

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

JÉSSICA MEDALHA FERRI

MONITORAMENTO DE COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA DE LEIRAS COM  
AERAÇÃO PASSIVA

Joinville  
2022

JÉSSICA MEDALHA FERRI

MONITORAMENTO DE COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA DE LEIRAS COM  
AERAÇÃO PASSIVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica no curso de Engenharia Mecatrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Benjamin Grando Moreira

Joinville  
2022

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Benjamin Grando Moreira, pessoa fundamental para a realização deste trabalho e que esteve presente e ativo em todas as etapas dele. E a todos os trabalhadores da UFSC, pois são os responsáveis pela existência e funcionamento de toda a universidade.

À PRAE pela bolsa estudantil e todos os benefícios que recebi, que garantiram minha permanência na universidade. E um agradecimento especial à assistente estudantil Michele Souza, uma mulher forte e inspiradora, que convive diariamente com a dura realidade do público mais vulnerável da universidade e que faz parte daqueles que lutam por uma universidade e uma realidade mais justa e igualitária.

À minha mãe, Dalva Maria Dell Agnolo Medalha, e ao meu pai, Arnaldo Ferri, por todo o apoio afetivo, financeiro, pelos conselhos e cuidados que me deram segurança, persistência e força durante minha experiência acadêmica.

À minha irmã Lara Medalha e aos meus amigos Barbara Pizi, Beatriz Campos, Gabriel Pain e Lucas Pierini, que, apesar da longo distância que nos separam, sempre me deram força, coragem e uma amizade fácil e sincera, fundamentais durante todo esse tempo.

Ao Vitor Joenk, Ciro Frisk, Patricia Leonila, Sandovan Vivan e Vinícius de Moraes, amigos da militância, que me inspiram e que lutam por uma outra realidade.

Ao Acir Marconato e ao meu falecido amigo Danilo Silva, amizade onde encontrei companheirismo, solidariedade e me encaixei no curso.

À Giciane Schwertner, Erikson Portugal e Maurício Ariam, pessoas fortes e corajosas, que vivem na pele a dura realidade dos que não tiveram muitos privilégios na vida.

Os enfoques que percebem o problema da sustentabilidade somente como um desafio tecnológico da produção não conseguem chegar às razões fundamentais da não-sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Novos agroecossistemas sustentáveis não podem ser implementados sem uma mudança nos determinantes socioeconômicos que governam o que é produzido, como é produzido e para quem é produzido (ALTIERI, 1998, p.21).

## RESUMO

Entre as atividades agrícolas realizadas em espaços urbanos, as hortas comunitárias voltadas à produção de orgânicos é um dos formatos em que a comunidade se organiza para reivindicar o uso do solo urbano - muitas vezes de terrenos abandonados - para produzir alimentos livres de insumos químicos, desenvolver atividades recreativas e promover a sociabilidade. A horta comunitária Girassol, localizada no bairro Iririu, no município de Joinville, em Santa Catarina, é um terreno público, ocupado pela população e destinado à produção de alimentos. Como a produção é voltada para a agricultura orgânica, a comunidade utiliza adubos orgânicos, recebidos por meio de doações de agricultores da região, para manter as características nutricionais do solo. Para lidar com a problemática, o desenvolvimento de uma composteira é uma alternativa de baixo custo, pouca mão de obra e de fácil implementação. A compostagem é um processo controlado da degradação da matéria orgânica e que gera um produto final chamado de matéria húmica, utilizado como adubo na produção agrícola. Existem diversos métodos de compostagem, entre eles a compostagem termofílica de leiras com aeração passiva, que utiliza de resíduos sólidos urbanos como material a ser degradado e foca na atividade microbiana termofílica para acelerar o processo de compostagem. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema para o monitoramento de dois fatores mais influentes do método de compostagem: umidade e temperatura. Para tanto, um experimento para a seleção de sensores foi desenvolvido, ele consistiu na utilização de um vaso com terra preta e um tubo de plástico, que permite acesso às propriedades do centro do recipiente; um circuito contendo os sensores e placas microcontroladores; e um sistema de envio e armazenamento de dados na plataforma Firebase. Como resultados, o Sensor de Umidade do Solo Higrômetro e o DHT22 foram os selecionados e algumas considerações sobre o diâmetro do tubo para evitar acúmulo de umidade dentro do tubo e para facilitar o manuseio dos dispositivos foram feitas.

**Palavras-chave:** Hortas comunitárias. Resíduos sólidos urbanos. Compostagem. Monitoramento.

## ABSTRACT

Among the agricultural activities carried out in urban spaces, community gardens aimed at the production of organic products is one of the formats in which the community organizes itself to claim the use of urban land - often abandoned land - to produce food free of chemical inputs, develop recreational activities and promote sociability. The Girassol community garden, located in the Iririu neighborhood, in the municipality of Joinville, in Santa Catarina, is public land, occupied by the population and intended for food production. As production is oriented towards organic agriculture, the community uses organic fertilizers, received through donations from producers in the region, to maintain the nutritional characteristics of the soil. To deal with the problems, the development of a compost bin is a low-cost, low-labor and easy-to-implement alternative. Composting is a controlled process of degradation of organic matter that generates a final product called humic matter, used as fertilizer in agricultural production. There are several composting methods, including thermophilic windrow composting with passive aeration, which uses municipal solid waste as material to be degraded and focuses on thermophilic microbial activity to accelerate the composting process. This work aims to develop a system for monitoring the two most influential factors of the composting method: humidity and temperature. For that, an experiment for the selection of sensors was developed, it consisted of using a vase with black soil and a plastic tube, which allows access to the properties of the center of the container; a circuit containing the sensors and microcontroller boards; and a system for sending and storing data on the Firebase platform. As a result, the Hygrometer Soil Moisture Sensor and the DHT22 were selected and some considerations about the tube diameter to avoid the accumulation of moisture inside the tube and to facilitate the passage of the devices were made.

**Keywords:**Community gardens. Urban solid waste. Composting. Monitoring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composto orgânico . . . . .	19
Figura 2 – Formação de substâncias húmicas durante a compostagem . . . . .	22
Figura 3 – Relação C/N durante a compostagem . . . . .	22
Figura 4 – Variação da temperatura em relação ao tempo e as fases da compostagem . . . . .	25
Figura 5 – Relação entre a temperatura e a taxa de consumo de oxigênio . . . . .	26
Figura 6 – pH e temperatura durante o processo de compostagem. . . . .	27
Figura 7 – Convecção natural em leiras de aeração passiva. . . . .	29
Figura 8 – Leiras estáticas com aeração passiva. . . . .	30
Figura 9 – Sensor DHT22. . . . .	31
Figura 10 – Sensor HD-38. . . . .	32
Figura 11 – Sensor de Umidade do Solo Higrômetro. . . . .	33
Figura 12 – Sensor DS18B20 tipo sonda. . . . .	33
Figura 13 – Sensores utilizados. . . . .	35
Figura 14 – Vaso com terra úmida. . . . .	35
Figura 15 – Circuito. . . . .	36
Figura 16 – Resultado dos testes com os sensores de umidade. . . . .	37
Figura 17 – Resultado dos testes com os sensores de temperatura. . . . .	38
Figura 18 – Distribuição dos tubos na leira. . . . .	39
Figura 19 – Tubo, régua e sensores. . . . .	40
Figura 20 – Circuito final . . . . .	41
Figura 21 – Diagrama de estados. . . . .	41
Figura 22 – Rede de comunicação. . . . .	42
Figura 23 – Plataforma web. . . . .	42
Figura 24 – Registro de umidade. . . . .	44
Figura 25 – Registro de umidade. . . . .	44

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Biodegradação e minieralização . . . . .	21
Quadro 2 – Sensores utilizados. . . . .	33
Quadro 3 – Materiais. . . . .	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições sugeridas para uma rápida compostagem . . . . .	25
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABRELPE	Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
AU	Agricultura Urbana
<i>C</i>	Graus Celsius
$CO_2$	Dióxido de carbono
C/N	Carbono/Nitrogênio
DNA	Ácido desoxirribonucleico
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
$O_2$	Oxigênio
pH	Potencial de Oxi-redução
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RNA	Ácido ribonucleico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
1.1	Objetivo	14
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	Agricultura urbana, hortas comunitárias, agroecologia e direito à cidade	15
2.2	Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: benefícios e conceitos básicos	17
<b>2.2.1</b>	<b>Processo de compostagem</b>	<b>19</b>
2.2.1.1	Transformações bioquímicas	21
2.2.1.2	Dinâmica microbiana	23
2.2.1.3	Fatores ecológicos: Temperatura, Umidade, Oxigênio, pH e relação carbono/nitrogênio	24
2.3	Sistema de Compostagem	28
<b>2.3.1</b>	<b>Compostagem de leiras estáticas com aeração passiva</b>	<b>28</b>
2.4	Instrumentos para o monitoramento de umidade e temperatura	31
<b>2.4.1</b>	<b>Sensores de umidade</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Sensores de temperatura</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO</b>	<b>34</b>
3.1	Experimento de seleção de sensores	34
3.2	Projeto	38
<b>3.2.1</b>	<b>Sistema de Monitoramento</b>	<b>40</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DE DADOS</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>47</b>
	<b>APÊNDICE A</b>	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE B</b>	<b>53</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Parte significativa das tecnologias e dos modos de produção da atividade agrícola, sobretudo no Brasil, tiveram origem em um processo de modernização da agricultura ocorrido no século XX, intitulado Revolução Verde (MOREIRA, 2001).

As concepções da Revolução Verde partem de um contexto de Guerra Fria em que acreditava-se que as principais causas da fome e instabilidade política, no Terceiro Mundo, eram consequências do rápido crescimento populacional associado a uma distribuição de alimentos inadequada (DUTRA; SOUZA, 2018). Em função dessa concepção, a estratégia para lidar com a deficiência de alimentos foi a aplicação intensiva de insumos químicos, desenvolvimento de variedades geneticamente modificadas de alto rendimento e motomecanização na produção agrícola (MOREIRA, 2001).

Na segunda metade do século XX, o Brasil iniciou a implementação dessas atividades e, marcadamente nos anos 1960 e 1970, políticas públicas estimularam e deram subsídio de créditos à agricultura convencional e as empresas de maquinários e de insumos industriais para uso agrícola (MOREIRA, 2001). Hoje vive-se as consequências das implementações oriundas da Revolução Verde, que demonstraram o fracasso do paradigma dominante de desenvolvimento. Parte dos problemas relacionados à crise agrícola-ecológica da atualidade respinga nestas consequências (ALTIERI, 1998).

A Revolução Verde contribuiu para difundir problemas ambientais como a erosão dos solos, perda de biodiversidade, desertificação e poluição por agrotóxicos (REDCLIFT; GOODMAN, 1991) além de não resolver o problema da fome e desnutrição (MOREIRA, 2001), assim como não foi capaz de incluir os mais pobres como beneficiários dessas atividades. Pelo contrário, contribuiu para a concentração da propriedade da terra, criou um sistema dependente de insumos agrícolas produzidos por corporações mundiais e deixou os pequenos agricultores à margem do acesso às inovações tecnológicas oriundas da Revolução Verde (ALTIERI, 1998).

Os resultados, da modernização da agricultura, abrem espaço ao reconhecimento de que o desenvolvimento agrícola tem integração complexa entre fatores. A agricultura não é uma questão puramente técnica, reflete em dimensões sociais, culturais, políticas e econômicas. É considerando esses diversos fatores que a agroecologia é fundamentada. De acordo com Altieri (1998), a agroecologia:

[...] utiliza os agroecossistemas como unidade de estudo, ultrapassando a visão unidimensional – genética, agronomia, edafologia – incluindo dimensões ecológicas, sociais e culturais. Uma abordagem agroecológica incentiva os pesquisadores a penetrar no conhecimento

e nas técnicas dos agricultores e a desenvolver agroecossistemas com uma dependência mínima de insumos agroquímicos e energéticos externos. O objetivo é trabalhar com e alimentar sistemas agrícolas complexos onde as interações ecológicas e sinergismos entre os componentes biológicos criem, eles próprios, a fertilidade do solo, a produtividade e a proteção das culturas. (ALTIERI, 1998, p. 11).

