



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CENTRO DE TECNOLOGIA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

WALLEF FERREIRA SANTOS

**EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAR TEMPERATURA E
UMIDADE DE FORMA CONTÍNUA E REMOTA: APLICAÇÃO NA
COMPOSTAGEM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Maceió – AL

2021

WALLEF FERREIRA SANTOS

**EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAR TEMPERATURA E
UMIDADE DE FORMA CONTÍNUA E REMOTA: APLICAÇÃO NA
COMPOSTAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
colegiado do curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária como requisito parcial para a obtenção
de título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Daniele Vital Vich

Maceió – AL

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade – CRB-4 - 1251

S237e Santos, Wallef Ferreira.

Equipamento de baixo custo para monitorar temperatura e umidade de forma contínua e remota: aplicação na compostagem / Wallef Ferreira Santos. – 2021.

53 f. : il.

Orientadora: Daniele Vital Vich .

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, 2021.

Bibliografia: f. 50-53.

1. Monitoramento remoto. 2. Internet das coisas. 3. Compostagem. 4. Composteira doméstica. I. Título.

CDU: 631.86

WALLEF FERREIRA SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
colegiado do curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária como requisito parcial para a obtenção
de título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Data de Aprovação: 18/02/2021.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Daniele Vital Vich
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de A.C. Simões
Orientadora

Profa. Dra Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de A.C. Simões
Examinadora

MSc. Lucas Virgens dos Santos
Teia Serviços Ambientais
Examinador

AGRADECIMENTOS

A minha noiva, Sarah Sousa, pelo apoio constante, incentivando-me incondicionalmente ao longo de toda a graduação, bem como com suas contribuições no decorrer deste trabalho.

Aos meus sogros, Luciene Sousa e Itamar Sousa, pelo suporte e conselhos fornecido em momentos difíceis.

A Prof.a Dr.a Maria Raphaella dos Santos Vasconcelos, pela atenção, pelo apoio e por suas grandes ideias.

Ao meu amigo, Renan Pires, por sua personalidade única e genuína, por sua ombridade, e por todas conversas longas.

A minha orientadora, Prof.a Dr.a Daniele Vital Vich, pela empatia, paciência e dedicação ao longo de todo o trabalho.

A Prof.a Dr.a Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira e ao MSc. Lucas Virgens dos Santos por terem aceitado o convite, pelo tempo dedicado e contribuições com suas valiosas críticas e importantes sugestões.

Aos meus colegas. Adelson Santos, Ingrid de Jesus e Leandro Santos, que influenciaram direta ou indiretamente em minhas conquistas, parceiros nos estudos e nos momentos de descontração.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve o intuito de monitorar um processo de compostagem em pequena escala em composteira de baixo custo, usando os resíduos de preparo de alimentos de uma residência familiar e os resíduos de poda. A composteira foi confeccionada com recipientes de plástico. No trabalho foi verificado o comportamento de dois dos principais fatores que influenciam o processo de compostagem (umidade e temperatura), bem como a eficiência do processo ao longo do tempo. O monitoramento da temperatura e da umidade da composteira foi feito de forma contínua e remota por um equipamento eletrônico de baixo custo, baseado na tecnologia IoT (do inglês *Internet of Things*, Internet das Coisas), que foi desenvolvido especificamente para este trabalho, buscando coletar e armazenar um maior número de dados e informações durante o processo de compostagem. Foi realizado monitoramento das mudanças físicas no decorrer de 51 dias. A média geral dos três sensores de temperatura apresentou valores próximos de 29,8 °C, com pico de 41,4 °C entre os dias 5 e 7 de monitoramento. A média geral dos três sensores de umidade apresentou valores próximos de 30%, com pico de 50,7% entre os dias 30 e 35 do monitoramento. O equipamento funcionou com poucas interrupções (quedas de internet) no período de 51 dias, demonstrando eficiência e confiabilidade.

Palavras-chaves: monitoramento remoto, internet das coisas, composteira doméstica.

ABSTRACT

This work had the aim to monitor a small scale composting process with a low price of making, using food waste of a house with three residents and dry leaves. The composter was made of plastic. In this work, two essential parameters were watched which influence the composting process (temperature and moisture) and its efficiency as the time passes. The monitoring of the temperature and moisture composter was uninterrupted and the electronic equipment could watch the process remotely and with low cost involved. This equipment was based in IoT technology and it was made specifically for this project with the main purpose of collecting and keeping the most data as possible during the composting process. The monitoring of the physical changes was made during 51 days. The average of the three temperature sensors reached close values to 29,8 ° C, with the highest one of the 41,4 ° C between the 5 and 7 days of monitoring. The average of the three moisture sensors reached close values to 30%, with the highest one of the 50,7% between the 30 and 35 days of monitoring. The equipment worked with few interruptions for 54 days, showing efficiency and reliability.

Keywords: remote monitoring, internet of things, domestic composter.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A - Ampere

C/N – Relação Carbono/Nitrogênio

GPIO - *General Purpose Input/Output*

IoT – *Internet of Things*

LCD – *Liquid Crystal Display*

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RTC - *Real Time Clock*

SD - *Secure Digital*

V - Voltagem

VCC - Voltagem em Corrente Contínua

UPS - *Uninterruptible Power Supply*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
2.1. Objetivo Geral	13
2.2. Objetivos Específicos	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1. Resíduos Sólidos	14
3.2. Compostagem	16
3.3. Fatores que Influenciam na Compostagem	17
3.3.1. Temperatura	17
3.3.2. Umidade	19
3.3.3. Aeração	19
3.3.4. Potencial Hidrogeniônico (pH)	19
3.3.5. Granulometria	20
3.4. A Tecnologia IoT (Internet das Coisas)	20
3.5. Equipamentos de Monitoramento e Aplicações	21
4. METODOLOGIA	22
4.1. Caracterização do Estudo	22
4.2. Composteira	23
4.2.1. Montagem da Composteira	23
4.2.2. Resíduos para a Composteira	25
4.3. Equipamento de Monitoramento	29
4.3.1. Componentes do Equipamento	29
4.3.2. Esquema do Equipamento	33
4.3.3. Armazenamentos de Dados Remoto e Local	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1. Monitoramento do Processo de Compostagem	37
5.1.1. Temperatura	37
5.1.2. Umidade	38
5.1.3. Composto e Chorume	40
5.1.4. Equipamento	42
6. CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade.	16
Tabela 2: Composição do material da composteira.	28
Tabela 3: Dados medidos pelo equipamento.	36
Tabela 4: Custos do equipamento.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Perfil de temperatura durante a compostagem.....	18
Figura 2: Fluxograma experimental simplificado.....	22
Figura 3: Revolvimento do composto.....	23
Figura 4: Recipiente utilizado para montar a composteira.....	23
Figura 5: Esquema de perfuração da composteira.....	24
Figura 6: Perfuração da composteira (a) e posicionamento dos sensores (b).....	24
Figura 7: Posicionamento dos sensores.....	25
Figura 8: Folhas de mangueira (a) e folhas cortadas para a composteira (b).....	25
Figura 9: Resíduo cortado para pesagem (a) e separação de resíduos (b).....	26
Figura 10: Balança de um dígito decimal.....	26
Figura 11: Resíduos de alimentos (a) e resíduos de poda (b).....	27
Figura 12: Composteira preenchida (a) e composteira em funcionamento (b).....	27
Figura 13: Gráfico da composição em massa dos resíduos utilizados na composteira.....	28
Figura 14: Calibração dos sensores de umidade.....	29
Figura 15: Placa ESP32.....	30
Figura 16: Sensor DS18B20.....	31
Figura 17: Sensor de umidade do solo.....	31
Figura 18: Display LCD.....	32
Figura 19: Módulo de cartão micro SD (a) e módulo RTC DS3231 (b).....	32
Figura 20: Shield Battery V8.....	33
Figura 21: Esquema do equipamento de monitoramento.....	34
Figura 22: Esquema de montagem do equipamento.....	35
Figura 23: Equipamento parcialmente montado (a) e equipamento em funcionamento (b).....	35
Figura 24: Gráfico de temperatura do processo de compostagem.....	37
Figura 25: Médias diárias de temperatura durante o processo de compostagem.....	38
Figura 26: Umidade superficial da massa de compostagem ao longo de todo o processo.....	39
Figura 27: Mosca saindo por furo da composteira (a) e larvas de moscas (b).....	39
Figura 28: Chorume produzido.....	40
Figura 29: Chorume diluído e armazenado.....	41
Figura 30: Gráfico de densidade do composto.....	41
Figura 31: Composto após o término do monitoramento.....	42
Figura 32: Equipamento medidor de umidade e temperatura.....	45
Figura 33: Datalogger de temperatura.....	45
Figura 34: Gráfico de monitoramento horário comum.....	46
Figura 35: Gráfico de Temperatura.....	47
Figura 36: Gráfico de monitoramento contínuo.....	48

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, a disposição dos resíduos sólidos se tornou uma das maiores preocupações ambientais. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), ao fim do primeiro semestre de 2019 a população mundial atingiu, aproximadamente, 7,7 bilhões de habitantes. A expectativa é que em 2050 a população mundial alcance 9,7 bilhões de habitantes. O crescimento populacional aumenta a demanda por recursos ambientais e alimentos.

Junto com o crescimento populacional, a concentração de pessoas nas cidades e os padrões de produção e consumo são preocupações para o século 21. A produção agrícola está cada vez mais limitada, principalmente pela escassez dos recursos hídricos, pela falta de técnicas ambientalmente sustentáveis e pelo empobrecimento do solo (FAO, 2018).

A produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tem aumentado juntamente com o crescimento da população, e a disposição incorreta desses resíduos pode causar impactos ambientais, danos à saúde da população, comprometimento de recursos hídricos, degradação do solo e aumento na população de vetores (JACOBI; BESEN, 2006).

Segundo o Banco Mundial, com relação ao manejo de RSU, a renda da população está diretamente relacionada com a composição dos resíduos gerados. Resíduos como madeira e borracha estão mais presentes no lixo de regiões mais ricas. Países mais desenvolvidos geram mais resíduos sólidos, e a maior parcela da constituição do lixo é de papel e plástico. A presença de resíduos orgânicos aumenta com a diminuição da renda da população. Os países mais pobres possuem a maior parte do lixo constituída por resíduos orgânicos, com aproximadamente 56% do total gerado (KAZA et al., 2018).

No ano de 2018 foram gerados, aproximadamente, 79 milhões de toneladas de RSU no Brasil. 59,5% de todos esses resíduos foram destinados aos aterros sanitários, e os 40,5% restantes foram descartados em lixões ou aterros controlados, que são sistemas que não possuem todos os parâmetros técnico-operacionais exigidos pelas normas brasileiras (ABRELPE, 2019).

O aproveitamento da matéria orgânica gerada nas residências pode ajudar a aumentar a vida útil dos aterros sanitários, pois, aproximadamente, 51,4% do peso dos resíduos sólidos urbanos brasileiros são de matéria orgânica (IPEA, 2012). A compostagem pode ser utilizada como forma de degradar a matéria orgânica dos resíduos sólidos domésticos e diminuir o volume de resíduos a serem dispostos nos aterros sanitários, principalmente pela sua

praticidade e sua eficiência na degradação (SILVA, 2007). Empresas já comercializam composteiras domésticas de todos os tipos e tamanhos com a finalidade de transformar a matéria orgânica, e a compostagem caseira vem ganhando força com o passar dos anos (LEITE, 2011).

A compostagem é um processo de decomposição aeróbica da matéria orgânica de maneira controlada e estabilizada, na qual há a presença de microrganismos que promovem temperaturas termófilas com a obtenção de um produto estável e sanitizado rico em nutrientes. Dentre os parâmetros mais importantes para a preservação da estabilidade do composto final estão: temperatura e umidade (VALENTE et al., 2009).

A umidade é considerada indispensável para a atividade metabólica dos microrganismos, sendo considerada sua faixa ideal entre 50 e 60%. Valores elevados deste parâmetro podem reduzir a penetração de oxigênio no substrato, pelo fato deste ser hidrófilo e as moléculas de água interagirem fortemente com a superfície das partículas, ao saturar seus microporos, causando a anaerobiose (VALENTE et al., 2009).

