do biorreator.

A construção de gráficos a partir dos sensores de clima instalados nos locais de plantio, forneceu ao usuário informações para decidir os locais mais apropriados para determinada cultura. Em um ambiente onde a incidência solar é maior na parte da tarde, com temperaturas chegando facilmente aos 32° C, com picos de 37° C no final da tarde, como pode ser visto na figura 4.60, o plantio de berinjela e da abobrinha é mais indicado do que o do brócolis e do morango, isso aumentará as chances de sucesso nos plantios urbanos. As medições foram feitas entre os dias 18 e 25 de novembro de 2023, no ponto de coordenadas -15.882300, -48.011896.

Varanda 2

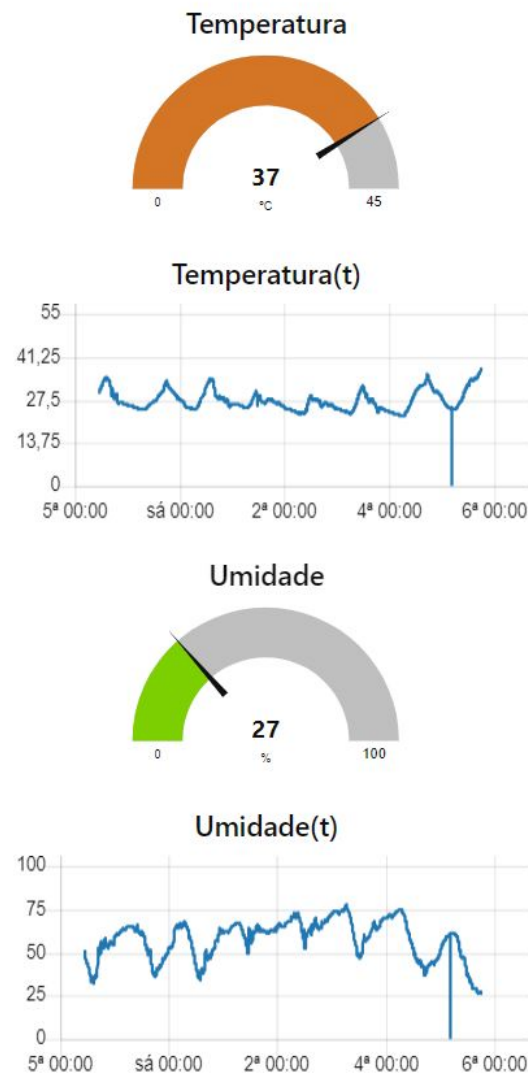


Figura 4.60 – Temperatura e Umidade da varanda 2. Medições feitas entre os dias 18 e 25 de novembro de 2023, no ponto de coordenadas -15.882300, -48.011896

Os gráficos de clima fornecem informação para dispor os próprios módulos do sistema. A parte da edificação onde há altas temperaturas devido à incidência solar é um ótimo lugar para situar os biorreatores de compostagem, porque a perda de calor para o ambiente é menor. Na figura 4.61 nota-se a temperatura da "Cobertura", local onde foram colocados os biorreatores. As medições foram feitas entre os dias 14 e 18 de novembro de 2023, no ponto de coordenadas -15.882300, -48.011896.

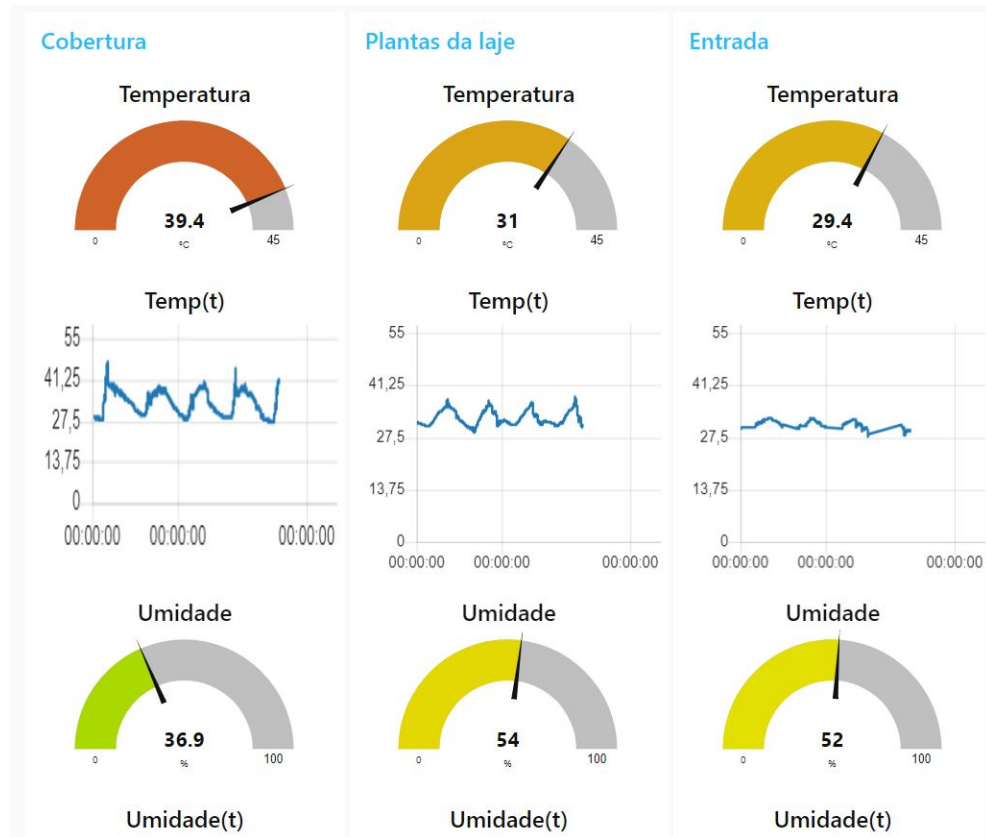


Figura 4.61 – Temperatura e Umidade de três locais da residência. Medições feitas entre os dias 14 e 18 de novembro de 2023, no ponto de coordenadas -15.882300, -48.011896.

Já a irrigação por gotejamento controlada pelo módulo de irrigação permitiu um ganho de tempo para o usuário e também melhorou a distribuição de água e nutrientes ao longo do dia.

Na saída de água, figura 4.62, foi colocado um filtro, para preservar as saídas de gotejamento da rusticidade de fertilizantes como o vermiwash.

Figura 4.62 – Filtro Plástico Tela 1" Tavlit - Netafim



Adquirido em: <https://www.instaagro.com/>

O tamanho dos vasos irrigados e das plantas é variado, recebendo uma quantidade de água de forma proporcional. Foram utilizados gotejadores tipo flecha, figura 4.63, e do tipo arco, figura 4.64.



Figura 4.63 – Irrigação tipo flecha no vaso de goiaba Caipira



Figura 4.64 – Irrigação tipo arco no abacateiro Duke 7.

A figura 4.65 mostra a área de irrigação localizada na cobertura.



Figura 4.65 – Plantio de frutíferas.