De acordo com Altieri (1998), existem diversos sistemas que apresentam características agroecológicas, como os sistemas de cultivo múltiplos, rotação de culturas, cultivos de cobertura, sistemas agroflorestais e agricultura orgânica. Essas práticas da agricultura podem ser exercidas por pessoas em residências, embora essa alternativa seja comprometida dependendo do espaço disponível. Uma alternativa para permitir que residências tenham opção de cultivo são as hortas comunitárias.

Este trabalho é motivado por atividades realizadas numa horta comunitária urbana, localizada no bairro Iririú, na cidade de Joinville, em Santa Catarina (SC), que utiliza o sistema de agricultura orgânica para o cultivo de plantas. O sistema da horta, assim como qualquer forma sustentável de agricultura, traz desafios como:

- a) Desafio ambiental: buscar uma forma de sistema de produção agrícola cuja a dependência de insumos externos e de recursos naturais não renováveis seja mínima;
- b) Desafio social: um sistema que contribua para a segurança alimentar e nutricional da comunidade;
- c) Desafio econômico: busca contribuir para a economia local;
- d) Desafio tecnológico: busca o desenvolvimento de tecnologias menos agressivas ambientalmente e que mantenha uma adequada relação produção/produtividade.

Entre os desafios citados, este trabalho destaca a problemática relacionada às dificuldades de desenvolvimento e crescimento do cultivo, em especial a que envolve a falta de nutrientes no solo, que ocorre devido ao fato de que a agricultura é uma atividade dependente das propriedades do solo e de fatores climáticos, cujas alterações podem interferir no crescimento, na produtividade e no manejo da cultura (LIMA; CABRAL; MIGUEZ, 1991).

A falta de nutrientes no solo é um dos fatores que pode comprometer o desenvolvimento das culturas e decorre, inclusive, da própria atividade agrícola, uma vez que as plantas extraem micronutrientes, como Boro e Cobre, e macronutrientes, como Fósforo e Potássio, (RAMOS, 2019). Há diversas maneiras para manter a capacidade nutricional de forma ecológica. Sistemas agroflorestais optam por criar cultivos de múltiplas espécies, cuja diversidade de plantas retroalimenta as condições produtivas do solo (SAF, 2008). Por outro lado, alguns sistemas orgânicos combinam pouca variedade de plantas e utilizam compostos orgânicos ou dejetos da produção agrícola para a fertilização do solo.

Para solucionar o desafio de manter a capacidade nutricional do solo em um cultivo agroecológico, o presente trabalho consiste na construção e no monitoramento de temperatura e umidade de um sistema de compostagem de resíduos orgânicos, gerados pela comunidade do bairro, para servirem como fertilizantes do solo do cultivo da horta.

A escolha da utilização de resíduos orgânicos para a compostagem não se deve apenas pelos benefícios do uso agrícola do composto, mas também pela maximização da reciclagem, minimização de impactos ambientais e minimização de rejeito (INÁCIO; MILLER, 2009). De acordo com a pesquisa feita sobre a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), apresentada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) (2016), 71,3 milhões de toneladas de RSU foram coletados no Brasil, dos quais 58,4 % são destinados a aterros sanitários, 24,2 % a aterros controlados e 17,4 % a lixões. A compostagem desses resíduos evita que eles sejam direcionados a esses centros de descarte e que virem fontes de metano e efluentes poluentes, que atraem vetores de doenças (INÁCIO; MILLER, 2009).

A compostagem é um processo microbiológico aeróbicos de decomposição da matéria orgânica, no qual se procura reproduzir as condições ideais de umidade, oxigênio e de nutrientes, especialmente carbono e nitrogênio, para acelerar a degradação dos resíduos (INÁCIO; MILLER, 2009). Essa degradação dá origem a uma matéria chamada Composto Orgânico, enriquecido com macronutrientes e micronutrientes e que pode ser utilizado para contribuir com a capacidade nutritiva do solo de cultivos (INÁCIO; MILLER, 2009).

Há diversos métodos de alcançar a decomposição de resíduos orgânicos, no entanto, este trabalho limita-se pela aplicação do Método desenvolvido por Miller (2009), que realiza a compostagem por meio de bactérias termofílicas em leiras estáticas com aeração passiva. Os critérios de escolha do método se baseiam na pouca utilização de equipamentos para o tratamento e no acúmulo de experiências bem sucedidas em contextos comunitários e institucionais (RAMOS, 2019).

Para o monitoramento da compostagem foram escolhidos os indicadores de temperatura e umidade, pois são as principais propriedades que determinam as condições do ambiente para a proliferação das bactérias desejadas no processo de decomposição da matéria orgânica (SILVA, 2015). O monitoramento tem o objetivo de verificar, por meio dos dados quantitativos obtidos dos indicadores, se as condições físicas e químicas das leiras serão capazes de cultivar as bactérias termofílicas.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de monitoramento de compostagem termofílica em leiras estáticas com aeração passiva de forma que sua estrutura seja de fácil manuseio para permitir a análise de diversas composteiras.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Conhecer as condições físicas e químicas necessárias para um processo de compostagem;
- Desenvolver um sistema de monitoramento de umidade e temperatura da leira;
- Avaliação da metodologia utilizada e dos resultados obtidos.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção tem como objetivo levantar os conceitos necessários para embasar o desenvolvimento deste trabalho. A primeira seção conceitualiza a agricultura urbana e analisa o emprego da agroecologia em atividades agrícolas na cidade. A segunda seção compreende os processos químicos e físicos envolvidos na decomposição da matéria orgânica, a fim de identificar os principais fatores deste processo. Por fim, a última seção entende as condições necessárias e as fases envolvidas no desenvolvimento de uma compostagem em leiras estáticas com aeração passiva.

### 2.1 AGRICULTURA URBANA, HORTAS COMUNITÁRIAS, AGROECOLOGIA E DIREITO À CIDADE

A Agricultura Urbana (AU) existe desde os primeiros assentamentos urbanos da humanidade e compreende uma variedade de práticas, configurações, intenções e definições (NAGIB, 2016). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 1999), a AU pode ser definida como sendo pequenas superfícies localizadas dentro das cidades, destinadas à produção agrícola e a criação de gado de menor porte ou vacas leiteiras para consumo próprio ou comercialização nos arredores.

No Brasil há uma diversidade de atividades agrícolas nas áreas urbanas e elas são realizadas, geralmente, em pequenas áreas, como quintais, terraços, pátios, ou ainda em hortas urbanas – espaços comunitários ou espaços públicos não urbanizados (PIRES, 2016). O cultivo nesses espaços é destinado, sobretudo, à produção para consumo próprio ou para a venda em pequena escala, mas podem possuir outras finalidades como as educativas, de ativismo e de lazer (NEXO JORNAL LTDA, 2021).

Desde o início dos anos 2000, movimentos para tornar áreas urbanas mais verdes vêm ganhando força no mundo e são motivados por problemas tanto de ordem social, como a pobreza, fome e insegurança alimentar, quanto de ordem ambiental, como a poluição concentrada nos grandes centros urbanos e consequências do modo de produção agrícola convencional (PIRES, 2016). Atualmente, movimentos ativistas dedicados à agroecologia, como por exemplo os Orgânicos, exercem forte influência em contextos de hortas comunitárias urbanas, eles defendem uma “outra agricultura”, considerando a qualidade da alimentação humana, o uso dos recursos naturais e a produção agrícola (NAGIB, 2016).

Segundo Nagbi (2016), os movimentos ativistas voltados a AU ganham destaque a partir da década de 1960 e se caracterizam por práticas que Reynolds (2009) denominou de “Guerrilla Gardening” (jardinagem de guerrilha), o qual faz referência aos

métodos de ocupação de espaços públicos ou privados, sem prévia autorização, para a produção de alimentos e/ou revitalização do espaço urbano - modelo geralmente adotado por hortas comunitárias urbanas. Este período também é marcado pela consolidação dos movimentos sociais e políticos que surgiram em contraposição a chamada Revolução Verde, como o movimento dos Orgânicos, e que também estão presentes nas práticas de Guerrilla Gardening.

As concepções da Revolução Verde partem de um contexto de Guerra Fria em que acreditava-se que as principais causas da fome e instabilidade política, no Terceiro Mundo, eram consequências do rápido crescimento populacional associado a uma distribuição de alimentos inadequada (DUTRA; SOUZA, 2018). E a estratégia para lidar com o que acreditava-se ser uma deficiência de alimentos, foi a aplicação intensiva de insumos químicos, das variedades geneticamente modificadas de alto rendimento e da motomecanização na produção agrícola (MOREIRA, 2001), com o intuito de aumentar a produção. Parte significativa dos países em desenvolvimento, na segunda metade do século XX, incentivados por países desenvolvidos, engajaram-se na implementação dessas atividades. No Brasil, marcadamente nos anos 60 e 70, políticas públicas estimularam e deram subsídios de créditos à agricultura convencional e as empresas de maquinários e de insumos industriais para uso agrícola (MOREIRA, 2001).

Hoje vivemos as consequências das implementações oriundas da Revolução Verde, que demonstraram o fracasso do paradigma dominante de desenvolvimento. A Revolução Verde contribuiu para difundir problemas ambientais como a erosão dos solos, perda de biodiversidade, desertificação e poluição por agrotóxicos (REDCLIFT; GOODMAN, 1991). Além disso, não resolveu o problema da fome e desnutrição (MOREIRA, 2001). Pelo contrário, contribuiu para a concentração da propriedade da terra, criou um sistema dependente de insumos agrícolas produzidos por corporações mundiais e deixou os pequenos agricultores à margem do acesso às inovações tecnológicas oriundas da Revolução Verde (ALTIERI, 1998).

É, portanto, em contraposição a esses paradigmas que coletivos, redes, movimentos sociais e políticos surgem na década de 1960. Segundo ALTIERI (1998), dentre essas organizações estão a agricultura urbana e periurbana, cada vez mais voltados aos princípios agroecológicos, reconhecendo que a agricultura reflete em dimensões ambientais, sociais, culturais, políticas e econômicas. De acordo com Altieri (1998), a agroecologia:

[...] utiliza os agroecossistemas como unidade de estudo, ultrapassando a visão unidimensional – genética, agronomia, edafologia – incluindo dimensões ecológicas, sociais e culturais. Uma abordagem agroecológica incentiva os pesquisadores a penetrar no conhecimento e nas técnicas dos agricultores e a desenvolver agroecossistemas com uma dependência mínima de insumos agroquímicos e energéticos externos. O objetivo é trabalhar com e alimentar sistemas agrícolas

complexos onde as interações ecológicas e sinergismos entre os componentes biológicos criem, eles próprios, a fertilidade do solo, a produtividade e a proteção das culturas. (ALTIERI, 1998, p. 11).

Segundo Reynolds (2009), o ativismo voltado à AU possui uma capacidade de reestruturação do espaço urbano expresso, especialmente, no que se refere à criação de hortas comunitárias, como é o caso da Horta comunitária Girassol, onde o presente trabalho foi realizado. Reynolds intitula de Guerrilla Gardening para evidenciar o conflito de interesses na ocupação desses espaços, de um lado um coletivo de pessoas reivindicando o uso social de terrenos vazios, e muitas vezes abandonados, e de outro o interesse de grandes agentes econômicos do mercado financeiro que mercantilizam o solo urbano (FERREIRA, 2019).