A temperatura está fortemente ligada ao metabolismo dos microrganismos, apresentando valores maiores quando essa atividade se encontra em auge, porém, valores extremos podem ocasionar a morte de microrganismos necessários para a degradação da matéria orgânica nas fases posteriores. É considerada um dos parâmetros mais importantes por diversos pesquisadores, ao ser utilizada como indicador de maturação da massa em compostagem quando esta atinge temperaturas próximas da temperatura ambiente, entretanto, valores muito baixos de temperatura indicam a baixa presença de agentes biológicos necessários para uma boa concentração carbono e nitrogênio no substrato (VALENTE et al., 2009).

O desenvolvimento de protótipos funcionais pode facilitar o monitoramento de ensaios laboratoriais, além de automatizar operações necessárias durante o estudo. Uma das maiores vantagens desse tipo de equipamento é a grande capacidade de adaptação de funções, tornando possível o monitoramento de diversos parâmetros simultaneamente. O baixo custo de protótipos funcionais, quando comparado a equipamentos comerciais, proporciona maiores oportunidades em diversos tipos de projetos de engenharia.

Sendo assim, este trabalho além de apresentar a compostagem como uma técnica que ajuda na gestão de resíduos sólidos e que contribui para o desenvolvimento sustentável ao reduzir os passivos ambientais causados pela geração de resíduos orgânicos, propõe monitorar

de maneira contínua e remota o processo de compostagem doméstica em pequena escala por meio de equipamento de baixo custo com sensores de temperatura e umidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Conduzir um processo de compostagem de resíduos de preparo de alimentos de uma residência e de resíduos verdes (folhas secas e galhos) oriundos de áreas com vegetação próximas, utilizando caixas comerciais de baixo custo acopladas a um equipamento de monitoramento de temperatura e umidade de forma contínua e remota.

2.2. Objetivos Específicos

- Monitorar o comportamento da temperatura e umidade durante o processo de compostagem e avaliar de maneira visual e gravimétrica as características do produto final.
- Calibrar os sensores e buscar melhorias para o equipamento de monitoramento contínuo, a fim de desenvolver aparelhos de baixo custo mais autônomos, eficientes e de melhor comunicação com o usuário.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resíduos Sólidos

Os seres humanos produzem resíduos sólidos desde a antiguidade, quando começaram a viver em comunidades. Desde então a produção de resíduos sólidos tem aumentado juntamente com o número da população mundial. Com o passar do tempo as cidades se desenvolveram e criaram políticas públicas sanitárias, porém para muitas comunidades a preocupação com os resíduos gerados só surgiu quando esse tema se tornou um problema, ou seja, apresentando perigo à sociedade. Isso se deu após a Revolução Industrial, que foi o momento onde surgiram as maiores discussões sobre a produção de resíduos e condições sanitárias das cidades (WORRELL & VESILIND, 2001; WILSON, 2007).

De acordo com a Constituição Federal Brasileira de 1988, Art. 225:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.” (BRASIL, 1988).

É fundamental caracterizar os resíduos sólidos para implementar políticas públicas de gerenciamento de resíduos. A caracterização pode tornar possível a estimativa do potencial de recuperação dos materiais, a identificação das fontes de geração, a estimativa das propriedades físicas e químicas e conformizar as exigências de cada país. Vários fatores podem determinar a composição dos resíduos sólidos, tais como o estilo de vida da população, a legislação vigente no país, demografia e geografia local e variações sazonais. (ADENIRAN *et al.*, 2017).

De acordo com a NBR 10.004 de 2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define-se Resíduos Sólidos (RS) como:

“resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.” (ABNT, 2004).

Outra definição para RS foi dada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em seu artigo 3º:

“XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (BRASIL, 2010).

Segundo a PNRS, os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a sua origem e quanto a sua periculosidade (Tabela 1).

“I - Quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;

i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;

j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;

k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.” (BRASIL, 2010).

Tabela 1: Classificação dos resíduos sólidos quanto à periculosidade.

Classe	Descrição
Resíduos perigosos	Aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica.
Resíduos não perigosos	Todos aqueles não enquadrados em resíduos perigosos.

Fonte: PNRS (BRASIL, 2010).

3.2. Compostagem

A compostagem é um dos métodos empregados para recuperar resíduos orgânicos. O processo tem a função de estabilizar a matéria orgânica, transformando-a em um composto com propriedades que podem melhorar e condicionar solos degradados (CASARO et al., 2019). O produto final do processo de compostagem, após a estabilização e a higienização, pode ser denominado de composto orgânico, e tem a característica de ser favorável à produção vegetal (OLIVEIRA et al., 2008).

Os materiais que devem estar numa composteira devem possuir grande quantidade de nitrogênio, que são: folhas, restos de vegetais, ervas, hortaliças e etc. Materiais sólidos como vidros, plásticos, metais, pedras não devem ser utilizados (OLIVEIRA et al., 2008).

A compostagem é constituída por duas fases mesofílicas e uma fase termofílica entre elas. A compostagem reduz o volume dos resíduos sólidos orgânicos e os transforma em um substrato rico em nutrientes, que pode ser utilizado para condicionar solos (DIAZ et al., 2007; RYNK et al., 1992). A compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e aeração de um composto heterogêneo de matéria orgânica. No processo ocorre a aceleração da decomposição aeróbica dos resíduos orgânicos por microrganismos (VALENTE et al, 2009).

A compostagem doméstica, quando conduzida de forma correta, não resulta na geração de odor e na atração de vetores, e pode ser uma alternativa viável para a ciclagem resíduos orgânicos, podendo ser utilizada em escolas, casas, condomínios e propriedades rurais (WANGEN, 2010).

Os fatores mais importantes para o desenvolvimento dos microrganismos são: temperatura, umidade, aeração, pH, e o tipo de compostos orgânicos disponível (TEIXEIRA, 2002). O chorume é um dos mais importantes subprodutos da compostagem, sendo um líquido de coloração escura gerado pela degradação de resíduos orgânicos. A geração de chorume pode ser ampliada pela baixa aeração e grandes valores de umidade (VALENTE et al, 2009).

3.3. Fatores que Influenciam na Compostagem

Vários fatores podem influenciar o processo decomposição aeróbia de resíduos orgânicos, dentre eles estão a temperatura, o pH, a aeração, a umidade e o tipo de substrato que será degradado, além da relação entre as fontes de carbono e nitrogênio – relação C/N (BERTOLDI et al., 1983).

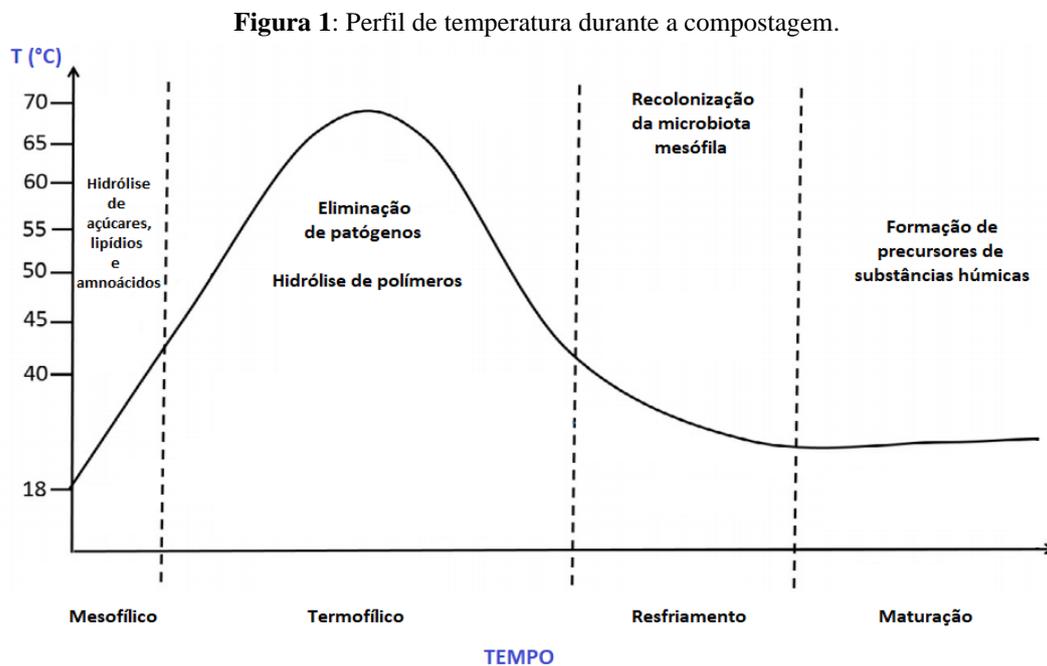
3.3.1. Temperatura

A temperatura é um parâmetro muito importante, pois a compostagem é um processo microbiológico. Dentre vários outros fatores, a temperatura em condições favoráveis pode alterar as interações entre os microrganismos (BIDONE, 2001), influenciando na eficiência do processo (ZHAO et al., 2016). A temperatura tem papel sanitizante da massa de compostagem, já que altos valores de temperatura ajudam no controle de vetores, na redução de odores e na eliminação de microrganismos patogênicos (ARRIGONI et al., 2018). Dessa forma, a relação entre a temperatura e o tempo se torna um fator muito importante no processo de higienização da compostagem (KOIVULA et al, 2000).

O aumento da temperatura, a respiração dos microrganismos e a evaporação de água são favorecidos pelo metabolismo exotérmico no interior do composto (ZUCCONI;

BERTOLDI, 1991), que ocorre pela geração de calor, com desprendimento de CO₂ e vapor de água (KIEHL, 2004). Um controle de temperatura ineficiente pode depreciar os resultados esperados da compostagem. Em temperaturas acima de 70 °C pode haver a restrição do número de microrganismos na massa de compostagem (KIEHL, 1985; 2004).

O processo de compostagem é constituído por quatro fases: mesofílica, termofílica, resfriamento e maturação (CHEN et al., 2015), como mostra a Figura 1.



Fonte: Adaptado de SÁNCHEZ *et al.*, 2017.

As fases da compostagem, em função da temperatura, podem se classificar da seguinte forma: primeira fase mesofílica (20-45°C), segunda fase termofílica (45-65°C) e terceira fase mesofílica (20-45°C, com retorno à temperatura do ambiente) (MODESTO FILHO, 1999).

A fase mesófila acontece no início da compostagem e se caracteriza por células microbianas com intensa atividade metabólica, apresentando grande síntese de DNA de enzimas. Na segunda fase ocorre uma bioestabilização e logo em seguida ocorre a maturação, causando a mineralização da matéria orgânica. Na fase termofílica as bactérias degradam lipídeos enquanto que a celulose e a lignina sofrem o processo de decomposição pelos fungos (KIEHL, 1985). Na mudança da fase mesófila para a fase termofílica ocorre uma diminuição da atividade microbiana causada pela morte de microrganismos mesófilos e a colonização da massa em compostagem por microrganismos termófilos (SUNDBERG et al, 2004).

3.3.2. Umidade

A umidade é um fator indispensável para a eficiência da compostagem, pois influencia na atividade metabólica dos microrganismos, sendo o intervalo de 50% a 60% a faixa ideal para interação dos microrganismos. A umidade pode interferir na temperatura da compostagem (VALENTE et al, 2009). Com umidade favorável e disponibilidade de oxigênio, a matéria orgânica terá maior facilidade de ser degradada (NEUGEBAUER et al, 2017). Em sistema com umidade de 30% há inibição da atividade microbiana (PEREIRA NETO, 1987), enquanto que em valores de umidade acima de 65% ocorre um processo de decomposição mais lento, condições de anaerobiose e perda de nutrientes em forma de chorume (PEREIRA NETO, 2007).

A penetração de oxigênio na composteira pode ser prejudicada por materiais em compostagem com excesso de umidade, isso ocorre porque a matéria orgânica em decomposição é hidrófila e as moléculas de água são atraídas para a superfície das partículas, causando saturação dos poros do composto (ECOCEM, 2004).

3.3.3. Aeração

A aeração se torna um fator importante, pois a compostagem é um processo aeróbico, onde o gás oxigênio é utilizado pelo metabolismo dos microrganismos, produzindo água e CO₂ (AWASTHI et al., 2014). A aeração é considerada o fator mais importante para o processo de compostagem (DIAZ et al., 2007). Em baixas taxas de aeração há a possibilidade de o composto adquirir características de anaerobiose, enquanto a aeração excessiva torna o processo de compostagem mais lento por meio de perdas de calor e água. Para garantir a taxa de aeração adequada é necessário realizar algum processo de aeração, tais como: revolvimento manual, instalação de dispositivos de ventilação e túneis que permitam a circulação de ar (BARROS, 2012).