Desde jovens as frutíferas foram adubadas com o húmus de minhoca produzido a partir dos restos de cozinha e, em menor quantidade, com outros fertilizantes: Pó de Basalto, Calcário de Conchas e cinzas de queima. Nos últimos 7 meses que antecederam a conclusão

desse trabalho, na irrigação diária das plantas foi adicionado o vermiwash na proporção de 1:10 de água, mesmo antes da automação da coleta de vermiwash. O desenvolvimento e frutificação das plantas, mostrado nas figuras 4.66, 4.67, 4.68 , 4.69 e 4.70 mostra que a compostagem doméstica pode ser um melhor destino para a matéria orgânica de restos de cozinha.



Figura 4.66 – Limão Taiti (*Citrus latifolia*) plantado em vaso de 39 Litros.



Figura 4.67 – Maçã Julieta (*Malus domestica*) plantada em vaso de 48 Litros.



Figura 4.68 – Limão Cravo (*Citrus limonia*) plantado em vaso de 48 Litros.



Figura 4.69 – Pitanga(*Eugenia uniflora L.*) plantada em vaso de 25 Litros.



Figura 4.70 – Maracujá (*Passiflora edulis Sims.*) plantado em vaso de 19 Litros.

A tabela abaixo faz uma síntese do experimento:

Tabela 4.1 – Síntese do experimento.

Objetivos Específicos	Protótipos	MQTT e Node-RED	Ganho de tempo
Compostagem	Mesmo com construção mais trabalhosa, o biorreator rotativo se mostrou muito mais prático de utilizar.	Permitiu produzir gráficos e visualização remota do processo, o que se traduz em praticidade.	Até 85% de ganho de tempo para o usuário.
Nutrientes	O bombeamento de nutrientes ainda é acionado de forma manual. Por atrasos em outras etapas do experimento.	Nos testes as ações sincronizadas ficaram dentro da janela de tempo adequada.	Até 90% de ganho de tempo para o usuário.
Irrigação	O equipamento de irrigação funcionou como previsto.	Pela distância do módulo, as falhas de conexão com o broker eram frequentes, prejudicando a visualização remota.	Até 95% de ganho de tempo para o usuário.

5 CONCLUSÃO

Qual a distância? Repetidor!

O protocolo MQTT funcionou como previsto, mas as falhas de conexão para o sistema de irrigação eram constantes, pela distância do módulo ao roteador e em alguns momentos devido a problemas com a internet do local. Seguindo os princípios da segurança da informação, a operação desse sistema dentro de uma rede local, com o Node-RED e o broker MQTT não dependendo de conexão com a internet, melhora o quesito de disponibilidade do sistema, o que ~~será~~ ^{deve ser} feito na continuidade desse trabalho..

O Node-RED dispõe de uma programação visual, o que acelerou bastante a implementação dos gráficos do sistema. Com as tecnologias utilizadas foi possível unir o conhecimento retirado da literatura e a prática da compostagem, de uma forma intuitiva para o usuário. A colocação da faixa ideal de temperaturas no mesmo gráfico da compostagem em curso ajudou bastante no gerenciamento e compreensão do processo. É possível observar as tendências e comparar com a faixa ideal, tornando mais simples julgar se é preciso melhorar a proporção C/N, inserir água, revirar o material.

Na continuidade desse trabalho serão implementadas mais funcionalidades como notificações informativas e estatísticas sobre a irrigação, mostrar ao usuário uma marcação de tempo aonde o biorreator está disponível para receber os insumos e a partir de qual momento o composto deve ser direcionado à vermicompostagem.

Uma nova versão do controlador da irrigação terá apenas um microcontrolador, de forma que a capacidade de processamento e o custo fique melhor dimensionado às necessidades reais desse processo. Possivelmente a escolha será pelo ESP32, por já ter comunicação Wi-Fi e Bluetooth.

Restos de cozinha existem em praticamente todas as residências, mas a falta de podas de grama, serragem ou outra fonte de carbono, é um fator limitante para a compostagem doméstica, isso foi percebido durante o experimento. Uma possível solução para quem não dispõe de uma fonte de carbono na própria residência seria a disponibilização desse material em mercados e atacadões, em uma forma compactada ou apenas fragmentado.

Um ganho importante de tempo foi percebido com a automação da irrigação e da adubação em um pomar doméstico

Alguns riscos precisam ser levados em conta em iniciativas de agricultura e compostagem urbana. A proliferação de vetores de doenças como caracóis, ratos, baratas, aedes aegypti e surtos de intoxicação alimentar podem acontecer. Por isso a solução proposta aqui demandaria também um esforço de educação em boas práticas sanitárias na agricultura e manipulação de alimentos.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo, dez. 2022. P. 64. Citado na p. 18.
- AYILARA, M. S.; OLANREWaju, O. S.; BABALOLA, O. O.; ODEYEMI, O. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. **Sustainability**, v. 12, n. 11, 2020. Citado na p. 22.
- AZIS, F. A.; RIJAL, M.; SUHAIMI, H.; ABAS, P. E. Patent Landscape of Composting Technology: A Review. **Inventions**, v. 7, n. 2, 2022. Citado nas pp. 24, 63.
- BREGINSKI, H. D. B. "Qualidade do ar : estudo sobre a presença de formaldeído", 2015. Citado na p. 56.
- CAYUELA, M.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.; ROIG, A. Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. **Process Biochemistry**, v. 41, n. 3, p. 616–623, 2006. Citado nas pp. 18, 19.
- CLDF. "Lei nº 6.671, de 21 de setembro de 2020. Dispõe sobre diretrizes para as políticas de apoio à agricultura urbana e periurbana no Distrito Federal". **Diário Oficial [do] Distrito Federal**, v. 14, n. 3, p. 342–351, 2020. Citado na p. 25.
- ESPINOSA, M. F.; SANCHÓ, A. N.; MENDOZA, L. M.; MOTA, C. R.; VERBYLA, M. E. Systematic review and meta-analysis of time-temperature pathogen inactivation. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 230, p. 113595, 2020. Citado nas pp. 22, 23.
- GONZAGA, W. M.; COELHO, R. d. S.; CAETANO, M. S. "Vermicompostagem como Fonte de Nutrientes Nitrogênio, Fósforo e Potássio ao Solo". **Blucher Engineering Proceedings**, v. 1, n. 3, 2015. Citado na p. 24.
- GUDETA, K.; JULKA, J.; KUMAR, A.; BHAGAT, A.; KUMARI, A. Vermiwash: An agent of disease and pest control in soil, a review. **Heliyon**, v. 7, n. 3, e06434, 2021. Citado na p. 24.
- HUBBE, M.; NAZHAD, M.; SÁNCHEZ, C. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. **BioResources**, v. 5, p. 2808–2854, nov. 2010. Citado na p. 39.
- KULIKOWSKA, D.; GUSIATIN, Z. M. Sewage sludge composting in a two-stage system: Carbon and nitrogen transformations and potential ecological risk assessment. **Waste Management**, v. 38, p. 312–320, 2015. Citado na p. 24.