O ativismo urbano de “guerrilha” segundo Nagbi (2016), é a expressão de uma grande vontade de transformação da realidade vivida e percebida. Apesar da pouca visibilidade, ele vem ganhando espaço gradativamente e se mostrando um mecanismo de ocupação de espaços urbanos e de reinvenções da cidade, que colocam o interesse coletivo acima dos interesses privados (HARVEY, 2014). HARVEY (2014) se dedicou a estudar o direito à cidade em meio à expansão do capitalismo e dos processos de urbanização acelerada, e em suas palavras:

[...] a questão do tipo de cidade que queremos não pode ser separada da questão do tipo de pessoas que queremos ser, que tipo de relações sociais buscamos, que relações com a natureza nos satisfazem mais, que estilo de vida desejamos levar, quais são nossos valores estéticos. O direito à cidade é, portanto, muito mais do que um direito de acesso individual ou grupal aos recursos que a cidade incorpora: é um direito de mudar ou reinventar a cidade [...] é um direito mais coletivo do que individual, uma vez que reinventar a cidade depende inevitavelmente de um exercício de um poder coletivo sobre o processo de urbanização. (HARVEY, 2014, p. 28).

A AU, portanto, tem potencial para ser um instrumento de melhoria ambiental e social, colaborando para a sustentabilidade urbana, a luta contra as mudanças climáticas e a qualidade de vida da população.

## 2.2 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS: BENEFÍCIOS E CONCEITOS BÁSICOS

A agricultura é uma atividade dependente das propriedades do solo e de fatores climáticos, cujas alterações podem interferir no crescimento, na produtividade e no manejo da cultura (LIMA; CABRAL; MIGUEZ, 1991). O desenvolvimento das plantas conta com uma complexa relação entre a intensidade de radiação solar e a concentração de água, de nutrientes e de micro-organismos que vivem no solo, em condições estritas de umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, nível de oxidação, teor de húmus e pH (ANDREOTTI, 2021).

A falta de nutrientes no solo é um dos fatores que pode comprometer o desenvolvimento das culturas e decorre, inclusive, da própria atividade agrícola, uma vez que as plantas extraem micronutrientes (Boro e Cobre, por exemplo) e macronutrientes (como Fósforo e Potássio) do solo (RAMOS, 2019). Há diversas maneiras de manter a capacidade nutricional de forma ecológica, alguns sistemas orgânicos optam por um cultivo com pouca variedade de plantas e utilizam Compostos Orgânicos para a fertilização do solo. Esses compostos são resíduos vegetais e animais que caracterizam-se por serem matérias que contêm carbono em suas moléculas. Segundo Miller (2009):

[...] A reciclagem de matéria orgânica, isto é, carbono orgânico para o solo, traz benefícios múltiplos à capacidade produtiva do solo melhorando sua estrutura, aeração drenagem e capacidade de reter e disponibilizar água às plantas. Lembrando que os solos sob cultivo tendem a perder fração significativa desta forma de carbono. Uma parcela de 5 a 10% dessa matéria orgânica se apresenta na forma de substâncias húmicas (ácido húmicos, ácidos fúlvicos e humina) que desempenham papel importante na capacidade de troca de cátion do solo e, ainda, são substâncias bioativas que “estimulam o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular as plantas” (CANELLAS, 2005, P.224). O composto orgânico possui ainda efeitos supressivos em algumas doenças de plantas cujos agentes sobrevivem no solo devido à larga variedade e quantidade de microrganismos presentes na massa do composto. (INÁCIO; MILLER, 2009, p. 15).

O processo de gerar compostos orgânicos para uso agrícola é chamado de compostagem e existem diversos métodos para essa fabricação. Alguns dos métodos utilizam resíduos sólidos urbanos como matéria principal, essa alternativa, para além dos efeitos diretos do uso agrícola do composto, contribui para benefícios ambientais como: redução da poluição de recursos hídricos, aumento da vida útil dos aterros sanitário e mitigação de emissão de metano oriundo da disposição de resíduos urbanos (INÁCIO; MILLER, 2009).

De acordo com a pesquisa feita sobre a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), apresentada pela ABRELPE (2016), 71,3 milhões de toneladas de RSU foram coletados no Brasil, dos quais 58,4% são destinados a aterros sanitários, 24,2% a aterros controlados e 17,4% a lixões.

O gerenciamento de resíduos urbanos tem se concentrado em programas de coleta seletiva, as quais realizam o reaproveitamento de materiais como vidro, papel, plásticos, alumínio e entre outros. A fração orgânica dos resíduos sólidos domésticos coletados representa em peso de 45 a 60% do total coletado, esse fração destinada seja para aterros ou para lixões gera grandes volumes de chorume e gás metano, além de atrair vetores de doenças (INÁCIO; MILLER, 2009). Além disso, os aterros representam um investimento considerável para os município e tem, em média, vida útil de apenas 20 anos (INÁCIO; MILLER, 2009).

A compostagem de resíduos sólidos urbanos é uma alternativa para o tratamento destas matérias porque evita que eles sejam direcionados à aterros ou lixões, grandes geradores de problemas ambientais. Além disso, a compostagem é um processo sustentável e constitui um modelo eficiente e econômico.

### 2.2.1 Processo de compostagem

A compostagem é um processo de decomposição biológica da matéria orgânica sob condições controladas de aerobiose, temperatura e umidade (SMITH, M. A., 2016), que resulta em um produto final denominado de composto orgânico, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Composto orgânico



Fonte: (SANTOS, S.N., 2016)

A decomposição da matéria, do ponto de vista da microbiologia, é realizada pela ação de microorganismos que transformam as características físicas e químicas da matéria orgânica. A decomposição química é realizada por microorganismos como bactérias, fungos e actinomicetos, e a decomposição física é feita por ácaros, centopéias, percevejos, caracóis, milípedes, colêmbolos, aranhas, lesmas, besouros, formigas, moscas, nematóides, vermes chatos, rotíferos e minhocas (SMITH, M. A., 2016).

Existem diferentes tipos de bactérias que atuam em pilhas de compostagem e suas populações variam de acordo com a temperatura do ambiente. De todos os microorganismos presentes, as bactérias aeróbicas são os decompositores fundamentais do processo, pois são as mais abundantes e diversificadas nutricionalmente (SMITH, M. A., 2016). No entanto, elas possuem dificuldades em escapar de ambientes desfavoráveis à elas, por isso mudanças nas condições do ambiente como a concentração de oxigênio, umidade, temperatura e acidez, faz com que elas morram ou se tornem inativas (SMITH, M. A., 2016).

Na compostagem há dois tipos de bactérias importantes no processo, são elas: mesófilas e termofílicas. As bactérias mesófilas crescem em ambientes com temperatura entre 20 a 45°C, são caracterizadas por produzirem ácidos, realizam a

decomposição de moléculas mais simples e emitem calor, devido à própria atividade de decomposição. As termofílicas se proliferam em temperaturas entre 50 a 65°C, possuem a capacidade de decomposição de moléculas mais complexas e emitem mais calor que as mesófilas.

Segundo Miller (2009), a taxa de atividade microbiana na compostagem está diretamente relacionada com a temperatura do ambiente, pois a temperatura, e outros fatores do ambiente, é tanto consequência quanto determinante da atividade microbiana (INÁCIO; MILLER, 2009). As condições do ambiente determinam os microorganismos que sobreviverão à ele e, ao mesmo tempo, estes mesmo organismos são os responsáveis por provocar mudanças nos fatores do ambiente. Este fenômeno faz com que o processo de compostagem seja uma sucessão de grupos microbianos que agem na degradação da matéria orgânica.

Diferentes métodos de compostagem buscam controlar o processo biológico de decomposição das matérias, entre eles, os mais comuns, são os de montagem de leiras em camadas compostas por diferentes materiais orgânicos. A compostagem por estes métodos passa pelas seguintes fases:

- a) Fase inicial: Ocorre a expansão de populações de microrganismos mesófilos e a intensificação da ação de decomposição, liberação de calor e elevação rápida da temperatura. Segundo Miller (2009), esta fase leva aproximadamente 24 horas até atingir a temperatura de 45°C, mas alguns métodos podem levar até três dias;
- b) Fase termófila: caracterizada por temperaturas entre 50 a 65°C e pela ação de microrganismos termófilos; há intensa decomposição, formação de água metabólica e geração de vapor d'água. Nesta fase a aeração na leira é fortemente influenciada, pois o calor gerado impulsiona a aeração por convecção e a acelerada decomposição pode gerar o colapso do substrato orgânico, dificultando o suprimento de oxigênio;
- c) Fase mesófila: é a fase de degradação de substâncias orgânicas mais resistentes às bactérias mesófilas e, por consequência, a temperatura e a umidade da leira caem;
- d) Fase maturação: nesta fase ocorre a maturação do composto orgânico, a atividade microbiana diminui e o composto perde a capacidade de auto-aquecimento. Nesta fase a decomposição ocorre a taxas muito baixas;

Diversos fatores influenciam essa sucessão de grupos de microrganismos e são afetados por ela no processo de compostagem, são eles: concentração de oxigênio, água, relação de Carbono/Nitrogênio (C/N) do substrato, pH, potencial de oxi-redução, transformações e pequenas perdas de nitrogênio, distribuição de macro e microporos, estrutura da composteira e tamanho das partículas do substrato (INÁCIO; MILLER, 2009).

### 2.2.1.1 Transformações bioquímicas

As transformações bioquímicas são diversas, as moléculas mais simples são usadas como fonte de energia disponível e outras mais complexas vão sendo transformadas em substâncias mais simples ao longo do processo, e esta dinâmica segue todo o período de compostagem (INÁCIO; MILLER, 2009). Com o tempo a mistura de partículas e a textura no material original vai se tornando cada vez mais homogêneo enquanto a atividade microbiana vai decrescendo. O composto final é um material orgânico escuro de partículas pequenas, de textura plástica e friável e com cheiro de terra, como mostrado na Figura 1. Uma característica da compostagem é que no final do processo o volume e o peso original dos resíduos orgânicos diminuem, respectivamente, de 25 a 50% e 40 a 80%, isto se deve a perda de carbono, através de  $CO_2$ , e de vapor (INÁCIO; MILLER, 2009).

A matéria orgânica é o principal conteúdo da compostagem, pois ela é a fonte de energia e carbono para os microrganismos e são as substâncias mais suscetíveis à biodegradação. A disponibilidade desse material é necessário do início e durante toda a fase termofílica da compostagem. Em geral, a matéria orgânica para a compostagem é dividida em sete grupos: carboidratos e açúcares; proteínas; gorduras; hemicelulose; celulose; lignina e materiais minerais. O tempo de biodegradação de cada um dos grupos varia, a Tabela 1 apresenta a resistência da biodegradação de cada um dos grupos. A lignina, celulose e hemicelulose são as principais fontes de energia e carbono ao longo de todo o processo de compostagem, mas, como são moléculas complexas, elas não são fontes de pronta disponibilidade. Já os açúcares, e outros carboidratos, são completamente biodegradáveis.

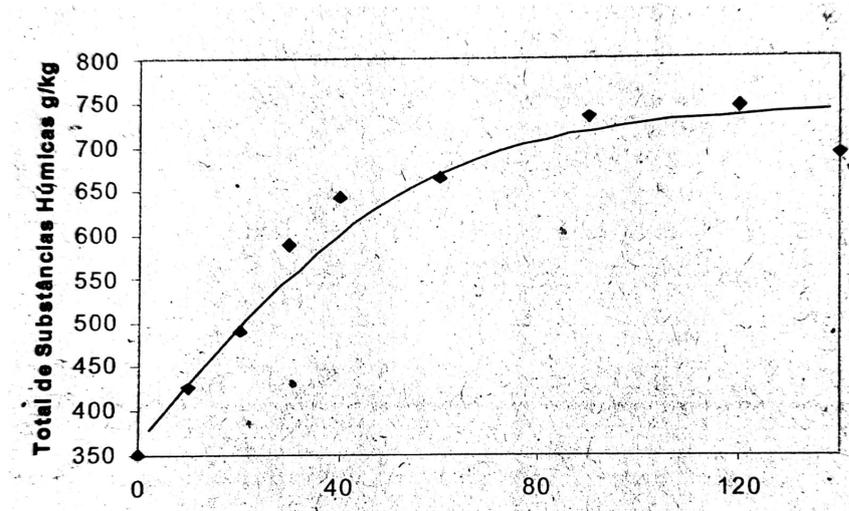
Quadro 1 – Biodegradação e minieralização

<b>Prontamente biodegradáveis</b>
Açúcares
Carboidratos, glicogênio, pectina
Ácidos graxos, glicerol
Carboidratos, glicogênio, pectina
Lipídios, gorduras
Aminoácidos, Ácidos nucleicos, Proteínas
<b>Biodegradação mais lenta</b>
Hemicelulose
Celulose
Chitin
Moléculas de baixo peso
<b>Resistentes a biodegradação</b>
Lignocelulose
Lignina
Moléculas de baixo peso, compostos alifáticos e aromáticos

Fonte: (INÁCIO; MILLER, 2009)

A maior parte dos nutrientes presentes nos materiais originais permanecem dentro da massa microbiana das substâncias húmicas, que é o produto final. A Figura 2, mostra a formação das substâncias húmicas ao longo do tempo de compostagem, este produto apresenta baixa atividade microbiana e é rico em microrganismos e em restos de microrganismos.