3.3.4. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH não se destaca como um fator tão crítico para o processo de compostagem, entretanto ele deverá ficar na faixa ótima para desenvolvimento de um ambiente favorável para os microrganismos, que seria próximo à neutralidade. Entretanto, o pH do material em compostagem tende a crescer com o tempo, atingindo valores entre 7,5 e 9,0 ao fim do processo (MATOS, 2014).

3.3.5. Granulometria

Quanto menores as partículas, maior a superfície específica do composto, o que proporciona um processo de decomposição mais acelerado, desde que exista aeração adequada. A granulometria dos resíduos orgânicos é importante para a disponibilidade de porosidade necessária para realização de trocas gasosas e hídricas. O tamanho das partículas varia de 1,3 cm a 7,6 cm. É importante selecionar resíduos com partículas inferiores a 3 cm de diâmetro (OLIVEIRA et al., 2008).

3.4. A Tecnologia IoT (Internet das Coisas)

A tecnologia IoT surgiu por volta de 1999, como um conjunto de coisas conectadas umas às outras através da internet. Essas coisas podem ser módulos, sensores, pessoas e etc. A IoT tem função de coletar dados e informações do ambiente físico para tentar compreendê-lo por meio de monitoramentos (SARAGIHI et al., 2020), visando expandir os benefícios da internet sem a necessidade da interação humana nas áreas de compartilhamento de dados, indústria alimentícia, dispositivos eletrônicos, comunicação, agroindústria e etc.

Diversas aplicações da Internet das Coisas que são conectadas com a internet estão sendo desenvolvidas. Esses aplicativos processam, armazenam e trocam informações entre outros dispositivos e o meio ambiente (RAMANATHAN et al., 2021). A Internet das coisas funciona muito bem em pequena escala, um dos maiores desafios para o futuro será o desenvolvimento de aplicativos em larga escala (ZHANG et al., 2021).

Internet das Coisas se refere à rede de conexões entre objetos do cotidiano, que, em muitos casos, são equipados com inteligência artificial. A necessidade da comunicação entre dispositivos e seres humanos irá aumentar a onipresença da internet, principalmente pela fácil interação entre sistemas embarcados e o baixo custo dos mesmos. O avanço da tecnologia está proporcionando diversas oportunidades para a criação de novos aplicativos que promovem melhor qualidade de vida para as pessoas (XIA et al., 2012). Segundo Wortmann e Flüchter (2015), várias empresas já começaram a investir em dispositivos e serviços baseados em tecnologia IoT, por exemplo, a Google realizou a aquisição da Nest por 3,2 bilhões de dólares, a Samsung adquiriu a SmartThings. Hoje em dia é quase impossível realizar buscas por tecnologias e não encontrar o termo IoT.

3.5. Equipamentos de Monitoramento e Aplicações

Pereira et al. (2019) desenvolveram um sistema IoT para tentar reduzir os custos com equipamentos comerciais com função de data logger e módulos que requerem controle e armazenamento de dados utilizando softwares pagos. Utilizando-se de redes Wi-Fi foi possível monitorar plantas de captação de energia fotovoltaica com softwares gratuitos, fazendo uso da placa microcontroladora ESP 32. O objetivo do trabalho foi monitorar as temperaturas dos módulos de captação de energia fotovoltaica a fim de se observar falhas e eficiência do sistema.

Saragih et al. (2020) desenvolveram um equipamento de controle e monitoramento dos níveis de água de comportas. O projeto fez uso da placa microcontroladora ESP32, motores de passos para controle das comportas e sensores ultrassônicos para leitura do nível da água.

Ahmed et al. (2020) desenvolveu um projeto de segurança e automação residencial baseado na tecnologia IoT de baixo custo que permite ao usuário ter total controle sobre o sistema de forma remota. O projeto combina um sensor de movimento a uma câmera para detectar e registrar intrusos.

Nimmaka e Prakasarao (2018) desenvolveram um sistema de monitoramento da poluição do ar em ambientes fechados. Fazendo uso de sensores de temperatura e umidade do ar, poeira, gases e material particulado. O projeto utilizava de uma placa microcontroladora ESP 32 que possui tecnologias *bluetooth* e Wi-Fi integradas que foram fundamentais para a realização do estudo.

Não foi possível encontrar trabalhos que façam uso de protótipos funcionais e Internet das Coisas em composteiras residenciais de pequena escala.

4. METODOLOGIA

Na presente pesquisa, a compostagem foi realizada com resíduos do preparo de alimentos residenciais, bem como resíduos verdes de poda de mangueira, coletados na mesma residência situada no bairro Petrópolis, localizado em Maceió, Alagoas.

Como a prática desse tipo de compostagem necessita de um ambiente coberto, a composteira foi colocada no quintal da casa, dentro de um cômodo coberto, a fim de se evitar a incidência direta de radiação solar e de águas da chuva, bem como a interferência de animais que pudessem vir a circular nas proximidades.

O processo ocorreu em composteira feita com caixa plástica de baixo custo. Para o monitoramento contínuo e remoto da temperatura e umidade, importantes parâmetros para a compostagem, foi utilizado um equipamento eletrônico automatizado composto por sensores. Um desenho simplificado da pesquisa está apresentado na Figura 2.

Figura 2: Fluxograma experimental simplificado.



Fonte: Autor, 2020.

4.1. Caracterização do Estudo

O estudo ocorreu nas dependências de uma residência. A coleta e seleção de resíduos também foram feitas na vizinhança. A compostagem foi realizada em uma composteira em formato de tronco de pirâmide retangular com volume de 24 litros. Os resíduos de preparo de alimentos da residência e os resíduos de poda foram inseridos na composteira com a proporção volumétrica de 1:2 (v/v), seguindo as recomendações do trabalho de Vich et al. (2017).

Inicialmente, todos os componentes do processo de compostagem tiveram os volumes e massas aferidos e foram caracterizados. O revolvimento foi realizado de forma manual (Figura 3) em dias alternados.

Figura 3: Revolvimento do composto.



Fonte: Autor, 2020.

4.2. Composteira

4.2.1. Montagem da Composteira

A composteira foi confeccionada com dois recipientes de plástico de 24 litros de formato de tronco de pirâmide retangular, com custo de R\$20,00 cada, conforme a Figura 4.

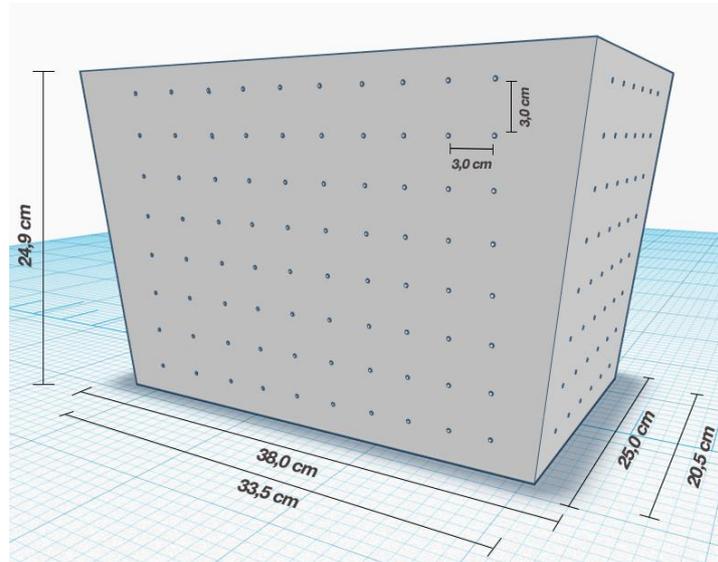
Figura 4: Recipiente utilizado para montar a composteira.



Fonte: Autor, 2020.

No recipiente foram realizados furos de, aproximadamente, 5 milímetros, com espaçamentos de 3 centímetros entre os furos, equidistantes, conforme o esquema da Figura 5 e Figura 6a.

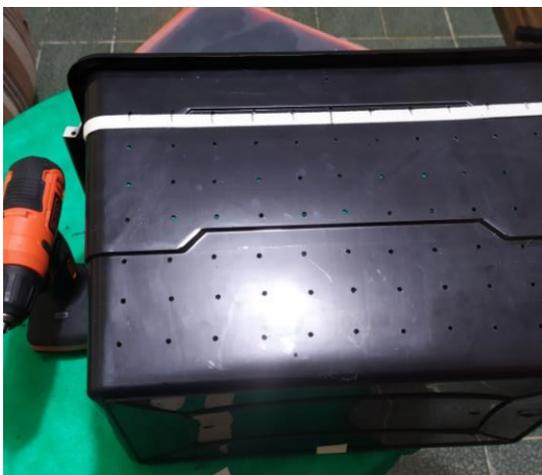
Figura 5: Esquema de perfuração da composteira.



Fonte: Autor, 2020.

Após a perfuração do recipiente, foram posicionados os sensores de umidade e temperatura, conforme a Figura 6b. Os sensores foram posicionados em diferentes níveis de profundidade a fim de monitorar todo o material da compostagem (Figura 7). Os sensores foram separados com 6 cm de distância na direção vertical no centro da composteira.

Figura 6: Perfuração da composteira (a) e posicionamento dos sensores (b).



a



b

Fonte: Autor, 2020.

Figura 7: Posicionamento dos sensores.



Fonte: Autor, 2020.

4.2.2. Resíduos para a Composteira

Na composteira foram utilizados resíduos do preparo de alimentos oriundos de uma residência familiar de três moradores e resíduos de poda (Figura 8) coletados na vizinhança. Os resíduos do preparo de alimentos foram formados principalmente por restos e cascas de legumes, hortaliças e frutas.

Figura 8: Folhas de mangueira (a) e folhas cortadas para a composteira (b).



a



b

Fonte: Autor, 2020.

Antes de serem adicionados à composteiras, esses resíduos foram cortados até atingirem um tamanho de partícula entre 50 e 200 mm (Figura 9a) por tesouras e facas. Depois

de cortados, os resíduos orgânicos foram misturados manualmente para obtenção de uma massa homogênea para compostagem.

Figura 9: Resíduo cortado para pesagem (a) e separação de resíduos (b).



a

b

Fonte: Autor, 2020.

A pesagem dos resíduos foi feita em uma balança de precisão de uma casa decimal (Figura 10). Cerca de 24 litros da mistura, incluindo 8 litros de resíduos do preparo de alimentos e 16 litros de resíduos de poda, foram colocados na composteira. A composteira recebeu aeração natural e o composto foi revolvido em dias alternados.

Figura 10: Balança de um dígito decimal.



Fonte: Autor, 2020.

O preenchimento da composteira com resíduos foi feito alternadamente entre resíduos do preparo de alimentos e resíduos de poda, assim como na Figura 11. A composteira foi

preenchida com resíduos até a borda (Figura 12a) e logo em seguida foi iniciado o monitoramento (Figura 12b).

Figura 11: Resíduos de alimentos (a) e resíduos de poda (b).



Fonte: Autor, 2020.

Figura 12: Composteira preenchida (a) e composteira em funcionamento (b).



a

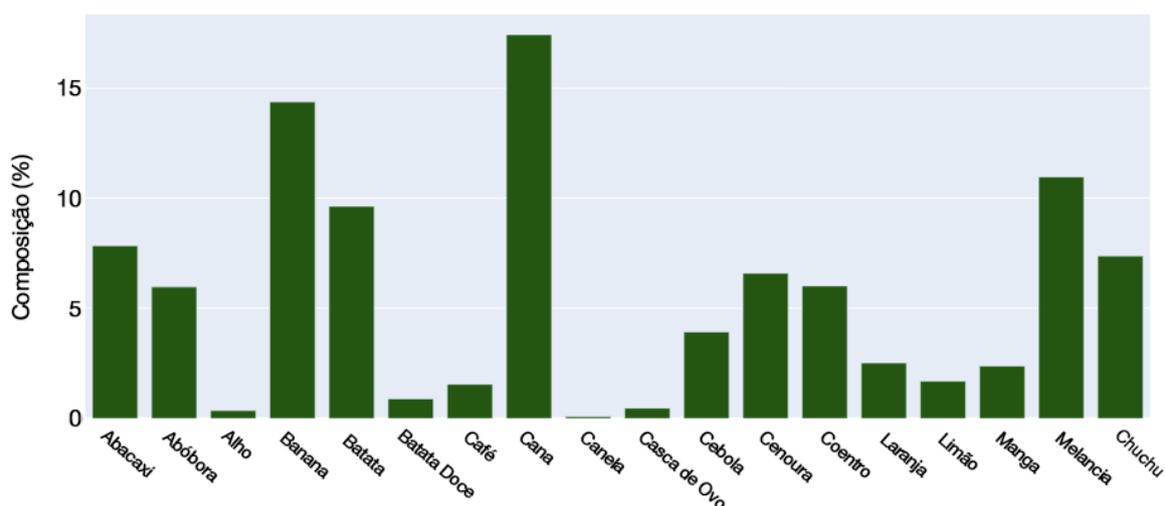
b

Fonte: Autor, 2020.