- LIGHT, R. A. Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol. **The Journal of Open Source Software**, v. 2, n. 13, mai. 2007. Citado na p. 29.
- LIM, L. Y.; BONG, C. P. C.; LEE, C. T.; KLEMESŠ, J. J.; SARMIDI, M. R.; LIM, J. S. Review on the current composting practices and the potential of improvement using two-stage composting. **Chemical Engineering Transactions**, v. 61, p. 1051–1056, 2017. Cited by: 27. Citado na p. 19.
- MACHADO, H.; NAGEM, T. J.; PETERS, V. M.; FONSECA, C. S.; OLIVEIRA, T. T. de. Flavonóides e seu potencial terapêutico. **Boletim do Centro de Biologia da Reprodução (Descontinuada)**, v. 27, n. 1/2, 2008. Citado na p. 18.
- MADUSHANKI, A. A. R.; HALGAMUGE, M. N.; WIRASAGODA, W. A. H. S.; SYED, A. Adoption of the Internet of Things (IoT) in Agriculture and Smart Farming towards Urban Greening: A Review. ” **International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)**, v. 10, 2019. Citado na p. 27.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE QUALIDADE AMBIENTAL. **Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana Fase 2: Resíduos Sólidos Urbanos**. BRASÍLIA, 2019. P. 18–19. Citado nas pp. 17, 18.
- MOREIRA, P. R. S.; ROCHA, N. P.; MILAGRES, L. C.; NOVAES, J. F. d. Análise crítica da qualidade da dieta da população brasileira segundo o Índice de Alimentação Saudável: uma revisão sistemática. **Ciência Saúde Coletiva**, ABRASCO - Associação Brasileira de Saúde Coletiva, v. 20, n. 12, dez. 2015. Citado na p. 18.
- MOUGEOT, L. **Growing Better Cities: Urban Agriculture for Sustainable Development**. New York, NY, USA: International Development Research Centre, 2006. 97 p. Citado na p. 27.
- OPENJS Foundation Contributors. Disponível em: <<https://nodered.org>>. Citado na p. 29.
- SOUZA, M. R. d. M.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, R. G. F.; BARBOSA, I. d. P.; BARACAT-PEREIRA, M. C. Protein yield and mineral contents in *Pereskia aculeata* under high-density planting system. eng ; por. **Pesquisa agropecuária tropical**, Escola de Agronomia/UFG, v. 50, e62365, 2020. Citado na p. 16.
- VEGA DE LILLE, M. **Modeling, Simulation and Control of Biotechnological Processes in Decentralized Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater**. Jan. 2015. Tese (Doutorado). Citado na p. 20.

Apêndices

Apêndice A – Códigos de programação

Os códigos de programação dos ESP32 e do MSP430F5529 estão acessíveis pelo repositório:

<https://github.com/woakz/AMBAR>

A.1 Node-RED

Nó de confecção da faixa de valores típicos de temperatura:

```
var msgMinA = ;
var msgMaxA = ;
var msgCounterA = ;
msgMinA.topic = 'MinA';
msgMaxA.topic = 'MaxA';
msgCounterA.topic = 'CounterA';
// Valores minimos esperados durante o ciclo de compostagem
var aeroTempMin = [ 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.1, 23.1, 23.1,
23.1, 23.1, 23.1, 23.2, 23.2, 23.2, 23.2, 23.2, 23.3, 23.3,
23.3, 23.3, 24.4, 24.4, 25.0, 25.4, 25.8, 26.3, 26.7, 27.1,
27.5, 27.9, 28.4, 28.8, 29.2, 29.6, 30.0, 30.5, 30.9, 31.3,
31.7, 32.1, 32.6, 33.0, 33.4, 33.8, 34.2, 34.7, 35.0, 35.3,
35.7, 36.0, 36.3, 36.7, 37.0, 37.3, 37.6, 38.0, 38.3, 38.6,
39.0, 39.3, 39.6, 40.0, 40.3, 40.6, 40.9, 41.3, 41.6, 41.9,
42.3, 42.6, 43.0, 43.2, 43.4, 43.6, 43.8, 44.0, 44.2, 44.5,
44.7, 44.9, 45.1, 45.3, 45.5, 45.7, 45.9, 46.1, 46.3, 46.5,
46.7, 47.0, 47.2, 47.4, 47.6, 47.8, 48.0, 48.2, 48.3, 48.5,
48.7, 48.8, 49.0, 49.2, 49.3, 49.5, 49.7, 49.8, 50.0, 50.2,
50.3, 50.5, 50.7, 50.8, 51.0, 51.2, 51.3, 51.5, 51.7, 51.8,
52.0, 52.1, 52.3, 52.4, 52.5, 52.6, 52.8, 52.9, 53.0, 53.1,
53.3, 53.4, 53.5, 53.6, 53.8, 53.9, 54.0, 54.1, 54.3, 54.4,
54.5, 54.6, 54.8, 54.9, 55.0, 55.1, 55.2, 55.2, 55.3, 55.4,
55.5, 55.6, 55.7, 55.8, 55.8, 55.9, 56.0, 56.1, 56.2, 56.3,
56.3, 56.4, 56.5, 56.6, 56.7, 56.8, 56.9, 57.0, 57.0, 57.1,
57.1, 57.2, 57.2, 57.3, 57.3, 57.4, 57.4, 57.5, 57.5, 57.6,
```