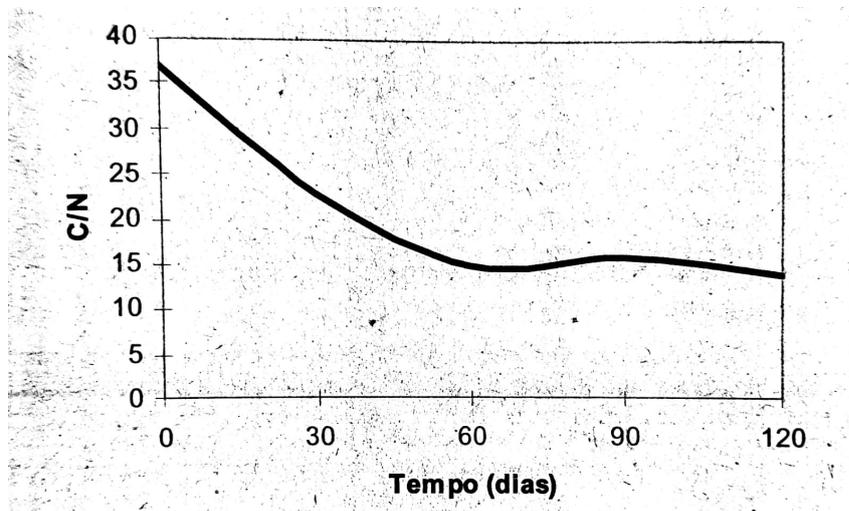
Figura 2 – Formação de substâncias húmicas durante a compostagem



Fonte: (INÁCIO; MILLER, 2009)

Inversa a transformação das substâncias húmicas é a relação de C/N presentes na compostagem, como ilustra a Figura 3. Essa relação é fundamental para o processo, pois a perda de controle sobre ela pode ocasionar em fenômenos indesejados como a produção de gases nocivos (INÁCIO; MILLER, 2009).

Figura 3 – Relação C/N durante a compostagem



Fonte: (INÁCIO; MILLER, 2009)

Alguns fenômenos podem alterar a relação C/N, um deles é a perda excessiva de nitrogênio. As práticas de compostagem se propõem a evitar essas perdas por meio da assimilação de todo o nitrogênio disponível em biomassa microbiana. Para isso utiliza-se, na compostagem, materiais tanto com carbono prontamente disponíveis quanto com menos carbono disponível, isso faz com que haja carbono durante todo o processo de compostagem para que o nitrogênio possa assimilar. Além disso, outra forma de manter o controle da relação C/N é o monitoramento dos fatores ecológicos que influenciam a atividade microbiana, como: umidade, temperatura e aeração. Assim é possível identificar se há deficiência ou excesso de alguma das substâncias (INÁCIO; MILLER, 2009).

#### 2.2.1.2 *Dinâmica microbiana*

A atividade biológica em uma leira é complexa e depende desde relações entre diferentes populações de microrganismo até de fatores ambientais e características estruturais da leira. Segundo Miller (2009), “o processo de compostagem é uma sucessão de atividades microbiológicas pelas quais o ambiente criado por um grupo de microrganismos convida a atividade do grupo sucessor”. Essa sucessão na leira é influenciada por fatores como disponibilidade de energia e nutrientes, pH, umidade, oxigênio disponível e temperatura do substrato.

Os mais importantes microrganismos presentes na decomposição do substrato são as bactérias, fungos e actinomicetos e podem ser classificados como mesófilos e termófilos. Os microrganismos mesófilos são predominantes no processo inicial da compostagem, quando as temperaturas são mais baixas, eles usam o oxigênio disponível para transformar o carbono do substrato para obter energia, o que, conseqüentemente, libera  $CO_2$ , água metabólica e calor (SMITH, M. A., 2016). Este calor é conservado no interior da leira e faz com que a temperatura do substrato aumente.

Quando a temperatura atinge 45°C, os microrganismos mesófilos morrem ou se tornam inativos, é a partir deste ponto que o grupo termófilo começa a crescer. Este grupo tem como característica um alto consumo do substrato e rápida multiplicação, este fenômeno gera uma quantidade de calor ainda maior que a do grupo anterior. Enquanto a temperatura não ultrapassar 70°C e ainda houver substrato disponível de fácil decomposição, os termófilos continuarão em grande atividade, no entanto, quando os nutrientes e energia contida no substrato se tornar escassa a atividade do grupo termófilo diminuirá, assim como a temperatura, e microrganismos mesófilos ressurgirão e permanecerão até que toda fonte energética de fácil obtenção seja utilizada (INÁCIO; MILLER, 2009).

A atividade microbiana, além de proporcionar mudanças na temperatura,

também é responsável por oscilações no pH, umidade, conteúdo de oxigênio e na estrutura física do substrato. Na fase termófila, quando a temperatura no interior da leira atinge 50°C, a taxa de oxigênio disponível diminui, o pH se torna ácido e a umidade se eleva (INÁCIO; MILLER, 2009).

Entre os microrganismos presentes no processo de compostagem, as bactérias têm efeito mais significativo no processo de decomposição, pois elas participam de importantes transformações relacionadas a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de elementos. O metabolismo das bactérias é variado, existem espécies fotossintetizantes, fixadoras de nitrogênio e outras capazes de oxidar compostos minerais de nitrogênio e enxofre ou fixar  $CO_2$  (INÁCIO; MILLER, 2009). As bactérias possuem crescimento rápido, alta atividade de decomposição e estão presentes em todas as fases da compostagem.

Além das bactérias, outros microrganismos como os Actinomicetos e os Fungos também contribuem para a compostagem. Os Actinomicetos são um grupo de bactérias filamentosas, preferem pH neutro ou fracamente alcalino e são capazes de degradar moléculas orgânicas complexas, como a lignocelulose e na conversão da hemicelulose e celulose em compostos mais fáceis de serem degradados (açúcares e amido) (INÁCIO; MILLER, 2009). Elas aparecem na fase termofílica da compostagem, quando a maior parte dos substratos de pronta disponibilidade foi utilizado e crescem melhor sob condições úmidas. Os fungos são encontrados em solos de pH de 3,0 a 9,0, são predominantes em solos ácidos e utilizam do carbono para síntese celular da matéria orgânica (INÁCIO; MILLER, 2009). Estes microrganismos são excluídos da fase de alta temperatura da compostagem, pois apenas um pequeno grupo de fungos sobrevivem a temperaturas acima de 50°C.

#### *2.2.1.3 Fatores ecológicos: Temperatura, Umidade, Oxigênio, pH e relação carbono/nitrogênio*

Como mencionada em seções anteriores, a atividade microbiana é a principal ação no processo de degradação do material orgânico e essa atividade é marcada por um fluxo contínuo de populações microbianas, que são selecionadas pela mudança contínua dos fatores ecológicos de dentro da leira. Os principais fatores que influenciam na compostagem são: temperatura, umidade, oxigênio, pH e relação carbono/nitrogênio. Miller (2009) sugere algumas condições ideais dos fatores, com a intenção de alcançar um processo mais rápido de compostagem. A Tabela 1 ilustra as condições sugeridas pelo autor.

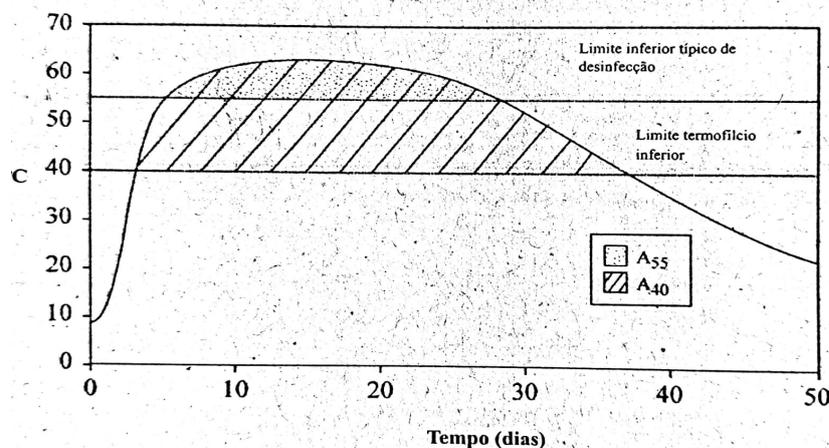
Tabela 1 – Condições sugeridas para uma rápida compostagem

Condições	Faixa adequada	Faixa preferível
Relação C:N	20:1 - 40:1	25:1 - 30:1
Umidade	40-65%	50-60%
Concentração de oxigênio	Maior que 5%	Muito maior que 5%
Tamanho da partícula (cm)	0,3 - 1,5	Vários
pH	5.5 - 9.0	6.5 - 8.0
Temperatura (°C)	43,5 - 65,5	54,5 - 60,0

Fonte: (INÁCIO; MILLER, 2009).

A temperatura durante o processo de compostagem é a que determina quais populações microbianas terão condições de crescer no ambiente. Além disso, ela também é consequência da atividade microbiana que libera calor. O monitoramento da temperatura é fundamental para compreender qual é o estado atual, ou fase, do processo, quais populações de microrganismos estão ativas e se as etapas estão seguindo o fluxo correto. A Figura 4 mostra a variação ideal da temperatura em relação ao tempo, durante o processo de compostagem.

Figura 4 – Variação da temperatura em relação ao tempo e as fases da compostagem



Fonte: (INÁCIO; MILLER, 2009)

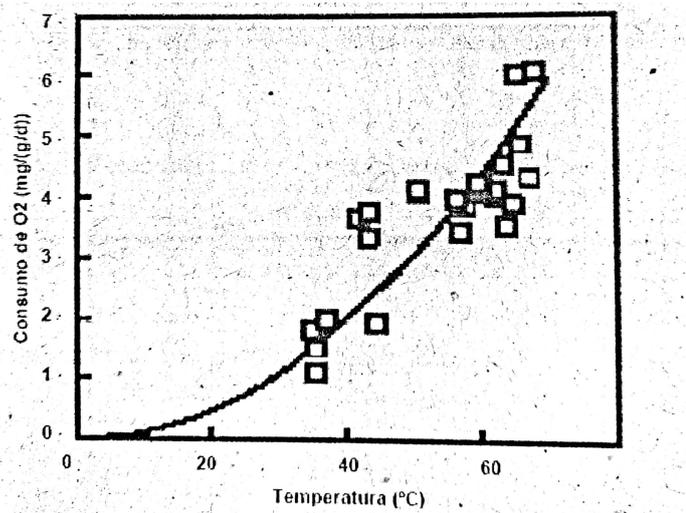
Como mencionado em seções anteriores, a temperatura passa por alterações importantes durante a compostagem. No início a temperatura é baixa, devido a presença de microrganismos mesófilos, mas sobe rapidamente com ação microbiana até atingir 45°C. Ao atingir essa temperatura bactérias termofílicas começarão a aparecer e a ação delas gera mais calor que as mesófilos, isso faz com que a temperatura aumente ainda mais. Segundo Gomes (1988), o ideal é que a temperatura não ultrapasse 70°C para não a atividade microbiana dos microrganismos. A temperatura só começará a cair quando não houver mais substrato disponível de fácil decomposição.