A composição dos resíduos adicionados à composteira foi bem diversificada, fazendo uso de dezoito tipos diferentes de resíduos, além de folhas de poda.

Na Figura 13 e na Tabela 2 é possível visualizar a composição, em massa e volume, dos resíduos da composteira.

Figura 13: Gráfico da composição em massa dos resíduos utilizados na composteira.



Fonte: Autor, 2021.

Tabela 2: Composição do material da composteira.

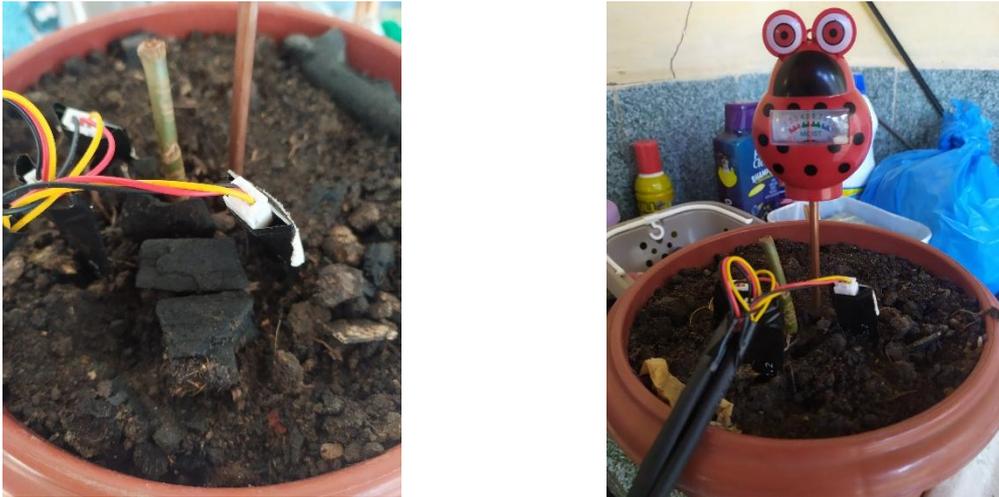
Material	Volume (ml)	Peso (g)	Material	Volume (ml)	Peso (g)
Abacaxi	625 (4,3%)	330 (7,8%)	Cebola	370 (2,6%)	165,2 (4,0%)
Abóbora	337 (2,3%)	251,2 (6,0%)	Cenoura	645 (4,5%)	277,2 (6,6%)
Alho	275 (1,9%)	14,9 (0,3%)	Coentro	755 (5,2%)	253,1 (6,0%)
Banana	1500 (10,4%)	605,1 (14,4%)	Folhas	26407	1022,5
Batata	795 (5,5%)	405,3 (10,0%)	Laranja	375 (2,6%)	105,9 (2,5%)
Batata Doce	60 (0,4%)	37,4 (0,9%)	Limão	150 (1,0%)	71,4 (1,7%)
Café	125 (0,9%)	65,1 (1,5%)	Manga	185 (1,3%)	100,1 (2,4%)
Bagaço de Cana	6734 (46,8%)	733,36 (17%)	Melancia	710 (4,9%)	461,6 (11%)
Canela	50 (0,3%)	3,5 (0,1%)	Chuchu	575 (4,0%)	310,3 (7,4%)
Ovo	125 (0,9%)	19,5 (0,5%)			

Fonte: Autor, 2021.

A cada etapa de revolvimento foi calculada a densidade da massa de compostagem, tornando possível a análise gravimétrica ao final do experimento.

O parâmetro de umidade da massa de compostagem foi aferido juntamente com o parâmetro de temperatura. Os sensores de umidade foram calibrados tomando como referência um higrômetro comercial utilizado em jardim (Figura 14).

Figura 14: Calibração dos sensores de umidade.



Fonte: Autor, 2021.

4.3. Equipamento de Monitoramento

A Internet das Coisas (IoT) surgiu como uma alternativa de baixo custo para monitorar e controlar projetos residenciais, eletrônicos e ambientais. Um equipamento de monitoramento remoto e contínuo de temperatura e umidade do solo, que faz uso da tecnologia IoT, foi desenvolvido a fim de melhorar a análise dos processos microbiológicos da compostagem, buscando manter os níveis de temperatura e umidade necessários para não haver uma proliferação de vetores e pragas, além de proporcionar um ambiente favorável e controlado para os microrganismos responsáveis pela digestão aeróbia. O monitoramento da compostagem foi feito por meio de sensores de temperatura DS1820 e sensores capacitivos de umidade do solo CS12, controlados por um módulo microcontrolador ESP-WROOM-32.

4.3.1. Componentes do Equipamento

4.3.1.1. Placa Controladora

A placa controladora NodeMCU-32S ESP 32 tem a função de tornar possíveis diversos projetos de automação por meio de prototipagem eletrônica envolvendo *hardware*, *software* e programação. O ESP 32 (Figura 15) é um equipamento utilizado em projetos IoT que dispõe de um microprocessador de baixa potência dual core Tensilica Xtensa 32-bit LX6 com módulo WiFi embutido, e ainda conta com Bluetooth v4.2 e memória flash integrada de 4 megabytes. O tipo de arquitetura do ESP 32 possibilita a programação independente, sem a

necessidade de utilizar outros tipos de placas microcontroladoras, como o Arduino UNO, por exemplo. As maiores vantagens do módulo ESP 32 são: baixo consumo de energia, alto desempenho de potência, versatilidade e confiabilidade. O módulo trabalha com tensão de 3,3 VCC e fornece corrente máxima de 12 mA por GPIO (do inglês *General Purpose Input/Output*). Pode ser encontrada facilmente no mercado com valores entre R\$18,00 e R\$35,00, em diferentes modelos e marcas.

Figura 15: Placa ESP32.



Fonte: Autor, 2020.

4.3.1.2. Sensores de Temperatura

O sensor de temperatura utilizado foi o DS18B20 (Figura 16), que possui baixo custo e tem grande disponibilidade no mercado, podendo ser encontrado facilmente com valores entre R\$2,00 e R\$12,00. Ele é capaz de ler valores de temperatura, interpretar e enviar a informação, em graus Celsius, para o microcontrolador utilizando protocolo de comunicação *One Wire*. O sensor de temperatura DS18B20 pode medir temperaturas entre -55 °C e 125 °C com uma precisão de aproximadamente 0,5 °C na faixa de -10 °C e +85 °C. O sensor possui resistência à oxidação, o que o torna útil para o monitoramento da temperatura em compostagem úmida. O sensor trabalha com tensão de 3,3 - 5,5 VCC e corrente de 1 mA. Foram utilizados três DS18B20 para monitorar o material da compostagem em três níveis diferentes de profundidade, sendo posicionados ao centro da composteira.

Figura 16: Sensor DS18B20.



Fonte: Oliveira, 2017.

4.3.1.3. Sensores de Umidade do Solo

O sensor medidor de umidade do solo higrômetro CS12 (Figura 17) é um módulo eletrônico que faz uso da variação da capacitância para estimar a umidade do solo. Foi adaptado nesta pesquisa na tentativa de determinar a umidade na massa de compostagem. O sensor possui um revestimento anticorrosivo que permite a medição da umidade sem o contato direto dos elementos metálicos com o solo úmido, podendo ser encontrado facilmente com valores entre R\$5,00 e R\$18,00. O sensor CS12 trabalha com tensão de 5,5 VCC e corrente de 5 mA. Foram utilizados três sensores de umidade para monitorar a massa de compostagem em três níveis diferentes de profundidade, sendo posicionados ao centro da composteira.

Figura 17: Sensor de umidade do solo.



Fonte: Guimarães, 2019.

4.3.1.4. Visualização e Armazenamento de Dados

Os dados medidos são visualizados em uma tela LCD de 16 segmentos com controlador HD44780, que pode ser encontrado facilmente com valores entre R\$3,00 e R\$25,00 (Figura 18). Um display pode apresentar vários tipos de saídas, desde textos, números ou até imagens em movimento. O display LCD é formado por uma fina camada de cristal líquido entre duas placas de vidro, com uma fonte de luz de LEDs por baixo de toda a estrutura. A formação de caracteres e imagens ocorre devido ao fato do cristal líquido se tornar opaco ao

receber uma carga elétrica, impedindo a passagem de luz. O módulo LCD trabalha com tensão de 3,3 - 5,5 VCC e corrente de 2,5 mA.

Figura 18: Display LCD.



Fonte: Autor, 2020.

Todos os dados coletados foram armazenados em um cartão micro SD de 8 gigabytes, que pode ser encontrado com valores entre R\$5,00 e R\$17,00, por meio de um módulo leitor e gravador micro SD (Figura 19a). O módulo SD trabalha com tensão de 3,3 - 5,5 VCC e corrente de 200 mA, e pode ser encontrado com valores entre R\$3,00 e R\$14,00. O módulo leitor de cartão micro SD junto com o ESP 32 permite o desenvolvimento de *data loggers*, que são dispositivos que armazenam dados coletados de sensores e outras informações para análise, monitoramento e construção de gráficos. Para a memorização do horário de cada medida realizada e gravada no cartão micro SD foi utilizado um módulo RTC (do inglês *Real Time Clock*) DS3231 (Figura 19b). O módulo DS3231 fornece informações como segundos, minutos, dia, data, mês e ano, podendo ser encontrado facilmente com valores entre R\$5,00 e R\$22,00. Caso haja falha de energia elétrica o DS3231 aciona uma bateria do tipo CR2032 que acompanha o módulo para evitar perda de dados. O módulo RTC DS3231 trabalha com tensão de 3,3 - 5,5 VCC e corrente de 200 mA.

Figura 19: Módulo de cartão micro SD (a) e módulo RTC DS3231 (b).



Fonte: Oliveira, 2019 (a) e Madeira, 2017 (b).

Todos os dados coletados pelos sensores foram armazenados e expressos em um formato de séries temporais em planilhas armazenadas em cartão micro SD. Com esse tipo de arquivo torna-se fácil a interpretação e visualização do monitoramento, tornando possível um estudo mais aprofundado de todos os processos que dependem da umidade e da temperatura do material em compostagem. Além do armazenamento local em cartão micro SD, os dados foram exibidos em tempo real, por meio de rede WiFi, em Google Sheets na plataforma de armazenamento em nuvem Google Drive, facilitando o monitoramento e a obtenção de dados de forma remota. Para garantir que os dados fossem armazenados de forma contínua, foi instalada uma placa de expansão *Battery Shield V8* (Figura 20), que pode ser encontrada com valores entre R\$17,00 e R\$49,00, com sistema UPS (do inglês *Uninterruptible Power Supply*), onde em caso de falha na transmissão de energia elétrica, a placa *Battery Shield V8* passa a alimentar o equipamento, evitando a perda de dados. A placa *Battery Shield V8* possui duas baterias recarregáveis do tipo 18650 com fornecimento de 6800 mAh e 3,7 V. As baterias 18650 podem ser encontradas com valores entre R\$16,00 e R\$29,00.

Figura 20: Shield Battery V8.