57.6, 57.7, 57.7, 57.8, 57.8, 57.9, 57.9, 58.0, 58.0, 58.1,
58.1, 58.2, 58.2, 58.3, 58.3, 58.4, 58.4, 58.5, 58.5, 58.6,
58.6, 58.7, 58.7, 58.8, 58.8, 58.9, 58.9, 59.0, 59.0, 59.1,
59.1, 59.1, 59.2, 59.2, 59.3, 59.3, 59.4, 59.4, 59.5, 59.5,
59.5, 59.6, 59.6, 59.7, 59.7, 59.8, 59.8, 59.9, 59.9, 60.2,
60.2, 60.3, 60.3, 60.4, 60.4, 60.5, 60.5, 60.5, 60.6, 60.6,
60.7, 60.7, 60.7, 60.8, 60.8, 60.9, 60.9, 61.0, 61.0, 61.1,
61.1, 61.1, 61.2, 61.2, 61.3, 61.3, 61.3, 61.4, 61.4, 61.4,
61.4, 61.5, 61.5, 61.5, 61.5, 61.6, 61.6, 61.6, 61.6, 61.7,
61.7, 61.7, 61.7, 61.7, 61.8, 61.8, 61.8, 61.8, 61.8, 61.9,
61.9, 61.9, 61.9, 61.9, 61.9, 62.0, 62.0, 62.0, 62.0, 62.0,
62.0, 61.9, 61.9, 61.9, 61.9, 61.8, 61.8, 61.8, 61.8, 61.7,
61.7, 61.7, 61.6, 61.6, 61.6, 61.5, 61.5, 61.3, 61.3, 61.2,
61.2, 61.1, 61.1, 61.0, 60.9, 60.8, 60.7, 60.6, 60.5, 60.4,
60.3, 60.3, 60.2, 60.1, 60.0, 59.9, 59.8, 59.8, 59.7, 59.6,
59.5, 59.4, 59.3, 59.3, 59.2, 59.1, 59.0, 58.8, 58.7, 58.5,
58.3, 58.2, 58.0, 57.8, 57.7, 57.5, 57.3, 57.2, 57.0, 56.8,
56.7, 56.5, 56.3, 56.2, 56.0, 55.8, 55.7, 55.5, 55.3, 55.2,
55.0, 54.8, 54.7, 54.5, 54.3, 54.2, 54.0, 53.8, 53.7, 53.5,
53.3, 53.2, 53.0, 52.8, 52.7, 52.5, 52.3, 52.2, 52.0, 51.8,
51.7, 51.5, 51.3, 51.2, 51.0, 50.8, 50.5, 50.3, 50.0, 49.8,
49.5, 49.3, 49.0, 48.8, 48.5, 48.3, 48.0, 47.8, 47.5, 47.3,
47.0, 46.8, 46.5, 46.3, 46.0, 45.8, 45.5, 45.3, 45.0, 44.8,
44.6, 44.4, 44.2, 44.0, 43.7, 43.5, 43.3, 43.1, 42.9, 42.7,
42.5, 42.3, 42.1, 41.9, 41.7, 41.5, 41.2, 41.0, 40.8, 40.6,
40.4, 40.2, 40.0, 39.8, 39.7, 39.5, 39.3, 39.2, 39.0, 38.8,
38.7, 38.5, 38.3, 38.2, 38.0, 37.8, 37.7, 37.5, 37.3, 37.2,
37.0, 36.8, 36.7, 36.5, 36.3, 36.2, 36.0, 35.8, 35.7, 35.5,
35.3, 35.2, 35.0, 34.8, 34.7, 34.5, 34.3, 34.2, 34.0, 33.8,
33.7, 33.5, 33.3, 33.2, 33.0, 32.8, 32.7, 32.5, 32.3, 32.2,
32.0, 31.9, 31.8, 31.6, 31.5, 31.4, 31.3, 31.1, 31.0, 30.9,
30.8, 30.6, 30.5, 30.4, 30.3, 30.1, 30.0, 29.9, 29.8, 29.6,
29.5, 29.4, 29.3, 29.1, 29.0, 29.0, 28.9, 28.9, 28.8, 28.8,
28.7, 28.7, 28.7, 28.6, 28.6, 28.5, 28.5, 28.5, 28.4, 28.4,
28.3, 28.3, 28.2, 28.2, 28.2, 28.1, 28.1, 28.0, 28.0, 28.0,
27.9, 27.9, 27.8, 27.8, 27.8, 27.7, 27.7, 27.6, 27.6, 27.5,
27.5, 27.5, 27.4, 27.4, 27.3, 27.3, 27.3, 27.2, 27.2, 27.1,
27.1, 27.0, 27.0, 27.0, 26.9, 26.9, 26.8, 26.8, 26.8, 26.7,
26.7, 26.6, 26.6, 26.5, 26.5, 26.5, 26.4, 26.4, 26.3, 26.3,

26.3,26.2, 26.2, 26.1, 26.1, 26.0, 26.0, 26.0, 25.9, 25.9,
 25.8,25.8, 25.8, 25.7, 25.7, 25.6, 25.6, 25.5, 25.5, 25.5,
 25.4,25.4, 25.3, 25.3, 25.3, 25.2, 25.2, 25.1, 25.1, 25.0,
 25.0,25.0, 24.9, 24.9, 24.8, 24.8, 24.8, 24.7, 24.7, 24.6,
 24.6,24.5, 24.5, 24.5, 24.4, 24.4, 24.3, 24.3, 24.3, 24.2,
 24.2,24.1, 24.1, 24.0, 24.0, 24.0, 23.9, 23.9, 23.8, 23.8,
 23.8,23.7, 23.7, 23.6, 23.6, 23.5, 23.5, 23.5, 23.4, 23.4,
 23.4,23.3, 23.3, 23.3, 23.2, 23.2, 23.2, 23.2, 23.1, 23.1,
 23.1,23.1, 23.1, 23.1, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0,
 23.0,23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0, 23.0,
 23.0,23.0, 23.0];

// Valores maximos esperados durante o ciclo de compostagem
 var aeroTempMax = [
 33.0, 33.3, 33.6, 33.9, 34.2, 34.5, 34.9, 35.3, 35.7, 33.4,
 36.1, 36.5, 36.9, 37.3, 37.7, 38.1, 38.5, 38.9, 39.3, 35.3,
 39.7, 40.0, 40.5,
 41.0, 41.5, 42.0, 42.5, 43.0, 43.5, 44.0, 44.5, 45.0, 45.5,
 46.0, 46.5, 47.0, 47.5, 48.0, 48.5, 49.0, 49.5, 50.0, 50.3,
 50.7, 51.0, 51.3, 51.7, 52.0, 52.3, 52.7, 53.0, 53.3, 53.7,
 54.0, 54.3, 54.7, 55.0, 55.3, 55.7, 56.0, 56.3, 56.7, 57.0,
 57.3, 57.7, 58.0, 58.2, 58.4, 58.6, 58.8, 59.0, 59.2, 59.5,
 59.7, 59.9, 60.1, 60.3, 60.5, 60.7, 60.9, 61.1, 61.3, 61.5,
 61.7, 62.0, 62.2, 62.4, 62.6, 62.8, 63.0, 63.1, 63.3, 63.4,
 63.5, 63.6, 63.8, 63.9, 64.0, 64.1, 64.3, 64.4, 64.5, 64.6,
 64.8, 64.9, 65.0, 65.1, 65.3, 65.4, 65.5, 65.6, 65.8, 65.9,
 66.0, 66.0, 66.1, 66.1, 66.2, 66.2, 66.3, 66.3, 66.3, 66.4,
 66.4, 66.5, 66.5, 66.5, 66.6, 66.6, 66.7, 66.7, 66.8, 66.8,
 66.8, 66.9, 66.9, 67.0, 67.0, 67.0, 67.1, 67.1, 67.2, 67.2,
 67.3, 67.3, 67.3, 67.4, 67.4, 67.5, 67.5, 67.5, 67.6, 67.6,
 67.7, 67.7, 67.8, 67.8, 67.8, 67.9, 67.9, 68.0, 68.0, 68.0,
 68.1, 68.1, 68.2, 68.2, 68.3, 68.3, 68.3, 68.4, 68.4, 68.5,
 68.5, 68.5, 68.6, 68.6, 68.7, 68.7, 68.8, 68.8, 68.8, 68.9,
 68.9, 69.0, 69.0, 69.0, 69.1, 69.1, 69.2, 69.2, 69.3, 69.3,
 69.3, 69.4, 69.4, 69.5, 69.5, 69.5, 69.6, 69.6, 69.7, 69.7,
 69.8, 69.8, 69.8, 69.9, 69.9, 70.0, 70.0, 70.0, 70.1, 70.1,
 70.2, 70.2, 70.3, 70.3, 70.3, 70.4, 70.4, 70.5, 70.5, 70.5,
 70.6, 70.6, 70.7, 70.7, 70.8, 70.8, 70.8, 70.9, 70.9, 71.0,
 71.0, 71.0, 71.1, 71.1, 71.2, 71.2, 71.3, 71.3, 71.3, 71.4,