O monitoramento da umidade é importante por dois motivos principais: a água

é necessária para o metabolismo microbiano e a água concorre com o oxigênio pelos mesmos espaços da matriz da leira. O excesso e a escassez de água podem estancar a atividade microbiana, o primeiro impede a difusão do oxigênio na leira e o segundo reduz a umidade a níveis desfavoráveis à vida microbiana. Segundo Miller (2009), a umidade na composteira deve ficar entre 40 e 65%, pois para valores abaixo de 40% a atividade de microrganismos termofílica é inibida e para valores acima de 65% a água desloca muito o ar presente nos espaços porosos da matriz da leira, o que limita a difusão do ar e, conseqüentemente, propicia condições para atividade microbiana anaeróbia.

A compostagem é um processo fundamentalmente aeróbio e a atividade de microrganismos aeróbios depende da disponibilidade de  $O_2$  na leira, a Figura 5 ilustra a relação do consumo de  $O_2$  e a temperatura, em uma leira. A relação com a temperatura se deve ao fato de que a atividade microbiana gera calor e, portanto, quanto maior a atividade, mais o consumo de  $O_2$  e mais a temperatura aumenta.

Figura 5 – Relação entre a temperatura e a taxa de consumo de oxigenio



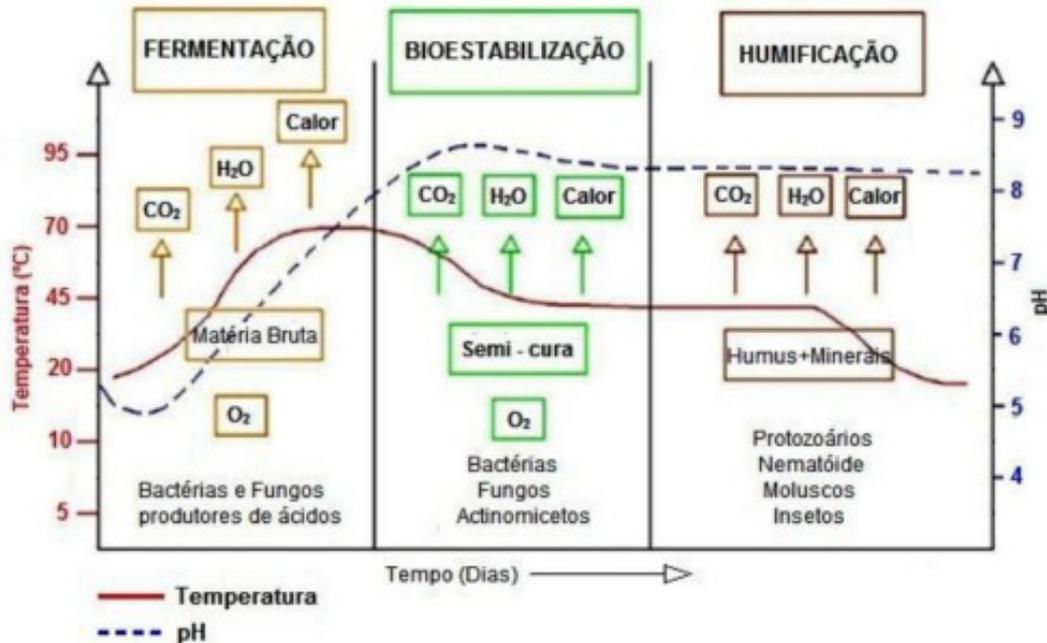
Fonte: (INÁCIO; MILLER, 2009)

Apesar do processo de compostagem ser fundamentalmente aeróbio, ele não é totalmente. É comum populações de microrganismos aeróbicos e anaeróbicos coexistirem nas leiras. Isto se deve ao fato de que o intenso consumo de  $O_2$  pelo metabolismo microbiano pode superar o suprimento de  $O_2$  via difusão passiva ou até mesmo com aeração forçada, em zonas internas da leira (INÁCIO; MILLER, 2009). Mas a predominância de microrganismos anaeróbios na compostagem não é desejada, pois torna a compostagem mais lenta e menos eficiente. Além disso, processos anaeróbios geram compostos com forte odor e podem produzir ácidos indesejados.

O pH (potencial Hidrogeniônico) é um fator importante e que sofre alterações ao longo do processo de compostagem, a Figura 6 mostra essas alterações. No início o pH é ácido e no fim, com o passar dos dias os ácidos são metabolizados e tornam-se

alcalinos até o fim do processo (SILVA, 2015).

Figura 6 – pH e temperatura durante o processo de compostagem.



Fonte: (SILVA, 2015)

Qualquer atividade microbiana é influenciada pelo pH do meio. Na compostagem o pH tem forte influência na dinâmica microbiana, principalmente no início do processo, isso se deve porque o pH de cada resíduo da mistura orgânica reflete no desenvolvimento de microrganismos. Misturas ácidas ( $\text{pH} < 4$ ), geralmente composta por muitas cascas e polpas de frutas, retardam a ação microbiana. O ideal, segundo Miller (2009), é manter o pH entre 5,0 e 7,0.

Por fim, carbono e nitrogênio são os nutrientes mais importantes para a atividade microbiana na compostagem, a relação C/N tem influência direta nas atividades, nos grupos de microrganismos que vão predominar e no tempo total da humificação (INÁCIO; MILLER, 2009). Quanto maior a relação C/N maior o tempo de decomposição do material.

Em geral, considera-se valores de relação C/N entre 30 a 40 o ideal (INÁCIO; MILLER, 2009). O carbono é usado como fonte de energia e para formar a estrutura das células microbianas, já o nitrogênio é importante na formação de proteínas, DNA e RNA microbiano. Materiais de baixa C/N costumam ter alto conteúdo de água e perdem sua estrutura logo no início da biodegradação e, por consequência, resulta na interrupção do processo aeróbio, reduz a temperatura e diminui a atividade microbiana. Este efeito pode provocar mal cheiro e proliferar moscas durante a decomposição.

## 2.3 SISTEMA DE COMPOSTAGEM

Existem diversos métodos para o processo de compostagem e eles são classificados segundo algumas características, como: disponibilidade de oxigênio (aeróbios e anaeróbios) e temperatura (mesofílicos e termofílicos) (FERNANDES, 1999).

Os sistemas que levam em conta a disponibilidade ou não de oxigênio são as compostagem aeróbica e anaeróbicas. A compostagem aeróbica depende da disponibilidade de oxigênio na leira, normalmente considera-se que a porcentagem necessária para manter a atividade dos microrganismos aeróbicos ativos é acima de 5% (FERNANDES, 1999). Segundo Fernandes, (1999) a principal vantagem deste método é a eficiência na decomposição da matéria orgânica e a capacidade de adaptação a variações das características da matéria orgânica a ser degradada.

A compostagem anaeróbica é caracterizada pela ausência de oxigênio e pela ocorrência de bio-transformações anaeróbicas. As principais vantagens deste tipo de decomposição é a possibilidade de aproveitamento de parte do carbono sob a forma de metano, este gás pode ser aproveitado sob a forma de energia elétrica ou vapor (FERNANDES, 1999). No entanto, este processo gera alguns compostos que não são favoráveis a atividade agrícola (FERNANDES, 1999).

Os sistemas de compostagem que levam em consideração a temperatura é a compostagem mesofila e termófila. A compostagem mesofila foca no desenvolvimento e predominância de microrganismos mesofila. Os termos mesofílico, que se desenvolvem a temperaturas de 15 a 45°C. A compostagem termófila desenvolve sistemas para o crescimento de microrganismos termófilos, que se desenvolvem a temperaturas entre os 45 e 65°C.

Há diversos métodos para implementar esses sistemas de compostagem. Muitos dos fatores que interferem no processo de compostagem, de acordo com o método específico, podem ser controlados seja por meio de equipamentos ou por meio de manutenções (FERNANDES, 1999). Este trabalho não tem a disposição equipamentos industriais e sofisticados para estimular o processo de decomposição de resíduos orgânicos, por isso os métodos aplicáveis para este caso se limitam aos que demandam se poucos recursos.

### 2.3.1 Compostagem de leiras estáticas com aeração passiva

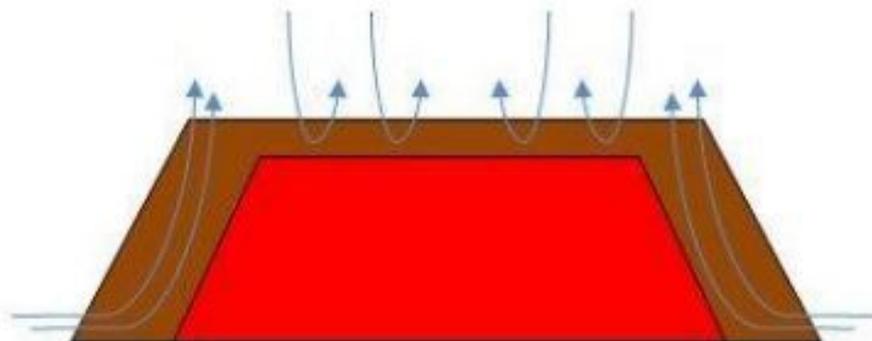
A compostagem em leiras estáticas com aeração passiva é uma metodologia desenvolvida no Projeto de Coleta Seletiva e Compostagem de Resíduos da Universidade Federal de Santa Catarina, e tem como foco a compostagem utilizando resíduos sólidos urbanos. É um método considerado de baixo custo, pois necessita apenas de equipamentos simples e pouca mão de obra para a manutenção. Segundo

Miller (2009), ele é caracterizado pela aplicação de algumas técnicas, como:

- a) Formato das leiras: as paredes das leiras devem formar um ângulo de 90° em relação ao solo e sua estrutura geral é um formato retangular;
- b) Leira estática: não há necessidade de realizar revolvimento frequente nas leiras, portanto a leira deve ficar estática durante a maior parte do processo de compostagem. Somente no final da fase termofílica que é preciso fazer o revolvimento, a fim de preparar o composto para a maturação;
- c) Densidade do substrato: 1/3 do volume total da leira é composto por material de alta relação C/N e baixa densidade, como podas de árvore e raspas de madeira.
- d) Carga contínua: as leiras são recarregadas com mais camadas de resíduos periodicamente, de acordo com as necessidades operacionais;
- e) Mistura de camadas: cada nova carga de resíduos é necessário misturar o material da leira.
- f) Cobertura: as leiras devem ser cobertas com materiais vegetais, como cortes de grama, folhas, para que os restos de alimentos não fiquem expostos em nenhuma situação.

O formato da leira é importante para a aeração. Diferente de outros métodos, este não necessita de equipamentos para realizar a aeração das leiras, neste caso a aeração é realizada de forma passiva. Esta é uma técnica simples de renovação do ar no interior das leiras, que é feito por convecção. Neste processo o ar quente da leira, rico em  $CO_2$ , sai pelo topo da leira, enquanto o ar fresco, rico em  $O_2$ , é sugado pela base (JUNIOR, 2012). A Figura 7 mostra este fenômeno.

Figura 7 – Convecção natural em leiras de aeração passiva.



Fonte: (JUNIOR, 2012)

Este método foca na ação de microrganismos termofílicos, em que a temperatura de crescimento e reprodução está entre 45 a 70°C. Para manter a

temperatura nesta faixa, este método não depende de revolvimentos e prevê relações C/N suficientes, por meio da adição de substrato, para garantir a atividade microbiana (MMA, 2017). A Figura 8 ilustra sistemas de compostagem utilizando o método de leiras estáticas com aeração passiva.

Figura 8 – Leiras estáticas com aeração passiva.