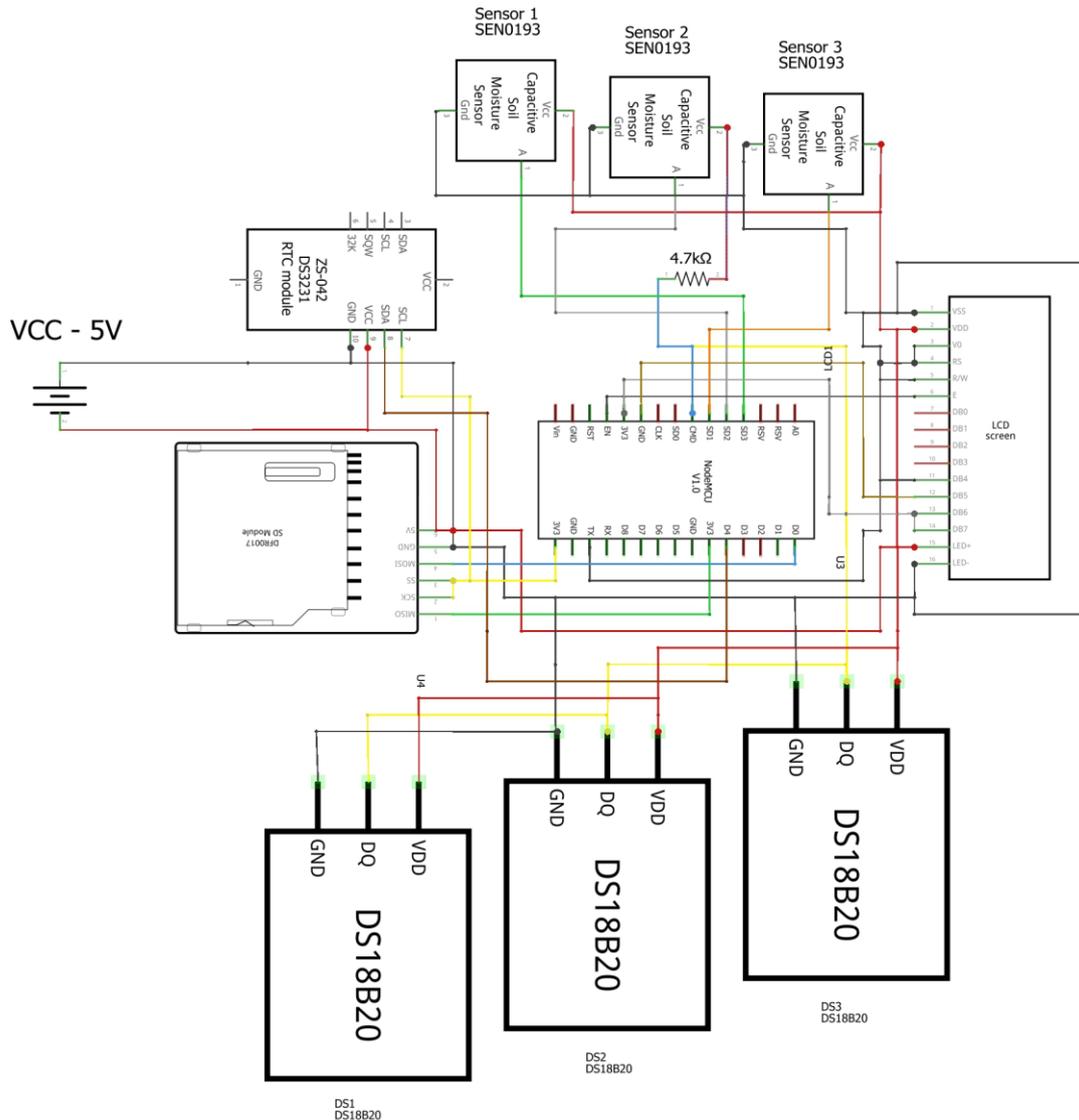


Fonte: Autor, 2020.

4.3.2. Esquema do Equipamento

O equipamento de monitoramento de temperatura e umidade foi desenvolvido para funcionar continuamente a fim de abranger as vinte e quatro horas do dia, com baixo consumo de energia elétrica, com capacidade de monitorar localmente e remotamente. O equipamento funciona com uma fonte externa de 5 V e 2 A que alimenta os sensores de temperatura e umidade, além de fornecer carga para os módulos RTC, *SD Card Reader* e visor LCD. O fornecimento de energia elétrica destinado ao ESP 32 é feito por cabo USB do tipo micro B com tensão de 5 V. Na Figura 21 é possível observar o esquema elétrico do equipamento com maior quantidade de detalhes.

Figura 21: Esquema do equipamento de monitoramento.

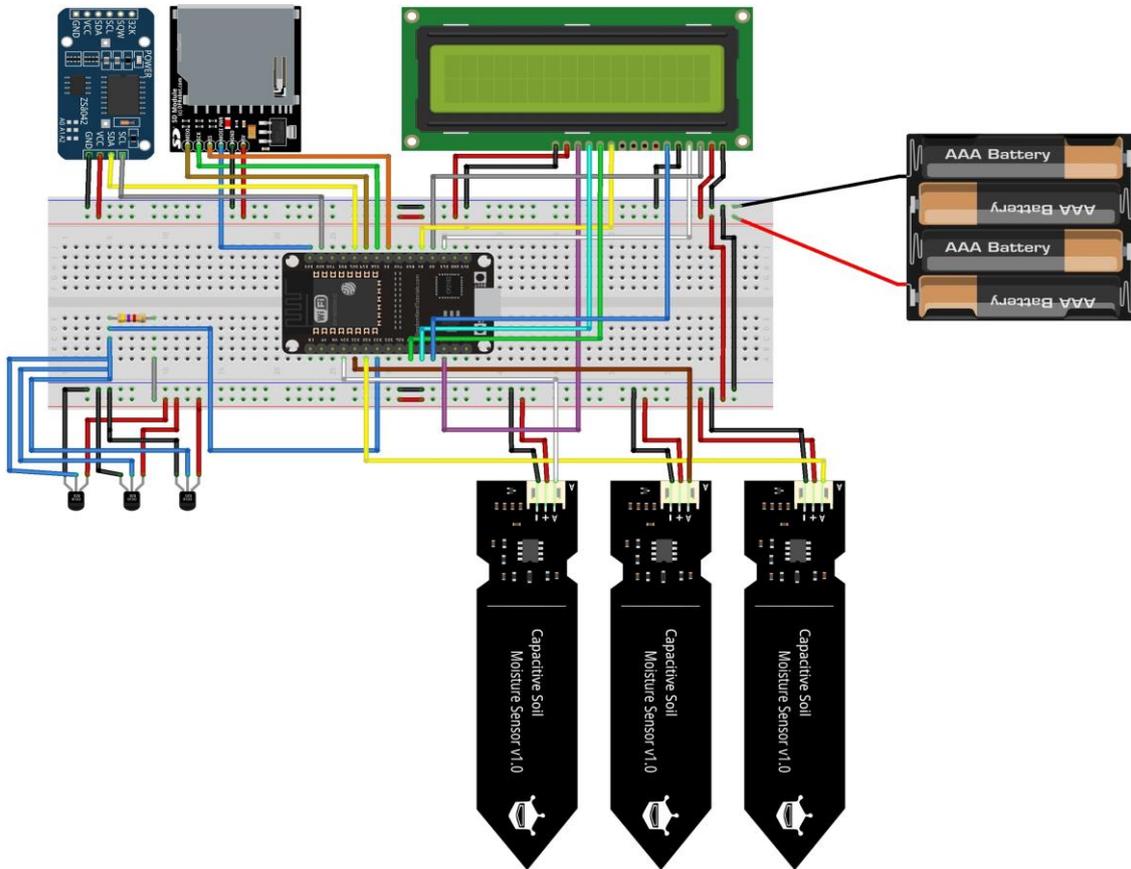


Fonte: Autor, 2020.

Todos os sensores e módulos do equipamento, com exceção dos sensores de umidade que funcionam somente em 5 V, funcionam entre 3,3 e 5 V. No esquema da Figura 21 é possível ver que a montagem foi feita em 5 V, fazendo uso de um resistor de 4,7 ohm para realizar um *pull-up* entre as ligações dos sensores de temperatura DS18B20. O visor LCD não dispõe de um potenciômetro físico para regulagem do contraste da tela, toda a configuração de visualização é feita pelo código de programação inserido no microcontrolador ESP 32. A fonte externa de 5 V e 2 A garante a autonomia do equipamento, de aproximadamente 18 horas, em caso de falta de fornecimento de energia elétrica pela rede distribuidora local. Enquanto o equipamento estiver recebendo carga da rede, as baterias do sistema UPS estarão sendo recarregadas para eventuais interrupções.

A Figura 22 abaixo mostra o esquema de montagem do protótipo do equipamento de monitoramento contínuo.

Figura 22: Esquema de montagem do equipamento.



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 23 abaixo mostra o equipamento de monitoramento contínuo parcialmente montado.

Figura 23: Equipamento parcialmente montado (a) e equipamento em funcionamento (b).



a



b

Fonte: Autor, 2020

4.3.3. Armazenamentos de Dados Remoto e Local

No monitoramento foram realizadas cinco medições por minuto, onde cada dado continha: data, três valores de temperatura e três valores de umidade, conforme a Tabela 3. Os dados puderam ser conferidos pelo visor LCD do próprio equipamento, por planilha online do Google e localmente via cartão micro SD.

Tabela 3: Dados medidos pelo equipamento.

Data e Hora	TempA	TempB	TempC	UmidadeI	UmidadeJ	UmidadeK
16/11/2020 19:36	38,88	38,06	37,50	19,00	19,00	11,00
16/11/2020 19:37	38,88	38,06	37,56	18,00	20,00	7,00
16/11/2020 19:37	38,88	38,06	37,56	19,00	19,00	9,00
16/11/2020 19:37	38,81	38,06	37,56	18,00	18,00	9,00
16/11/2020 19:37	38,81	38,06	37,56	18,00	18,00	9,00
16/11/2020 19:37	38,88	38,06	37,50	18,00	16,00	9,00
16/11/2020 19:38	38,81	38,06	37,56	18,00	18,00	8,00
16/11/2020 19:38	38,81	38,06	37,56	19,00	20,00	10,00
16/11/2020 19:38	38,81	38,00	37,50	17,00	19,00	8,00

Fonte: Autor, 2020.

Os dados foram enviados pelo equipamento, em tempo real, para o Google Drive, via Wi-Fi, armazenando-os em uma planilha online do Google. O equipamento consegue gerar, aproximadamente, um total de 7200 linhas de dados para o Google Sheets. A fim de evitar perda de dados em casos de queda de internet, o equipamento conta com um armazenamento local de dados, realizado em um cartão micro SD de 8 gigabytes. Esse sistema de armazenamento local associado ao dispositivo UPS, mais conhecido como *Nobreak*, promove autonomia e segurança ao monitoramento, pois o equipamento ainda mantém o funcionamento pleno mesmo após perder o acesso à internet e o fornecimento de energia elétrica por, aproximadamente, 18 horas.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

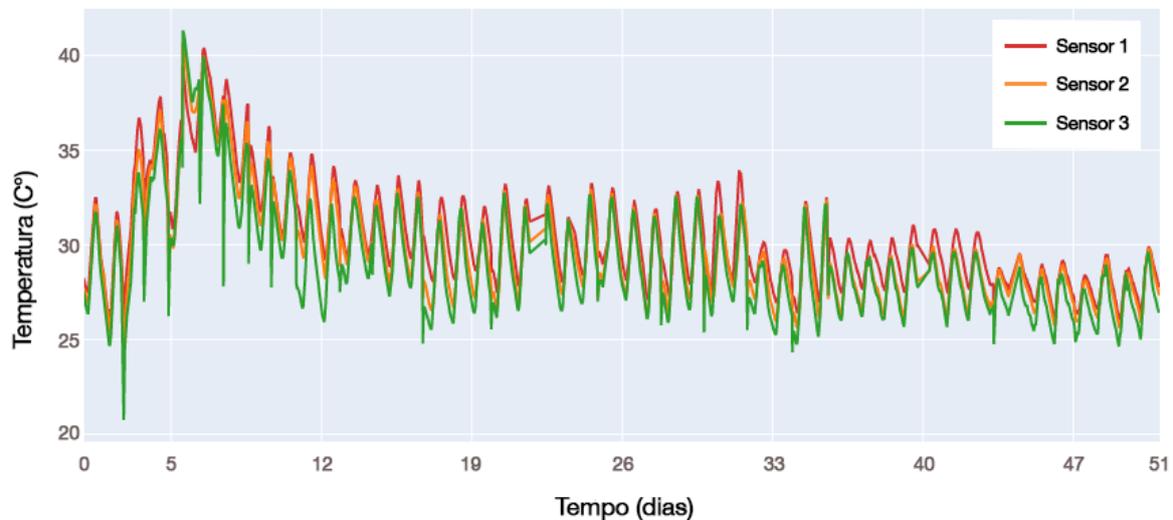
5.1. Monitoramento do Processo de Compostagem

A duração dos processos de degradação da matéria orgânica compreendeu o período de 10 de novembro de 2020 a 31 de dezembro de 2020, totalizando 51 dias de monitoramento. Foram acompanhadas a temperatura, a densidade e a umidade da massa em compostagem e foi feita a quantificação da geração de chorume.