71.4, 71.5, 71.5, 71.5, 71.6, 71.6, 71.7, 71.7, 71.8, 71.8,
71.8, 71.9, 71.9, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0,
72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0,
72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 72.0, 71.9, 71.9, 71.8, 71.8,
71.8, 71.8, 71.7, 71.7, 71.6, 71.6, 71.5, 71.5, 71.5, 71.4,
71.4, 71.3, 71.3, 71.3, 71.2, 71.2, 71.1, 71.1, 71.0, 71.0,
71.0, 70.9, 70.9, 70.8, 70.8, 70.8, 70.7, 70.7, 70.6, 70.6,
70.5, 70.5, 70.5, 70.4, 70.4, 70.3, 70.3, 70.3, 70.2, 70.2,
70.1, 70.1, 70.0, 70.0, 70.0, 69.9, 69.9, 69.8, 69.8, 69.8,
69.7, 69.7, 69.6, 69.6, 69.5, 69.5, 69.5, 69.4, 69.4, 69.3,
69.3, 69.3, 69.2, 69.2, 69.1, 69.1, 69.0, 69.0, 69.0, 68.9,
68.9, 68.8, 68.8, 68.8, 68.7, 68.7, 68.6, 68.6, 68.5, 68.5,
68.5, 68.4, 68.4, 68.3, 68.3, 68.3, 68.2, 68.2, 68.1, 68.1,
68.0, 68.0, 68.0, 67.9, 67.9, 67.8, 67.8, 67.8, 67.7, 67.7,
67.6, 67.6, 67.5, 67.5, 67.5, 67.4, 67.4, 67.3, 67.3, 67.3,
67.2, 67.2, 67.1, 67.1, 67.0, 67.0, 67.0, 66.9, 66.9, 66.8,
66.8, 66.8, 66.7, 66.7, 66.6, 66.6, 66.5, 66.5, 66.5, 66.4,
66.4, 66.3, 66.3, 66.3, 66.2, 66.2, 66.1, 66.1, 66.0, 66.0,
66.0, 65.9, 65.9, 65.8, 65.8, 65.8, 65.7, 65.7, 65.6, 65.6,
65.5, 65.5, 65.5, 65.4, 65.4, 65.3, 65.3, 65.3, 65.2, 65.2,
65.1, 65.1, 65.0, 65.0, 64.9, 64.8, 64.7, 64.7, 64.6, 64.5,
64.4, 64.3, 64.2, 64.2, 64.1, 64.0, 63.9, 63.8, 63.7, 63.7,
63.6, 63.5, 63.4, 63.3, 63.2, 63.2, 63.1, 63.0, 62.9, 62.8,
62.7, 62.7, 62.6, 62.5, 62.4, 62.3, 62.2, 62.2, 62.1, 62.0,
61.9, 61.8, 61.7, 61.7, 61.6, 61.5, 61.4, 61.3, 61.2, 61.2,
61.1, 61.0, 60.8, 60.5, 60.3, 60.0, 59.8, 59.5, 59.3, 59.0,
58.8, 58.5, 58.3, 58.0, 57.8, 57.5, 57.3, 57.0, 56.8, 56.5,
56.3, 56.0, 55.8, 55.5, 55.3, 55.0, 54.8, 54.6, 54.4, 54.2,
54.0, 53.7, 53.5, 53.3, 53.1, 52.9, 52.7, 52.5, 52.3, 52.1,
51.9, 51.7, 51.5, 51.2, 51.0, 50.8, 50.6, 50.4, 50.2, 50.0,
49.8, 49.5, 49.3, 49.0, 48.8, 48.5, 48.3, 48.0, 47.8, 47.5,
47.3, 47.0, 46.8, 46.5, 46.3, 46.0, 45.8, 45.5, 45.3, 45.0,
44.8, 44.5, 44.3, 44.0, 43.7, 43.4, 43.1, 42.8, 42.5, 42.2,
42.0, 41.7, 41.4, 41.1, 40.8, 40.5, 40.2, 39.9, 39.6, 39.3,
39.0, 38.7, 38.5, 38.2, 37.9, 37.6, 37.3, 37.0, 36.8, 36.6,
36.4, 36.2, 36.0, 35.7, 35.5, 35.3, 35.1, 34.9, 34.7, 34.5,
34.3, 34.3, 34.2, 34.2, 34.2, 34.0, 34.0, 34.0, 33.9, 33.9,
33.9, 33.8, 33.8, 33.8, 33.7, 33.7, 33.7, 33.6, 33.6, 33.6,
33.6, 33.5, 33.5, 33.5, 33.5, 33.5, 33.5, 33.4, 33.4, 33.4, 33.4,

```
33.4, 33.4, 33.3, 33.3, 33.3, 33.3, 33.3, 33.3, 33.3, 33.2,
33.2, 33.2, 33.2, 33.2, 33.2, 33.2, 33.1, 33.1, 33.1, 33.1,
33.1, 33.1, 33.1, 33.0, 33.0, 33.0, 33.0, 33.0, 33.0, 33.0,
33.0, 33.3, 33.3, 33.0, 33.0, 33.0, 33.0 ];
```

```
    var iA = flow.get("iA") || 0
    if(msg.payload == xxxx) // Senha para resetar ciclo

    iA=0;
    // Salva o valor do contador na variável de fluxo
    flow.set("iA", iA);

    if(iA>=673)

    iA = 0;
    // Salva o valor do contador na variável de fluxo
    flow.set("iA", iA);

    if (msg.payload == 'refresh1hora')
    iA++;
    // Salva o valor do contador na variável de fluxo
    flow.set("iA", iA);

    // Salva o valor do contador na variável de fluxo
    // Insere nos payloads os valores atuais de temperatura
    msgMinA.payload = aeroTempMin[iA];
    msgMaxA.payload = aeroTempMax[iA];
    msgCounterA.payload = iA; // Valor do contador de horas de compostagem, são 4
    semanas = 672 horas
    return [msgMinA, msgMaxA, msgCounterA];
```

A.2 Esquemáticos da placa Ambar

A placa é alimentada com 5V para suprir o circuito lógico e 5-12V para suprir as cargas controladas pelos transistores TIP127 e relés.