Fonte: (MMA, 2017)

Segundo as definições de BRASIL (2017) a construção da leira se inicia com a montagem de sistema de drenagem para a coleta da umidade e o excesso de água que consiste em um buraco, no espaço onde será construída a leira, onde é inserido um tubo com furos ligado a um reservatório. Este buraco é coberto por pedras, para impedir que pequenos pedaços do substrato entrem nos tubos.

Após a montagem do sistema de drenagem, todo o espaço da composteira é coberto por galhos, podas e folhas e ao redor do espaço paredes com esses mesmos materiais são erguidas. Essa disposição é importante pois na fase termofílica, quando a temperatura no interior da composteira atingir seu ponto máximo, o ar quente sairá sob forma de vapor d'água, sugando o ar frio da base da leira e favorecendo a atividade microbiana.

Depois da construção da base da leira, camadas de materiais fontes de carbono e nitrogênio são inseridas. Os materiais que serão utilizados como fonte de carbono e nitrogênio são serragem e resíduos sólidos urbanos. A sequência de cada camada é: cobre a base com serragem e depois com resíduos sólidos urbanos e assim sucessivamente.

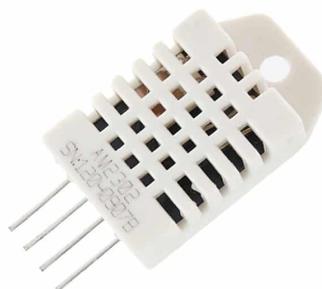
## 2.4 INSTRUMENTOS PARA O MONITORAMENTO DE UMIDADE E TEMPERATURA

Os fatores ambientais em um processo de compostagem podem ser monitorados por meio de sensores. Neste trabalho os fatores monitorados são a temperatura e a umidade, pois consistem nas características de maior influência na compostagem de leiras estáticas de aeração passiva. Existem diversos instrumentos de medição para coletar dados dessas características e cada um possui um princípio de funcionamento. Para realizar um monitoramento adequado de umidade e temperatura é preciso identificar os sensores adequados e entender seus respectivos modos de operação. Os sensores selecionados neste trabalho serão: DHT22, HD-38, Sensor de Umidade do Solo Higrômetro e o DS18B20.

### 2.4.1 Sensores de umidade

O DHT22 é um sensor digital que realiza medidas de temperatura e umidade relativa do ar, a Figura 9 ilustra o sensor. Para medir a umidade ele utiliza um capacitor de polímero, que consiste em um substrato com um fino filme dielétrico entre dois eletrodos condutores (ESTAÇÃO, 2018). Para este capacitor a capacitância  $C$  é uma razão do produto da constante dielétrica do material e da área das placas pela distância entre elas (ESTAÇÃO, 2018). A mudança na constante dielétrica é proporcional à umidade do ar em que ele está exposto e isso, conseqüentemente, altera a capacitância do capacitor (ESTAÇÃO, 2018).

Figura 9 – Sensor DHT22.



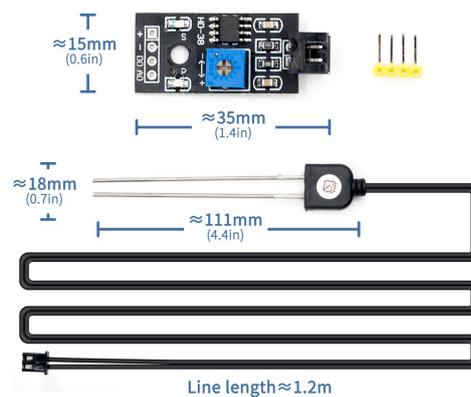
Fonte: (FELIPEFLOP, 2018b)

Segundo o fabricante (2018), a faixa de umidade relativa do ar que este sensor consegue operar é, em porcentagem, entre 0 à 100%, a exatidão é de mais ou menos 2%, a resolução é de 0,1%, a precisão é de mais ou menos 1% e ele opera em uma faixa de tensão entre 3 à 5 V. O modelo mais antigo desse modelo, o DHT11, não foi selecionado pois possui algumas características inferiores ao DHT22, como a faixa de medição de umidade é entre 20 a 90%, precisão de mais ou menos 5% na medição

de umidade e faixa de medição de temperatura entre 0° a 50°C. A faixa de valores da temperatura é um forte fator limitante, pois a temperatura em uma leira pode chegar a 70°C.

O sensor HD-38 é específico para medir o nível de umidade presente em um solo. Ele é um sensor resistivo, que consiste em duas ponteiras, resistentes a corrosão, que passam corrente entre si através do solo. A umidade é lida a partir da resistência obtida pela passagem de corrente entre as ponteiras, quanto maior a concentração de água no solo, maior será a condutividade elétrica e menor será a resistência e, portanto, quanto menor a concentração de água, menor a condutividade e maior a resistência (FELIPEFLOP, 2018a). A tensão de operação do sensor é de 3,3 à 12 V, possui saída digital e analógica, sensibilidade ajustável e sua faixa de medição varia entre 0 a 100% (FELIPEFLOP, 2018a). A Figura 10 mostra um sensor HD-38.

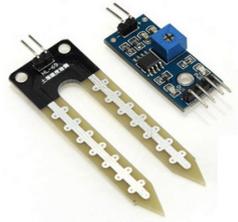
Figura 10 – Sensor HD-38.



Fonte: (FELIPEFLOP, 2018a)

Outro sensor selecionado é Sensor de Umidade do Solo Higrômetro, mostrado na Figura 11. Ele também é um sensor resistivo e funciona em duas etapas, primeiro uma sonda que contém eletrodos nas duas hastes é inserido no solo e enviará informações sobre a variação da resistência elétrica entre os dois eletrodos à um chip comparador LM393 (ALVES, 2020). Como mencionado sobre o sensor HD-38, a umidade do solo é inversamente proporcional a resistência elétrica medida. Este sensor opera em uma faixa de tensão entre 3 à 5 V, fornece saída digital e analógica, possui sensibilidade ajustável via potenciômetro e sua faixa de medição varia entre 0 a 100% (FELIPEFLOP, 2017).

Figura 11 – Sensor de Umidade do Solo Higrômetro.



Fonte: (FELIPEFLOP, 2017)

#### 2.4.2 Sensores de temperatura

O monitoramento da temperatura também pode ser feito por meio do sensor DHT22, mencionado na seção anterior. Para medir a temperatura ele utiliza o pt100, um termo resistor de platina com resistência de 100 ohm. Neste tipo de sensor a variação da temperatura causa uma variação na resistência elétrica no material, que é medida pela alteração na queda de tensão no sensor. Este sensor mede um faixa de temperatura que varia entre 40 à 80°C, a exatidão é de mais ou menos 0,5°C, a resolução é 0,1°C e a repetibilidade é de mais ou menos 0,2°C.

O sensor de temperatura DS18B20 de tipo sonda, é um termorresistivo. Ele detecta variações de temperatura a partir de variações na resistência do sensor, a Figura 12 mostra um exemplo do sensor. É um sensor digital, aprova d'água, é alimentado em uma faixa de tensão de 3 à 5,5V, mede temperaturas de -55 à +125°C, sua resolução é ajustável e varia entre 9 e 12 bits utiliza o protocolo 1-Wire para leitura (DELGADO, 2022).

Figura 12 – Sensor DS18B20 tipo sonda.



Fonte: (DELGADO, 2022)

Os sensores selecionados para este trabalho realizam as medições são capazes de monitorar umidade e temperatura dentro das faixas que o processo de compostagem pode alcançar. O Quadro 2 ilustra a relação dos sensores e as suas respectivas faixas de medições.

Quadro 2 – Sensores utilizados.

	HD-38	DS18B20	Im393	DHT22
Faixa medição	0 à 100%	-55 à +125°	0 à 100%	0 à 100% e 40 à 80°C

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3 MATERIAIS E MÉTODO

Localizada no bairro Iririú, na cidade de Joinville (SC), a horta comunitária Girassol ocupa um terreno de aproximadamente três mil metros quadrados, no entanto, nem todo o espaço é utilizado para cultivo. O terreno é de propriedade pública e não há acesso à energia elétrica, pois o custo para se manter este recurso é incompatível com a quantia que a comunidade é capaz de pagar. A gestão e a manutenção da horta é realizada pela própria comunidade, que se organiza coletivamente para o cultivo de uma diversidade de plantas como verduras, frutas, tubérculos, raízes e entre outros. As culturas são irrigadas por meio de mangueiras vindas de caixas d'água, que coletam água da chuva.

Este trabalho será desenvolvido considerando as necessidades e as condições da horta comunitária, como, o volume de composto orgânico capaz de suprir as demandas da horta, o limite de orçamento para a compra de materiais e os recursos disponíveis na horta. Nesta seção serão apresentados os materiais e os métodos que serão utilizados para a efetivação deste trabalho, o Quadro 3 mostra o resumo dos materiais utilizados.

Quadro 3 – Materiais.

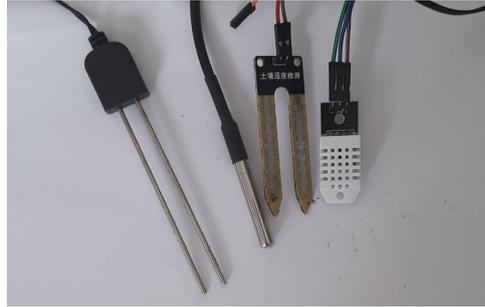
Materiais	Preços
HD-38	R\$ 49,99
DHT22	R\$ 34,60
DS18B20	R\$ 15,99
Sensor de Umidade do Solo Higrômetro	R\$ 7,00
NodeMCU	R\$ 52,90
Arduino UNO	R\$ 30,38

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 3.1 EXPERIMENTO DE SELEÇÃO DE SENSORES

Antes de efetivar o monitoramento do processo de compostagem foi desenvolvido um sistema para a seleção dos sensores mais adequados para o processo. Os sensores selecionados neste etapa foram: DHT22, HD-38, Sensor de Umidade do Solo Higrômetro e o DS18B20, mostrados na Figura 13.

Figura 13 – Sensores utilizados.



Fonte: Autora (2022)

Nesta etapa utilizou-se um vaso com terra preta úmida, como mostra a Figura 14, e em seu centro foi adicionado uma garrafa PET vazada nas extremidades e inserida até atingir o fundo da camada de terra. Metade da terra contida na garrafa foi removida afim de coletar dados referentes à temperatura e umidade nessa camada do vaso. Entre os sensores selecionados, optou-se por utilizar o DHT22 para, apesar dele medir a umidade relativa do ar, identificar se existe alguma relação da umidade do solo com a umidade relativa do ar no duto introduzido na terra e também para facilitar o manuseio do sistema de monitoramento. O DHT22 por não entrar em contato direto com o solo é prático para inserir dentro do tubo da composteira, além de facilitar na locomoção e utilização em várias composteiras.