5.1.1. Temperatura

Para acompanhar o processo, a temperatura da massa de compostagem foi monitorada durante todos os dias de forma contínua. Pode-se verificar na Figura 24 o comportamento da temperatura no processo de compostagem durante 51 dias de monitoramento.

Figura 24: Gráfico de temperatura do processo de compostagem.

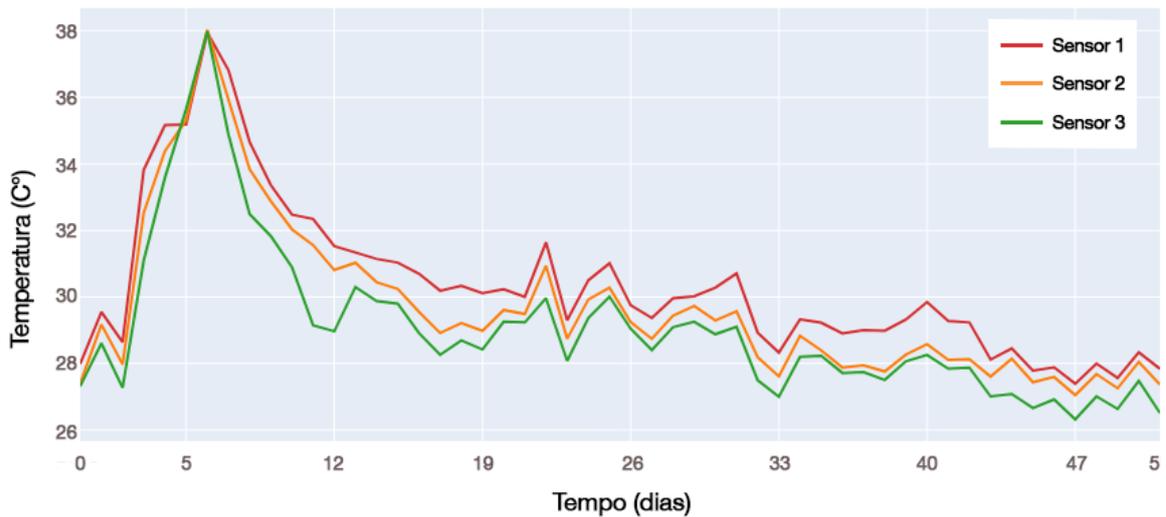


Fonte: Autor, 2021.³

No primeiro dia do processo de compostagem, a composteira apresentou temperatura média de 28 °C. A partir do terceiro dia houve um aumento nas médias diárias de temperaturas da composteira, variando de 28 °C (dia 2) para 38 °C (dia 6). No sexto dia houve o pico de temperatura, atingindo um valor máximo de 41 °C. Após o sexto dia houve um decaimento nos valores de temperatura, atingindo um valor médio mínimo de 27 °C no dia 47 do monitoramento. A média geral da temperatura ao final dos 51 dias para os três sensores foi de 29,8 °C. A Figura 25 mostra os valores médios diários da temperatura no processo de compostagem.

³ < https://drive.google.com/file/d/1LY3FMXrJS_gjLdQgnwKRLuR7svu3fUVD/view?usp=sharing >

Figura 25: Médias diárias de temperatura durante o processo de compostagem.



Fonte: Autor, 2021.⁴

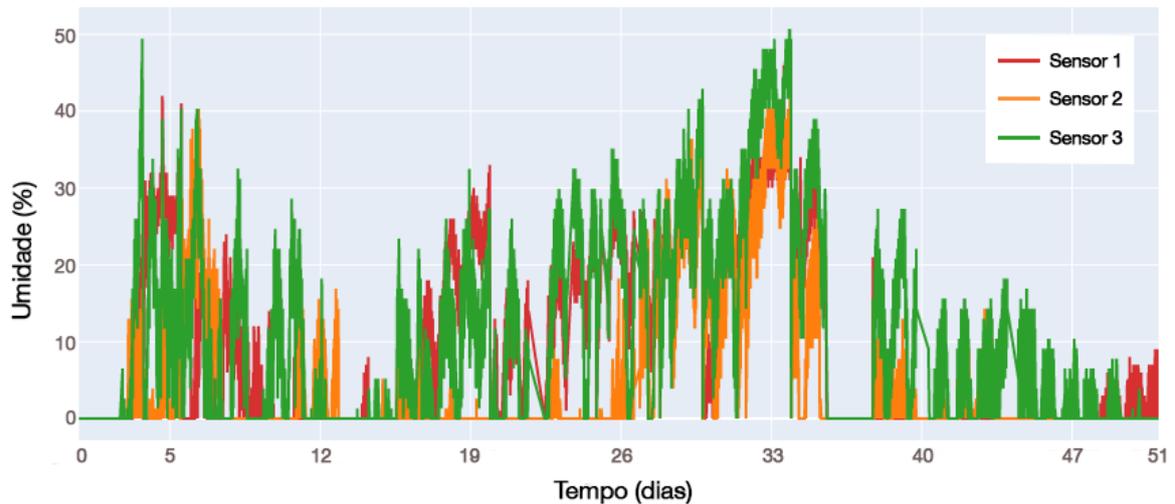
Durante o processo de compostagem não foi possível observar a fase termofílica, ou seja, o desenvolvimento de temperaturas elevadas (45 – 65 °C). Só foram observadas temperaturas na faixa mesofílica (20-45°C), que pode ter ocorrido devido à pequena quantidade de material em compostagem.

5.1.2. Umidade

A umidade média de todo o período de monitoramento do processo de compostagem, nos três sensores, ficou em torno de 30,0%. No período de maior atividade microbiana (dia 3) o valor médio de umidade foi de 49,4%. O período com maior média de umidade se deu entre os dias 30 e 33, atingindo um valor máximo de 50,7 %, sendo o intervalo de 50% a 60% a faixa ideal para interação dos microrganismos (VALENTE et al, 2009). A Figura 26 mostra o comportamento da umidade no processo de compostagem.

⁴ < https://drive.google.com/file/d/1TI3prYxDCI_ADvbPUXr8yt6Fluww_rF_/view?usp=sharing >

Figura 26: Umidade superficial da massa de compostagem ao longo de todo o processo.



Fonte: Autor, 2021.⁵

Pode-se verificar que a umidade média variou na maior parte do tempo em torno de 20% a 40%. Nenhuma quantidade de água foi adicionada para manter ou ajustar a umidade em níveis desejados.

Entre os dias 30 e 33, que foi o período com maiores valores de umidade, houve uma maior ocorrência de larvas e a presença de moscas. Desde o início do trabalho a tampa da composteira tinha uma proliferação de larvas. Ocorreu um visível crescimento na população de moscas na região onde a composteira estava montada. Era possível notar larvas fixadas na tampa e moscas tentando sair pelas perfurações feitas na composteira. Fato que pode ter ocorrido pelo longo tempo em elevados valores de umidade. A Figura 27 mostra a presença de moscas e larvas no processo de compostagem.

Figura 27: Mosca saindo por furo da composteira (a) e larvas de moscas (b).



a



b

Fonte: Autor, 2021.

⁵ < https://drive.google.com/file/d/1TI3prYxDCI_ADvbPUXr8yt6Fluww_rF_/view?usp=sharing >

5.1.3. Composto e Chorume

Durante todo o processo de degradação da matéria orgânica (51 dias) houve geração de 870 ml de chorume.

Durante o monitoramento da compostagem, constatou-se uma produção de chorume mais acentuada até o dia 35, na medida em que a degradação foi se encaminhando para o final do processo, verificou-se a diminuição na geração do material lixiviado.

Ao fim do processo de monitoramento, restou somente 1950 gramas de resíduos dentro da composteira, o que representa 37,3% (massa) de todos os resíduos utilizados no processo de compostagem.

A Figura 28 abaixo mostra a aparência do material lixiviado coletado da composteira.

Figura 28: Chorume produzido.



Fonte: Autor, 2021.

O chorume coletado recebeu uma diluição de 1 litro de água para cada 100 ml de chorume, O composto foi armazenado em galões de 8 litros e poderá utilizado para fertilização de plantas no jardim da residência onde foi feito o processo de compostagem (MORADA DA FLORESTA, 2011).

A Figura 29 abaixo mostra o armazenamento do chorume coletado da composteira.

Figura 29: Chorume diluído e armazenado.

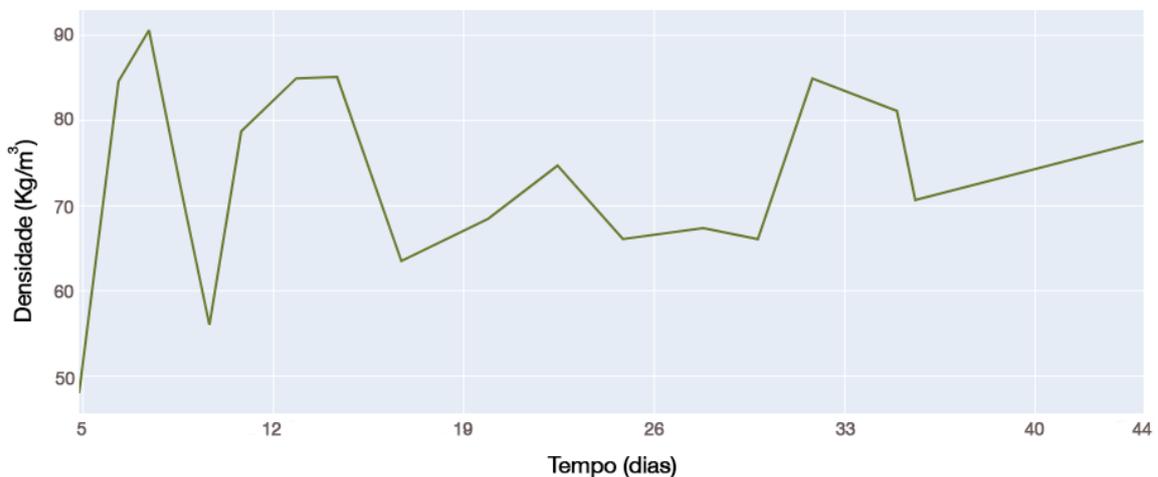


Fonte: Autor, 2021.

Em dias alternados, foram realizados revolvimentos para aumentar e facilitar a oxigenação dentro do material em decomposição. A cada revolvimento eram realizadas medidas de densidade do substrato.

A Figura 30 abaixo mostra o comportamento da densidade do material em decomposição na composteira.

Figura 30: Gráfico de densidade do composto.



Fonte: Autor, 2021.

Nos primeiros quatorze dias do processo de compostagem o material exalava um forte odor cítrico, porém próximo do fim do monitoramento, o odor era inexistente, restando

somente um cheiro de terra molhada. Próximo do fim dos 51 dias de monitoramento não era possível, a olho nu, encontrar resíduos orgânicos no composto, restando somente folhas e bagaços de cana (Figura 31).

Figura 31: Composto após o término do monitoramento.



Fonte: Autor, 2021.

5.1.4. Equipamento

5.1.4.1. Desempenho dos Sensores

Ao observar os dados registrados pelos três sensores de temperatura acoplados na composteira, foi possível perceber que os maiores valores de temperaturas registrados foram captados pelo sensor 1, o qual foi posicionado no fundo da composteira tendo grandes quantidades de material em compostagem e maior atividade microbiana exotérmica sobre o mesmo. O sensor 2 captou temperaturas mais intermediárias por ter menor quantidade de substrato sobre o sensor, facilitando trocas térmicas. O sensor 3 registrava temperaturas mais próximas da temperatura ambiente, pelo fato de existir pouco material sobre o mesmo e maior contato com o meio externo, pois parte do sensor estava em contato com a tampa da composteira.