Entradas DC:

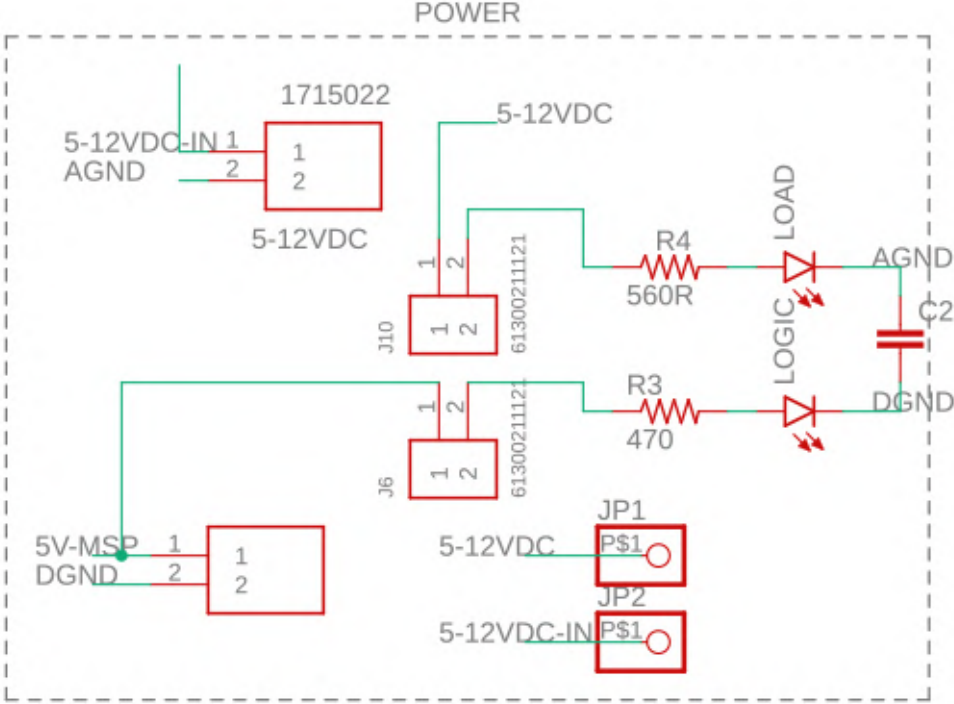


Figura A.71 – Entrada DC.

Entrada AC dos relés:

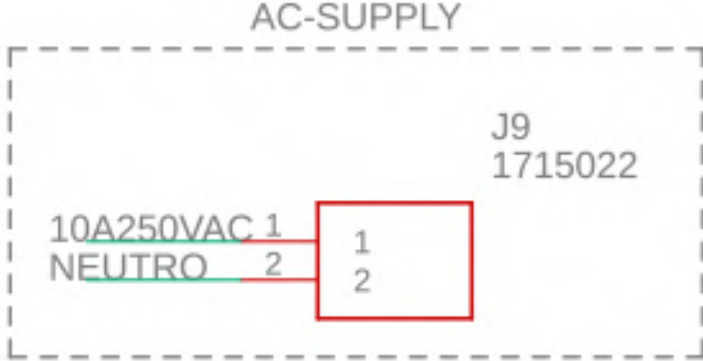


Figura A.72 – Entrada AC.

O MSP430F5529LP pode ser acoplado à placa por meios dos headers.

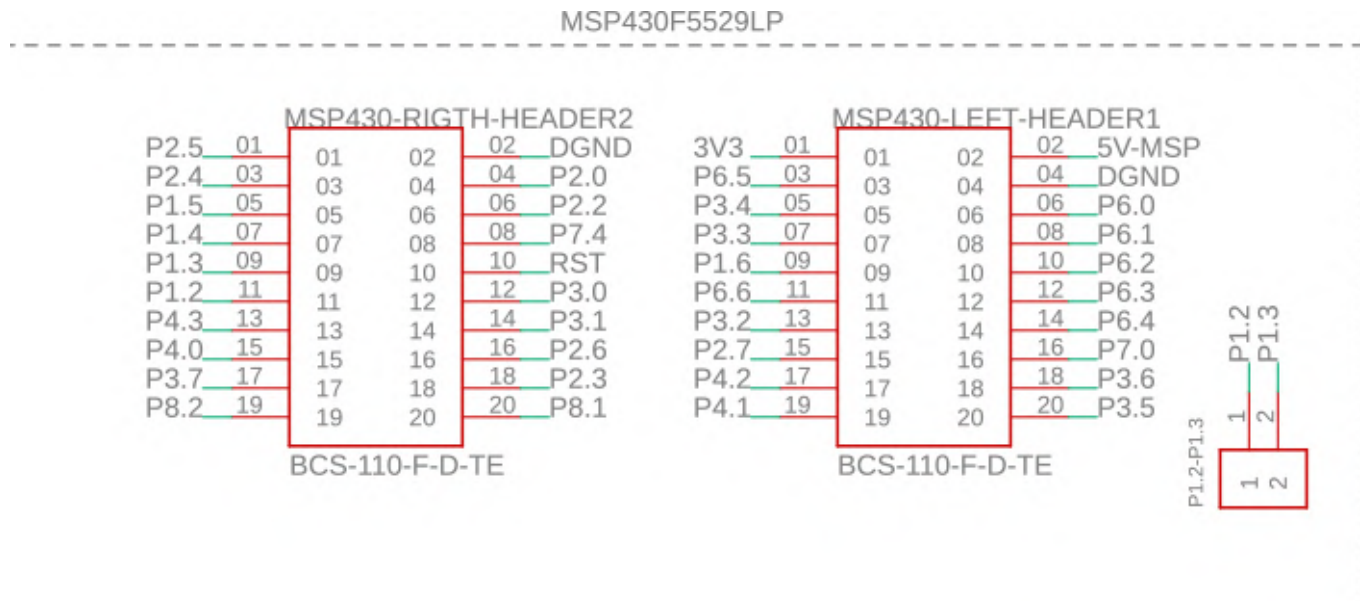


Figura A.73 – Pin headers

Circuito de acionamento dos TIPs 127. A parte lógica é separada por meio dos optoacopladores PC817.