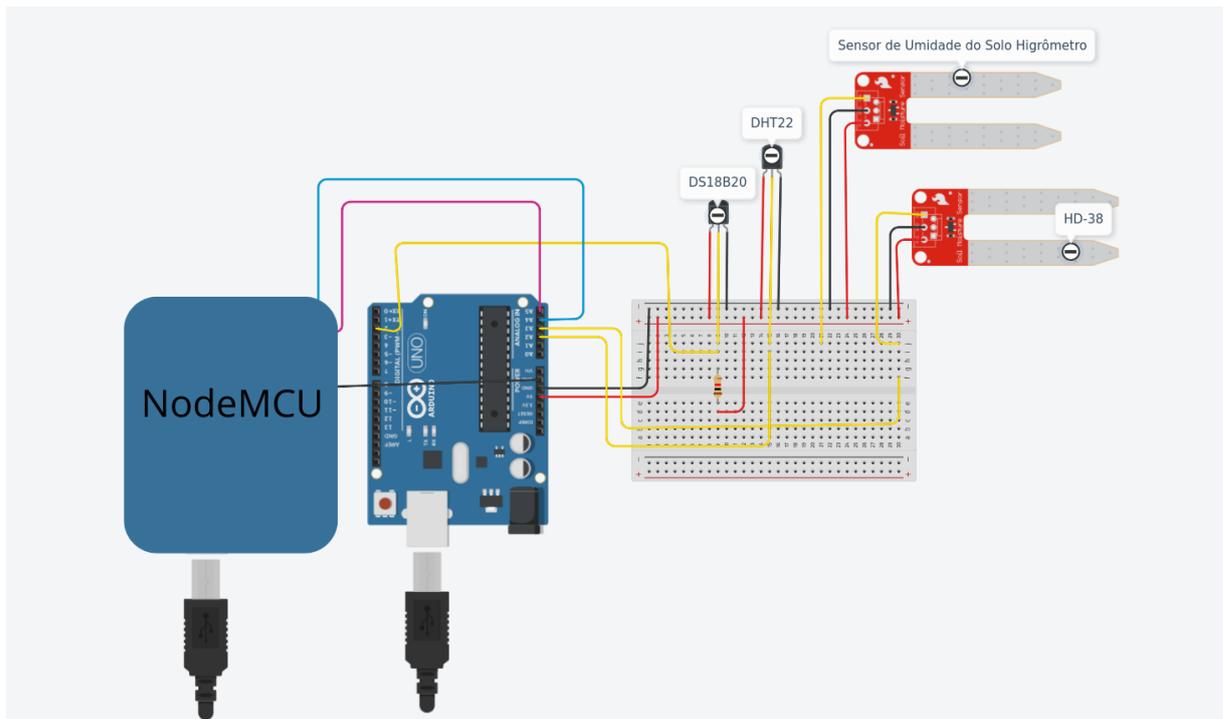
Figura 14 – Vaso com terra úmida.



Fonte: Autora (2022)

Os sensores selecionados foram integrados em um circuito, como mostra a Figura 15. Este circuito é composto por um Arduino Uno; uma NodeMcu que contém o módulo Wifi esp8266; os sensores DHT22, HD-38, Sensor de Umidade do Solo Higrômetro e o DS18B20; um resistor de 10k ohm; e jumpers.

Figura 15 – Circuito.

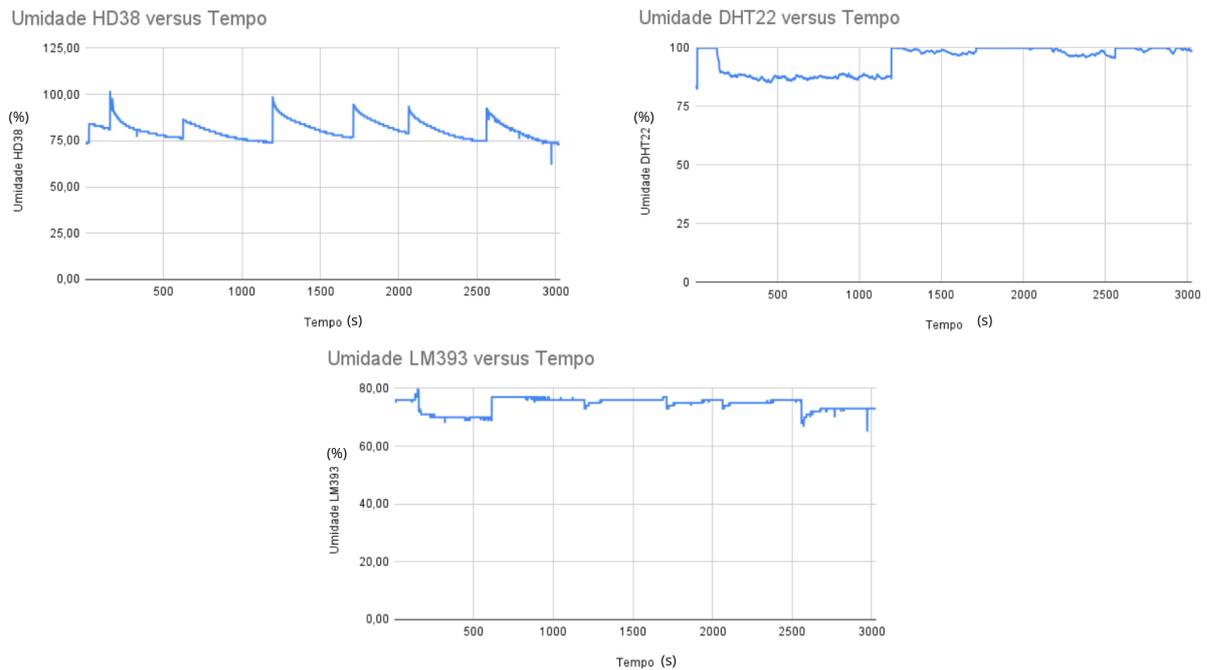


Fonte: Autora (2022)

Seu funcionamento principal é controlado por códigos compilados nos microcontroladores, e apresentados nos apêndices deste trabalho, que por meio do Arduíno Uno coletam os valores lidos pelos sensores e os envia por meio de uma comunicação I2C à placa NodeMcu. A placa NodeMcu recebe os dados e às envia via protocolo de comunicação HTTP à uma API de Google Cloud, onde esses dados são armazenados pelo serviço de hospedagem do Firebase.

O experimento foi realizado durante um período de sete dias e os dados foram coletados uma vez ao dia durante quinze minutos. Os resultado deste experimento foram extraídos do Firebase e por meio da ferramenta Planilhas construiu-se os gráficos de umidade mostrados na Figura 16.

Figura 16 – Resultado dos testes com os sensores de umidade.



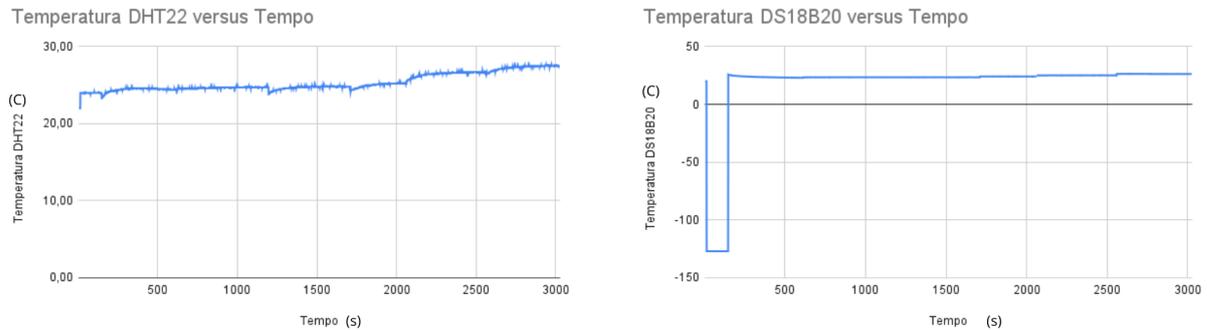
Fonte: Autora (2022)

Os gráficos foram gerados a partir de cinco dias de coleta de amostragem em que cada dia equivale aproximadamente 600 segundos. O HD-38 mostrou um tempo de acomodação de aproximadamente 500 segundos, ele inicia medindo valores elevados e é o sensor que mais demora para convergir ao valor de umidade esperado. Além disso é o sensor com o maior custo.

O DHT22 é um sensor que mede a temperatura relativa do ar, como já mencionado, a intenção de utilizá-lo foi para avaliar a relação da umidade do ar contida no interior do vaso. A partir dos dados contidos nos gráficos, é possível perceber que o DHT22 mede valores de umidade bem elevados e diverge dos valores lidos pelos outros sensores e, por tanto, não demonstra relação com a umidade do solo.

O sensor LM393, ou Sensor de Umidade do Solo Higrômetro, é o que tem o menor custo em os três sensores e, por meio dos gráficos, é possível notar que ele apresenta picos grandes de oscilação mas, por outro lado, converge mais rapidamente a mesma umidade do solo medida pelo sensor HD-38. No gráfico da Figura 16, no tempo de aproximadamente 700 segundos, onde se inicia a segunda medição, é possível perceber que o HD38 leva aproximadamente 300 segundos para convergir aos 75 %, enquanto o tempo de acomodação do LM393 é imperceptível. Além dos dados de umidade, foram gerados gráficos do resultado do monitoramento referente a temperatura do interior do vaso, mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Resultado dos testes com os sensores de temperatura.



Fonte: Autora (2022)

A partir dos dados de temperatura é possível perceber que o sensor DHT22 mostrou muitas oscilações, no entanto, o tempo de acomodação foi curto, o erro das oscilações varia em torno de mais ou menos 0,4 % e é o sensor de menor custo. Já o DS18B20 mostrou ser um sensor estável e também com curto tempo de acomodação. Nos gráficos do sensor DS18B20, nos primeiros segundos de medição houve registro de  $-127^{\circ}\text{C}$ , esta medição está errada pois houve erro de operação, os registros corretos se iniciam quando a temperatura está acima de  $0^{\circ}\text{C}$ .

A partir das análises, os sensores selecionados para o monitoramento são o DHT22, para temperatura, e o Sensor de Umidade do Solo Higrômetro, para a umidade do solo. Os critérios utilizados foram o baixo custo destes componentes, a fácil aplicação e manuseio, a rápida convergência para os valores esperados e a leitura numa faixa aceitável de oscilações. Os critérios de custo e manuseio possuem um grande peso pois a atividade na horta comunitária Girassol não é financiada e possui poucos recursos, além disso, com o desenvolvimento de várias linhas, sensores de fácil manuseio facilitam o processo de monitoramento.

### 3.2 PROJETO

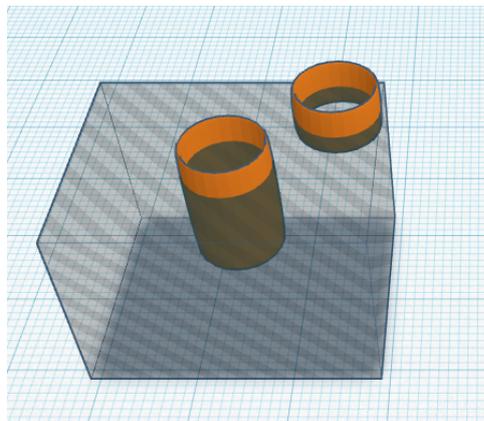
Segundo Silva (2019), o monitoramento em uma leira de compostagem é importante em dois pontos: no centro e próximo à superfície. O centro é o ponto onde o processo de compostagem é mais lento, a temperatura não sofre grandes variações, a umidade é mais alta e a taxa de oxigênio é menor, isto ocorre porque é o ponto em que há

maior concentração de resíduos e são os parâmetros do centro da leira que influenciam o resto da estrutura. Se o centro ressecar não haverá, na fase termofílica, vapor de água subindo para os outros pontos e se a temperatura não se elevar os pontos mais extremos não se manterão tempo mínimo necessário para a transformação completa do substrato.

As regiões mais extremas sofrem grandes variações de temperatura e são os pontos onde se requer mais intervenções - revirar a leira para misturar o material do centro dela com o da extremidade - para a correção de umidade, pois as condições do ambiente externo exercem mais influências nesses pontos e a exposição sobretudo ao vento pode ressecar o composto.

Considerando que o monitoramento deve ser feito em vários pontos da leira, algumas considerações para o desenvolvimento do sistema de monitoramento podem ser feitas. Para a coleta de dados dos pontos internos da leira pode-se inserir tubos de drenagem até a profundidade necessária, onde os sensores serão colocados. Como as composteiras da hora comunitária Girassol terão 1,5 metros de comprimento, 1 metro de largura e 60 centímetros de altura, e os principais pontos a serem monitorados são o centro e a extremidade, o tubo deve ser inserido no centro da leira a 30 centímetros da base e, segundo Silva (2019), outro próximo ao topo em alguma lateral da leira, à 50 centímetros da base. A Figura 18 mostra um exemplo da distribuição dos tubos na leira.