Entre os dias 5 e 6 de monitoramento, foi usado um termômetro comercial para medir a temperatura no centro da composteira e foi observado um erro de posicionamento dos sensores de temperatura, devido ao fato deste termômetro medir temperaturas maiores que os valores medidos pelos sensores, indicando que ao posicionar os sensores ao centro da composteira, maiores temperaturas seriam registradas. A diferença de valores na medição era de 2 °C. Este, em conjunto com outros fatores mencionados anteriormente, podem ter contribuído para o não monitoramento da fase termofílica. O posicionamento dos sensores de temperatura e de umidade foi corrigido após o sétimo dia de monitoramento.

Os sensores de umidade que foram adquiridos para o monitoramento do processo de compostagem apresentaram algumas irregularidades nas medições, em razão de possuírem uma especificação para uso no solo. Como o composto em processo de maturação ainda não possuía as características de solo (homogeneidade), muitas medidas com valores nulos foram registradas, porém, ainda foi possível acompanhar o desenvolvimento da umidade na composteira e captar os valores máximos, e, ao fim, relacioná-los com aparecimentos de vetores próximos ao local onde a composteira foi posicionada, além de evitar uma eventual anaerobiose causada pelo excesso de umidade. Entretanto, as medidas imprecisas não foram adequadas para substituir a determinação de umidade pelo método amplamente usado nos trabalhos, a secagem em estufa a 65 °C (VICH et al., 2017). Os valores obtidos pelos sensores provavelmente foram subestimados, por não considerarem a umidade ainda presente no interior dos resíduos, e não somente na superfície.

5.1.4.2. Principais Limitações Observadas no Equipamento de Monitoramento

Durante o monitoramento remoto da composteira foi possível observar as principais fragilidades do equipamento com relação ao seu funcionamento. Durante os revolvimentos foi necessário o desligamento completo do equipamento para não ocorrer a obtenção de dados incorretos (medidas nulas). Durante perdas de conectividade com a internet, a reconexão era impossibilitada pela falta de funções específicas no código de programação do equipamento.

Uma melhor interação com o usuário facilitaria a interrupção do equipamento para quaisquer ajustes necessários durante o monitoramento do processo de compostagem, como pausas para eventuais revolvimentos ou manutenção do mesmo, além de garantir a integridade do banco de dados durante essas atividades por não coletar informações incorretas. A interação com o usuário poderia ser melhorada com o uso de um *Display Touch Screen* e desenvolvimento de funções mais robustas, otimizadas e automáticas no código de programação do equipamento.

Uma melhoria importante seria a implementação de um sistema de *Watch Dog*, que funcionaria como uma espécie de segurança para garantir o funcionamento pleno do equipamento, de forma a verificar constantemente o desempenho, a conectividade com a internet e o comportamento do monitoramento realizado. A função *Watch Dog* é muito utilizada em sistemas que necessitam de funcionamento ininterrupto. Dessa forma, quaisquer tipos de interrupções seriam revertidos e seria garantido o perfeito funcionamento do monitoramento contínuo e remoto.

Com relação aos sensores, seriam adotados módulos que permitissem a verificação da temperatura e da umidade ambientes, proporcionando análises mais precisas acerca do comportamento da compostagem e permitindo acompanhamento mais criterioso do processo.

5.1.4.3. Internet das Coisas e Monitoramento

A Internet das Coisas associada ao monitoramento da compostagem proporcionou uma grande quantidade de informações acerca do experimento realizado, além de propiciar ideias e melhorias para o equipamento utilizado neste trabalho. A capacidade de dispensar a presença do pesquisador durante o monitoramento pode promover maior abrangência nos parâmetros estudados em experimentos futuros.

5.1.4.4. Custo e Viabilidade

Todos os componentes utilizados para a confecção do equipamento são facilmente encontrados no mercado. Os valores podem variar de acordo com a localização do comerciante revendedor. Para a confecção da composteira foram utilizados dois recipientes plásticos com custo de R\$20,00 cada. Os custos apresentados na Tabela 5 não incluem os gastos com fios condutores, parafusos e caixa para armazenar projetos eletrônicos.

A Tabela 5 abaixo mostra os valores dos componentes utilizados para confeccionar o equipamento de monitoramento.

Tabela 4: Custos do equipamento.

CUSTOS DO EQUIPAMENTO			
Componente	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Bateria	2	R\$ 16,00	R\$ 32,00
Cartão SD	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
CS12	3	R\$ 5,00	R\$ 15,00
Display	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
DS18B20	3	R\$ 5,00	R\$ 15,00
Módulo RTC	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Módulo SD	1	R\$ 3,00	R\$ 3,00
Placa ESP32	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
Shield V8	1	R\$ 20,00	R\$ 20,00
PREÇO DO EQUIPAMENTO			R\$ 118,00

Fonte: Autor, 2020.

Um equipamento muito utilizado para monitorar temperatura e umidade em jardinagem custa, aproximadamente, R\$100,00 (Figura 32). Esse equipamento é utilizado em

monitoramento manual, com a necessidade de um usuário para realizar as aferições das informações.

Figura 32: Equipamento medidor de umidade e temperatura.



Fonte: AMAZON, 2021.

O equipamento utilizado neste trabalho possui um valor semelhante ao medidor da Figura 32, porém dispensa a presença do usuário, além de armazenar os dados obtidos de forma automática e uma grande quantidade de informações, com maior precisão. É possível construir protótipos funcionais que desempenham funções automáticas com um custo semelhante a equipamentos menos práticos do mercado.

Equipamentos que desempenham a função de *Data Loggers* custam valores superiores a R\$1000,00 para cada parâmetro monitorado. O equipamento utilizado neste trabalho fez uso da internet para armazenar todos os dados obtidos e não possui limite de parâmetros monitorados simultaneamente.

A Figura 33 abaixo mostra um equipamento *Datalogger* de monitoramento de temperatura com valor comercial de R\$1400,00

Figura 33: Datalogger de temperatura.



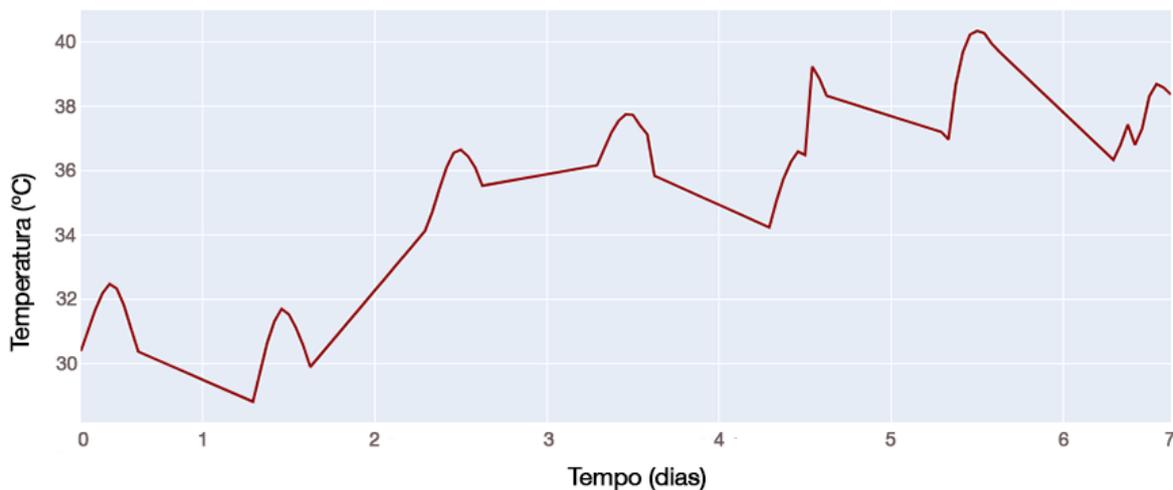
Fonte: Tecnoferramentas, 2021.

Equipamentos comerciais utilizados em monitoramento contínuo possuem alto custo, desempenham poucas funções simultâneas, dispõem de pouca interação com o usuário e não possuem a capacidade de se adaptarem ao sistema em que serão utilizados, pois realizam funções simples e específicas.

5.1.4.5. Registro de dados do Monitoramento

O monitoramento contínuo promove uma melhor visualização dos processos envolvidos na compostagem, pois abrange todos os momentos do dia sem desperdiçar informações. Como a temperatura é um dos fatores mais importantes no processo de compostagem, é interessante obter um maior detalhamento dos processos ocorridos por meio de monitoramento mais robusto. Na Figura 34 está um gráfico que simula um monitoramento de temperatura de uma composteira, com dados reais, que ocorre de 7:00 as 15:00 horas, com uma coleta de informações por hora, durante uma semana.

Figura 34: Gráfico de monitoramento horário comum.

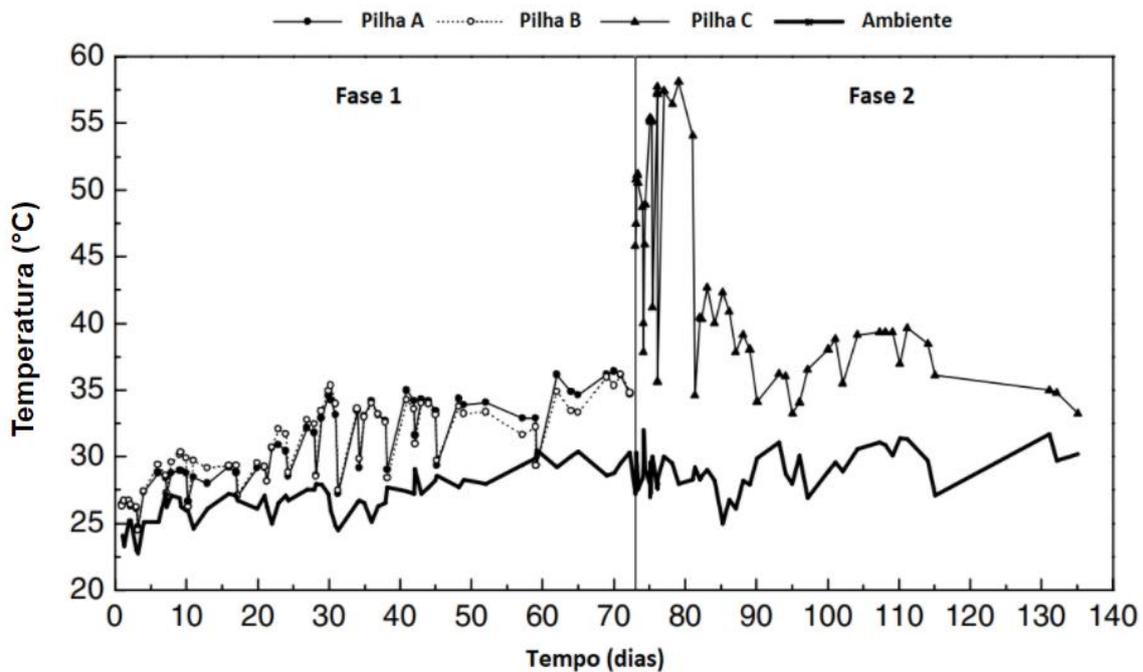


Fonte: Autor, 2020.⁶

É possível notar, na Figura 34, que há ocorrência de saltos entre pontos do gráfico que podem representar a ausência de dados, principalmente por não contemplar o horário noturno no monitoramento. No gráfico da Figura 35 tem-se um gráfico de temperatura, de experimentos com compostagem, com escala temporal de aproximadamente 140 dias. Este gráfico, assim como o da Figura 34, possui diversos saltos entre os valores de temperatura.

⁶ < <https://drive.google.com/file/d/1kzee2OBh4C7UeiVbkb7ewp7VEauC0fYS/view?usp=sharing> >

Figura 35: Gráfico de Temperatura.