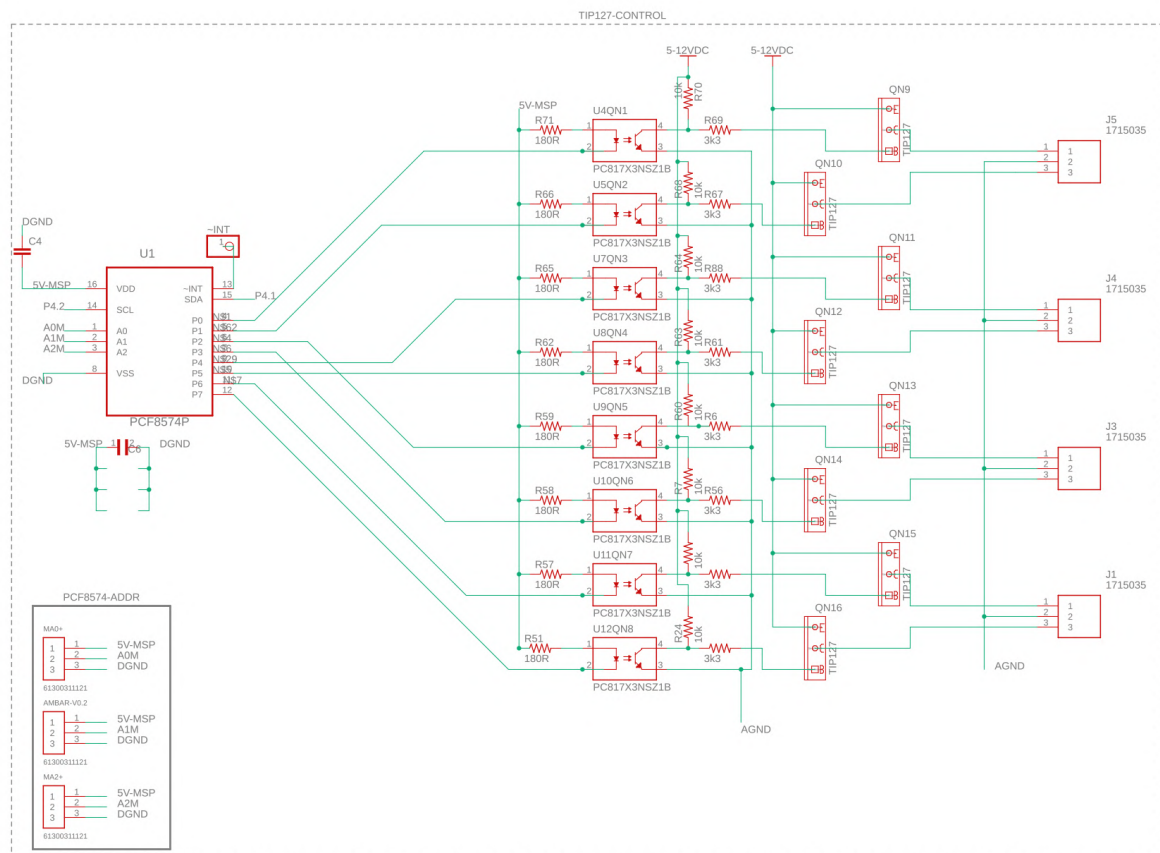
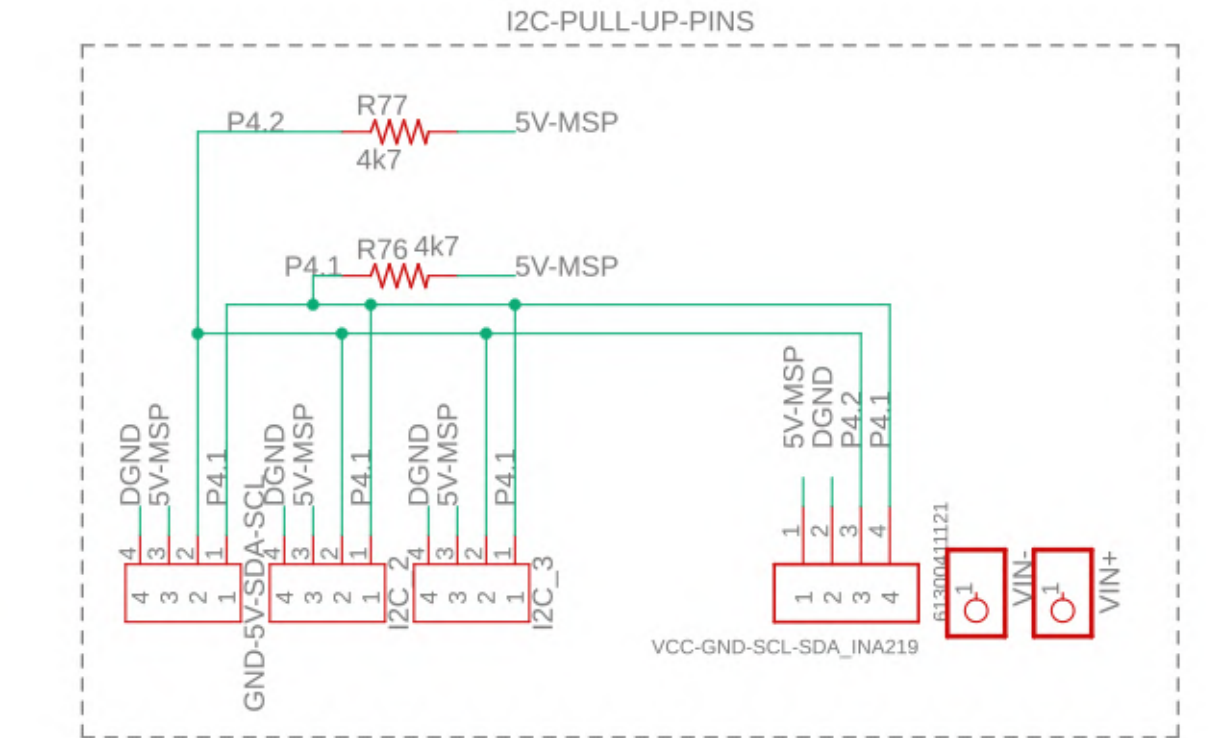


Figura A.74 – PCF8574 acionando transistores TIP127.



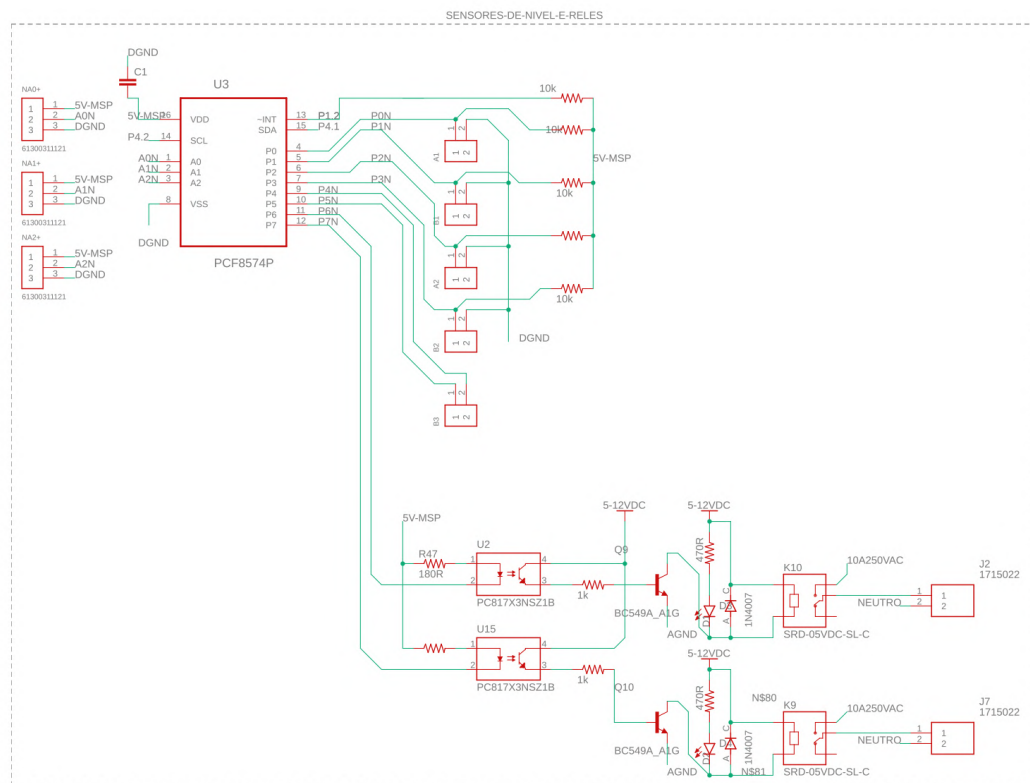


Figura A.76 – PCF8574 Recebendo 4 sensores de nível e 2 relés.

Circuito dos sensores e ultrassom:

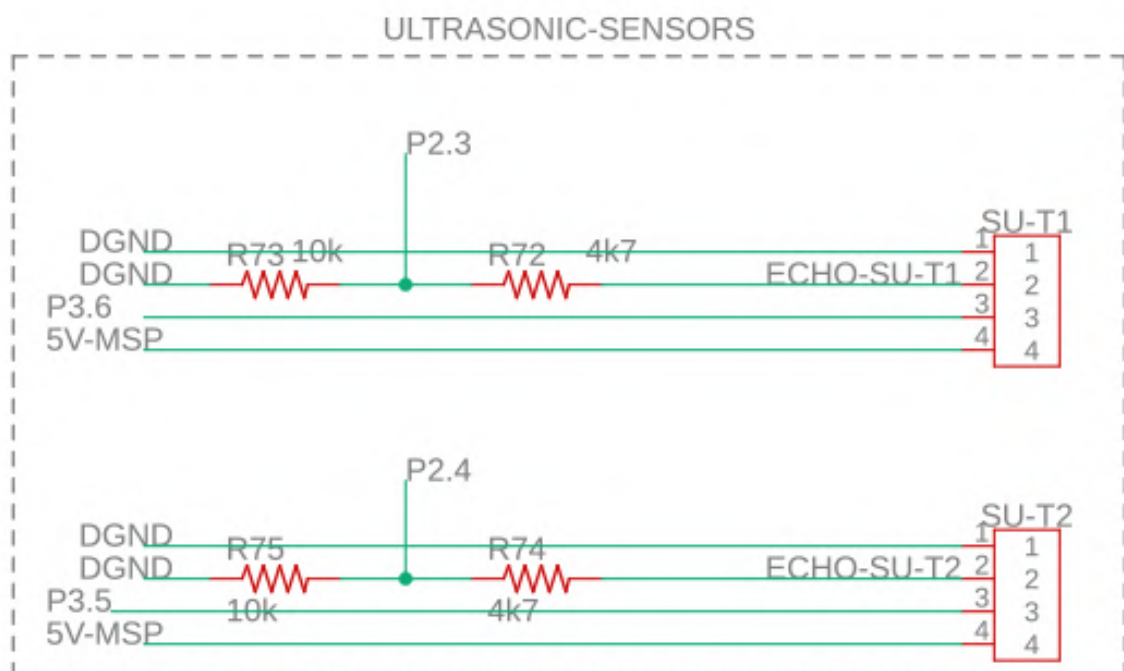


Figura A.77 – Conexões Para Dois Sensores Ultrassom.

Circuito para os pinos PWM:

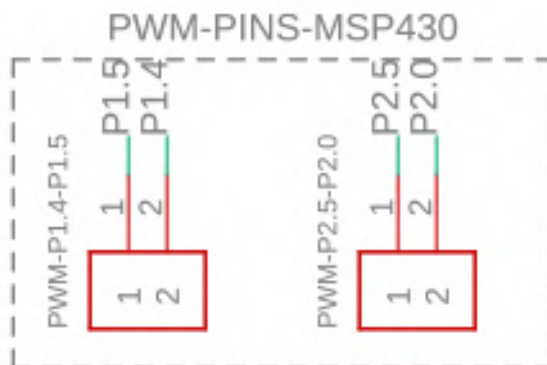


Figura A.78 – Quatro conexões para geração de sinal PWM pelo MSP430F5529

Quatro módulos sensores de gás podem ser utilizados com essa placa:

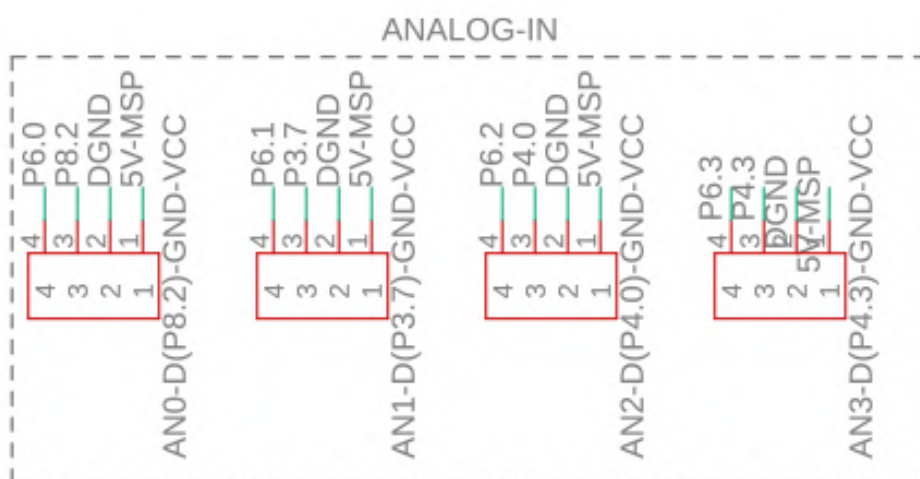


Figura A.79 – Conexões para leitura de sinais analógicos e digitais de sensores de gases.

Apêndice B – Vermicompostagem

Na experiência com minhocários, conduzida por três anos, foi visto que com as superfícies sempre cobertas por uma camada de material como grama, serragem ou papelão, mosquitos não são atraídos e o odor não é desagradável e nem forte. Quando o material orgânico é decomposto e se estabiliza, o odor final é o de um solo de floresta ou terra vegetal.

Na figura B.80 abaixo temos um minhocário feito com baldes, com os restos de alimentos sendo adicionados por volta de uma vez por semana.



Figura B.80 – Minhocario em baldes de plástico com recipiente inferior para acúmulo de chorume.

Na figura B.81 vemos o momento em que é retirado um balde vazio de cima da superfície do minhocário, onde recentemente foram inseridos restos orgânicos e grama seca. Vemos o comportamento das minhocas de buscar um ambiente sem iluminação e com um nível ótimo de umidade e oxigênio, nas partes secas não se vê minhocas.



Figura B.81 – Minhoca Californiana (*Eisenia fetida*) .

Nas figuras B.82 e B.84 abaixo vemos o antes e depois do processo de vermicompostagem.



Figura B.82 – Restos orgânicos da cozinha .



Figura B.83 – Balde com o material transformado em húmus de minhoca

O aspecto final do húmus de minhoca é esse material granulado que se assemelha à terra vegetal, como visto na figura [B.84](#).



Figura B.84 – Material estabilizado após a vermicompostagem.

A figura B.85 abaixo mostra o conceito de compostagem e vermicompostagem em um mesmo equipamento, o que tornaria mais simples ainda o processo:



Figura B.85 – Conceito de um Módulo Estação de Compostagem e Vermicompostagem totalmente integrado.