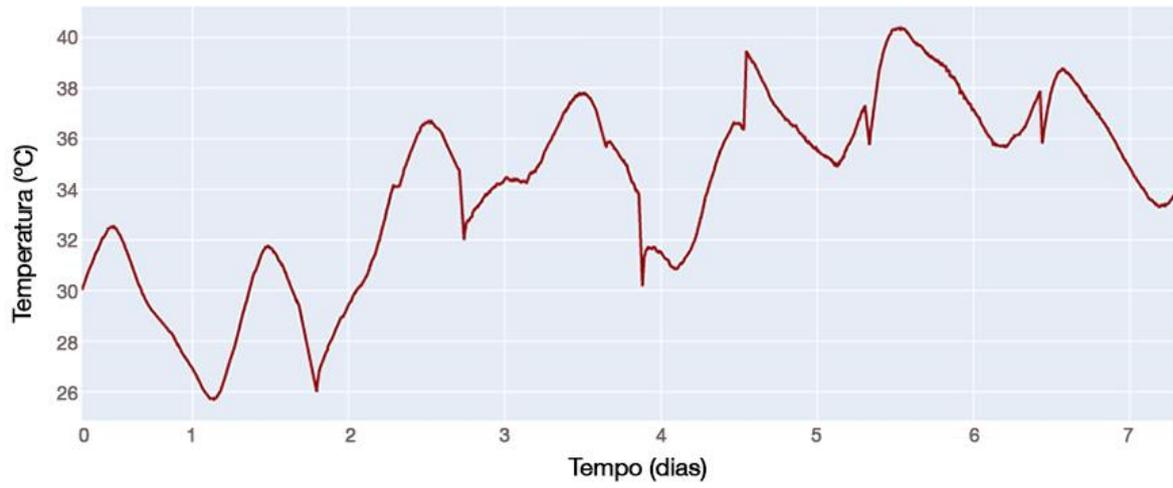


Fonte: Adaptado de LIMA *et al.*, 2018.

Fato que não ocorre no gráfico da Figura 36, que representa a distribuição de uma quantidade maior de dados feita pelo equipamento de monitoramento contínuo. No gráfico da Figura 36 estão representados, aproximadamente, 1440 dados diários reais de temperatura, da composteira, no decorrer de uma semana.

A distribuição de dados do monitoramento contínuo possui uma quantidade menor de saltos, pois contempla todos os horários do dia com grande disponibilidade de dados, gerando um gráfico com maior quantidade de informações precisas. Dessa forma é possível identificar quaisquer alterações que possam ocorrer em períodos que, normalmente, não seriam observados pelo pesquisador, proporcionando uma abordagem mais ampla do experimento que está sendo monitorado continuamente.

Figura 36: Gráfico de monitoramento contínuo.



Fonte: Autor, 2020.⁷

⁷ < https://drive.google.com/file/d/1rnRVy87xuWTymxohoV_z3dvz3wNqh_xb/view?usp=sharing >

6. CONCLUSÕES

O aproveitamento de resíduos orgânicos domésticos na forma de composto resulta em maior sustentabilidade ambiental. No processo de compostagem deste trabalho foi possível reduzir 62,7% (massa) de todos os resíduos utilizados. A compostagem propicia a reciclagem de nutrientes e reduz os impactos ambientais causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos.

A compostagem doméstica é útil para reciclar parte dos resíduos orgânicos gerados no preparo de alimentos. As composteiras podem ser confeccionadas com baixo custo e de forma simples, utilizando recipientes comerciais comuns em residências ou de materiais recicláveis.

As reações de degradação da matéria orgânica (exotérmicas) condicionaram as variações de temperatura da compostagem. Somente após o dia 30 do monitoramento a temperatura da composteira acompanhou as condições de temperatura do ambiente.

Houve a geração de 870 ml quantidade de chorume que se deu devido ao elevado índice de umidade na composteira. Grande parte da água da composteira está contida nos resíduos de alimentos e não poderia ser contabilizada pelos sensores.

Durante o processo de degradação da matéria orgânica foi verificada a presença de vetores (moscas) e odores. A degradação dos resíduos de cozinha, visualmente, foi completa, restando somente bagaço de cana e resíduos folhosos.

O equipamento de monitoramento remoto e contínuo se comportou como o esperado, apresentando pequenas falhas que podem ser facilmente ajustadas. Com o experimento foi possível identificar potencialidades e fragilidades do protótipo funcional, o que ajudará na realização de melhorias do mesmo para uso em trabalhos futuros. Possui um baixo custo quando comparado a equipamentos eletrônicos comerciais.

Os equipamentos que fazem uso da Internet das Coisas possuem baixo custo e grande aplicabilidade. Em diversos tipos de experimentos de Engenharia Ambiental é possível fazer uso de protótipos funcionais que auxiliem na mensuração, na realização de ações e no monitoramento de parâmetros.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Classificação de Resíduos Sólidos**: NBR 10.004:2004. 2a Edição. Rio de Janeiro/RJ, 2004.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. São Paulo, SP. 2019.

ADENIRAN, A. E. et al. **Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a sustainable waste management**. Waste Management, v. 67, p. 3-10, setembro 2017.

AHMED, T. et al. **A Real-Time Controlled Closed Loop IoT Based Home Surveillance System for Android using Firebase**. International Conference on Control, Automation and Robotics, v. 6, p. 601-606, 2020.

AMAZON, 2021. **Medidor de Solo Analógico**. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Medidor-Solo-Anal%C3%B3gico-Umidade-Temperatura/dp/B07ZZFXZM9/ref=asc_df_B07ZZFXZM9/?tag=googleshopp00-20&linkCode=df0&hvadid=379727802853&hvpos=&hvnetw=g&hvrnd=12709052319080875851&hvpone=&hvptwo=&hvqmt=&hvdev=c&hvdvcmdl=&hvlocint=&hvlocphy=1001506&hvtargid=pla-847496845174&psc=1> Acesso em jan. 2021.

ARRIGONI, J. et al. **Inside the small-scale composting of kitchen and garden wastes: Thermal performance and stratification effect in vertical compost bins**. Waste Management, v. 76, p. 284-293, 2018.

AWASTHI, M. K. et al. **Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting**. Bioresource Technology, v. 168, p. 214-221, setembro 2014.

BARROS, R. T. V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura Editora, 2012.

BERTOLDI, M. et al. **The Biology of Composting: A review**. Waste Management & Research, p. 157-176, junho 1983.

BIDONE, F.R.A. 2001. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Rio de Janeiro. Brasil.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em nov. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduo Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 148, p. 3-7, 03 de agosto de 2010.

CASARO, A. et al. **The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste**. Journal of Environmental Management, v. 232, p. 264-270, fevereiro 2019.

CHEN, Z. et al. **Effect of aeration rate on composting of penicillin mycelial dreg**. Journal of Environmental Sciences, v. 37, p. 172-178, dezembro de 2015.

DIAZ, M.J. et al. **Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process**. Process Biochem, v. 37, p. 1143– 1150, 2007.

- ECOICHEM. **Composting process**. 2004. Disponível em: <http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html. Acesso em: 2/7/2004>. Acesso em: 26 de jan. de 2021.
- FAO. **The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050**. Roma, p. Licença: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 2018.
- GUIMARÃES, F. **Sensor de umidade capacitivo para solo**. Mundo Projetado, 23 de jan de 2019. Disponível em: <<http://mundoprojetado.com.br/sensor-de-umidade-capacitivo-para-solo/>>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.
- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Relatório de Pesquisa. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. 2012.
- JACOBI, P.; BESEN, G.R. **Gestão de resíduos sólidos na Região Metropolitana de São Paulo: avanços e desafios**. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 2, p. 90-104, abr./jun. 2006.
- KAZA, S. et al. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. The World Bank. Washington, DC. 2018.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Editora Agronômica Ceres Ltda, Piracicaba, 492 , 1985.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4. ed. Piracicaba: E. J. KIEL. 173 p, 2004.
- KOIVULA, N. et al. **Windrow composting of source separated kitchen biowastes in Finland**. Waste Management and Research, v. 18, p. 160-173, novembro 2000.
- LEITE, D.F.M. **Avaliação do uso e operação da composteira caseira que utiliza vermicompostagem**. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.
- LIMA, B. C. et al. **Composting as an Alternative for Final Disposal of Digested Sludge from UASB Reactors: A Case Study in the Small Municipalities of the State of Bahia, Brazil**. Waste and Biomass Valorization, v. 9, p. 2275-2283, 2018.
- MADEIRA, D. **RTC DS3231 - Registrando data e hora com arduino**. Vida de Silício, 28 de ago de 2017. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/real-time-clock-rtc-ds3231/>>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.
- MATOS, A.T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. v. 1. 241p.
- MODESTO FILHO, P. **Reciclagem da matéria orgânica através da vermicompostagem**. Cap. 5. In: Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro: ABES, 1999.65p.
- MORADA DA FLORESTA. **Como utilizo o chorume das Composteiras Domésticas da Morada da Floresta**. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?reload=9&v=j1bj0P3lkaU/>>. Acesso em: 19 de fev. de 2021.
- NEUGEBAEUR, M.; SOLOWIEJ, P. **The use of green waste to overcome the difficulty in small-scale composting of organic household waste**. Journal of Cleaner Production, v. 156, p. 865-875, 2017.

NIMMAKA, B.; PRAKASAO, A. **Implementation Of Indoor Pollution Monitoring Using MQTT Protocol**. International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies, v. 2, p. 1316-1319, 2018.

OLIVEIRA, E. **Como usar com Arduino – Sensor de Temperatura DS18B20 Prova D'água do Tipo Sonda**. Master Walker, 2017. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-temperatura-ds18b20-prova-dagua-do-tipo-sonda/>>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.

OLIVEIRA, E. **Como usar com Arduino – Módulo Leitor de Micro SD Card**. Master Walker, 2019. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-modulo-leitor-de-micro-sd-card/>>. Acesso em: 16 de nov. de 2020.

OLIVEIRA, E.C.A. et al. **Compostagem**. Programa de Pós- Graduação em Solos e Nutrição de plantas. São Paulo, USP, 2008.

ONU. **World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York. 2019.

PEREIRA NETO, J.T. **On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Approach**. University of Leeds, Inglaterra. 1987. p. 839-845.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. UFV. Viçosa. 81p. 2007.

PEREIRA, R. et al. **IoT Network and Sensor Signal Conditioning for Meteorological Data and Photovoltaic Module Temperature Monitoring**. IEEE Latin America Transactions, v. 17, p. 937-944, 2019.

RAMANATHAN, S. et al. **A survey on time-sensitive resource allocation in the cloud continuum**. IT - Information Technology, v. 62, p. 241-255, dezembro de 2021.

RYNK, R. et al. **On-Farm Composting Handbook**. Ithaca: Plant and Life Sciences Publishing (PALS), 1992.

SÁNCHEZ, O. J. et al. **Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process**. Waste Management, v. 69, p. 136-153, novembro 2017.

SARAGIH, Y. et al. **Design of Automatic Water Flood Control and Monitoring Systems in Reservoirs Based on Internet of Things (IoT)**. MECnIT 2020 - International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology, p. 30-35, 2020.

SILVA, L.N. **Processos de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos agroindustriais**. 2007. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Recursos Hídricos e Meio Ambiente) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SUNDBERG, C. et al. **Low pH as inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting**. Bioresource Technol., v. 95, p. 145-150, 2004.

TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. In: HAMMES, V.S. (Org.) **Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.5, p.120-123. 2002.

VALENTE, B. S. et al. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos**. Arquivos de zootecnia, v. 58, p. 59-85, 2009.

VICH, D. V.; QUEIROZ, L. M. ; SANTOS, T. R. ; ZANTA, V. M. . **Compostagem de resíduos de alimentos em pequena escala utilizando diferentes materiais estruturantes**. In: Viviana Maria Zanta; Raphael Tobias de Vasconcelos Barros; Ronaldo Stefanutti; Luciana Paulo Gomes; Aurélio Pessôa Picanço. (Org.). **GESTÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS BIODEGRADÁVEIS** 1ed.São Leopoldo/RS: Casa Leiria, v. 1, p. 38-48, 2017.

WANGEN, D. **Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos**. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 2, p. 81-88, 2010.

WILSON, D.C. **Development drivers for waste management**. **Waste Management & Research**, v. 25, n. 3, p. 198-207, 2007.

WORRELL, W. & VESILIND, P. **Solid waste engineering**. 2. ed. Stamford: Cengage Learning. 432 p, 2001.

WORTMANN, F.; FLÜCHTER, K. **Internet of Things: Technology and Value Added**. CATCHWORD, 2015.

XIA, F. et al. **Internet of Things**. International Journal Of Communication Systems. p. 1101-1102, 2012.

ZHAO, X. et al. **Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting**. Journal of Integrative Agriculture, p. 232–240, janeiro 2016.

ZHANG, X, et al. **A hybrid service selection optimization algorithm in internet of things**. Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking, p, 232–240, 2021.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. **Specification for sold waste compost**. In: **The biocycle guide to the art & science of composting**. J.G. Press. Emmaus. p. 200-205, 1991.