Figura 18 – Distribuição dos tubos na leira.



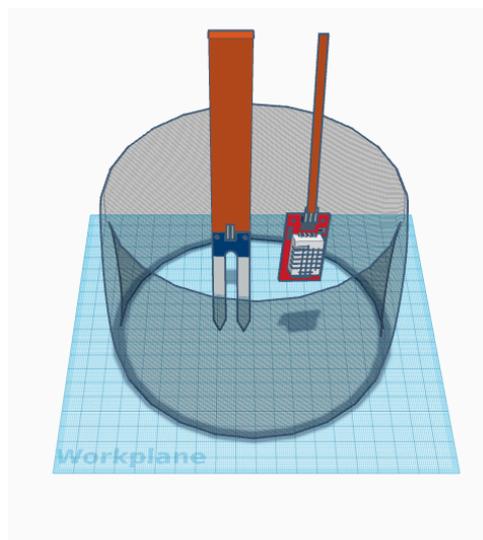
Fonte: Autora (2022)

Além das posições dos tubos, outro fator relevante é o diâmetro, pois eles devem ter espaço suficiente para comportar os sensores. Neste projeto o sistema de monitoramento consiste em uma caixa que contém o circuito que liga as placas dos microcontroladores, os sensores e os demais componentes, no entanto, esta caixa ficará para fora do tubo e apenas os sensores serão inseridos. Como o sensor de umidade precisa ser colocado em contato com a terra, uma estrutura que acomoda e conecta os componentes, aqui chamada de régua, será usada para inserir o sensor. A régua em questão, ao ser analisada na vertical, tem 5 centímetros de comprimento, 5

milímetros de largura e 40 centímetros de altura, portanto um tubo de 10 centímetros de diâmetro já é o suficiente para comportar as estruturas necessárias.

O diâmetro escolhido para o tubo foi 15 centímetros, pois além de haver espaço para inserir a régua, um volume maior dentro do tubo, entre o ambiente e o substrato, permite que haja um maior fluxo de ar. Os resultados do experimento indicam valores próximos a 100% de umidade relativa do ar, evidenciando que o tubo é um concentrador de umidade. Para tentar solucionar estes efeitos, uma alternativa é a utilização de tubos maiores que 10 centímetros de diâmetro (diâmetro da garrafa utilizada no experimento). A Figura 19 mostra as proporções do tubo, a régua e os sensores.

Figura 19 – Tubo, régua e sensores.

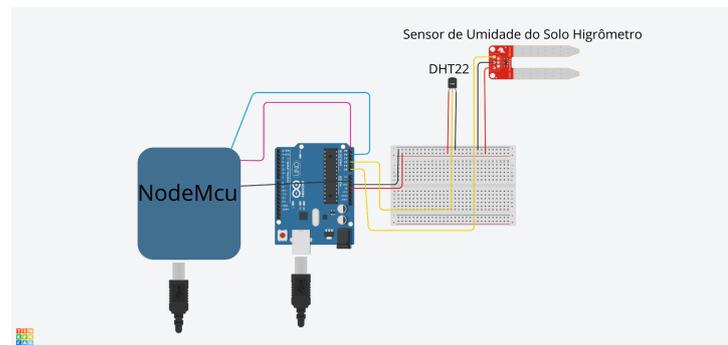


Fonte: Autora (2022)

### 3.2.1 Sistema de Monitoramento

Como mencionado em seções anteriores, os sensores escolhidos para o sistema de monitoramento foram o DHT22, para temperatura, e o Sensor de Umidade do Solo Higrômetro, para a umidade do solo. O circuito ilustrado na Figura 15 foi adaptado para comportar somente esses dois sensores, ou seja, a estrutura se mantém a mesma, somente foram removidos os outros sensores. A Figura 20 mostra o circuito final do projeto.

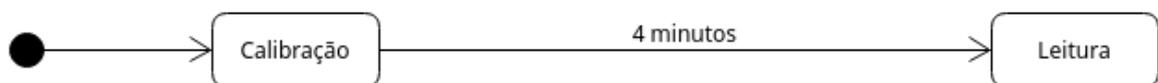
Figura 20 – Circuito final



Fonte: Autora (2022)

A programação dos microcontroladores também foi adaptada, além de não realizar o monitoramento dos sensores descartados, adicionou-se um tempo antes da coleta de dados, para que os sensores atinjam o tempo de acomodação e os dados registrados mostrem os valores esperados. Este tempo foi calculado tendo como referências os dados do experimento. O DHT22 possui oscilações mas os valores registrados se mantiveram na mesma faixa desde o início do processo, já o Sensor de Umidade do Solo Higrômetro demonstrou levar um tempo de aproximadamente 240 segundos, equivalente a 4 minutos, para convergir a um valor específico. Neste trabalho, apesar de estar sendo utilizado dois microcontroladores, um para a coleta de dados e o outro para o envio HTTP, é possível implementar um circuito com apenas um microcontrolador, desde que nele contenha um módulo esp8266 integrado. Neste trabalho foram utilizados os microcontroladores que haviam a disposição. A Figura 21 mostra um diagrama de estados do sistema de monitoramento.

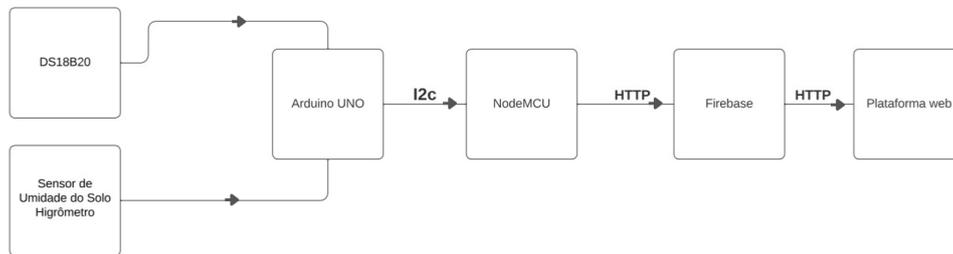
Figura 21 – Diagrama de estados.



Fonte: Autora (2022)

Os códigos utilizados estão disponíveis nos Apêndices deste trabalho. Apesar de ter sido adicionado um tempo na programação, antes da coleta de dados o sistema segue o mesmo fluxo de comunicação entre os dispositivos. No entanto, para uma exibição mais fácil dos fatores monitorados, foi desenvolvido um sistema web para mostrar os dados armazenados na plataforma Firebase. A relação entre os dispositivos e os fluxos de dados segue o exemplo contido na Figura 22.

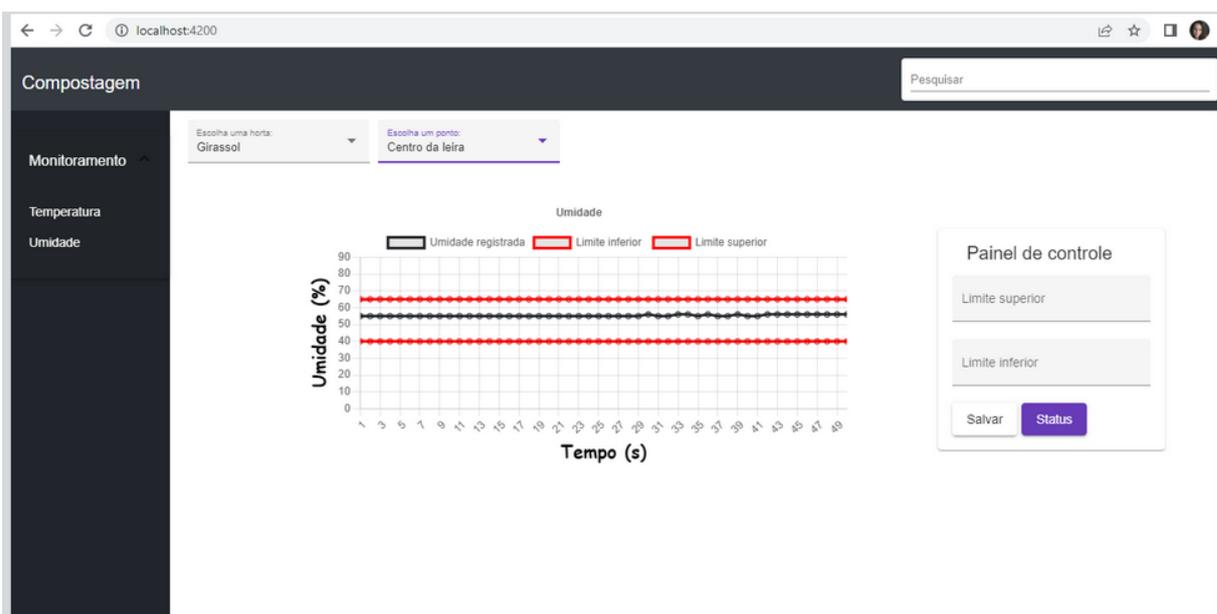
Figura 22 – Rede de comunicação.



Fonte: Autora (2022)

O sistema web foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Typescript e o framework Angular (2016). O Angular é uma plataforma de aplicações web de código-fonte aberto e voltado ao front-end, ele é baseado em TypeScript, liderado pela Google. A sistema web também utiliza as linguagem HTML e CSS para a interface e coletá os dados do monitoramento, contidos no Firebase, por meio de uma API da Google Cloud. A interface mostra os gráficos relativos a temperatura e umidade. A Figura 23 mostra o monitoramento pela plataforma.

Figura 23 – Plataforma web.



Fonte: Autora (2022)

A plataforma é um espaço onde é possível monitorar as leiras das hortas cadastradas no sistema, há um espaço para o monitoramento da temperatura e

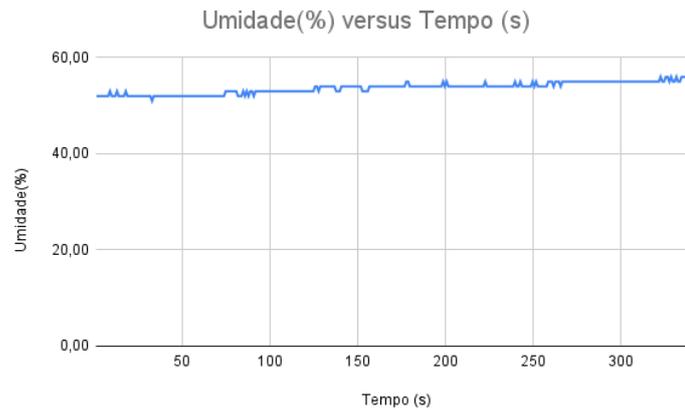
umidade de acordo com um dos dois pontos monitorados: região central ou próximo a extremidade. Como mostrado na Figura 23, o gráfico ilustra dois limites em vermelho, eles indicam a faixa em que a compostagem deve operar e pode ser ajustado por meio no painel disponível à direita do gráfico. Caso os dados registrados pelos sensores ultrapassem os limites, um alerta é disparado na região de status, no quadro vermelho, dentro do painel.

No registro dos dados alguns dados relevantes para serem exibidos é a data e horário dos pontos registrados. Neste trabalho não foram implementadas alternativas para isso pois notou-se que não é possível registrar datas e horários via hardware e a plataforma do Firebase não registra os dados junto datas. Para trabalhos futuros, acredita-se que a exibição dos dados monitorados em relação a datas e horários é uma melhoria para se aplicar no trabalho.

## 4 ANÁLISE DE DADOS

Após a definição do Sensor de Umidade do Solo Higrômetro, para o registros de dados de umidade do solo, e do DHT22, para monitorar a temperatura, o sistema foi reconfigurado para se adaptar a estes sensores. Além disso, como mencionada no capítulo anterior, foi adicionado um tempo na programação dos microcontroladores, para que o registro dos dados dos sensores seja feito após o tempo de acomodação dos sensores, que definiu-se ser 4 minutos. Como resultado dessas implementações, a coleta de dados referentes a umidade, medida em um dia, durante 15 minutos, está ilustrada na Figura 24.

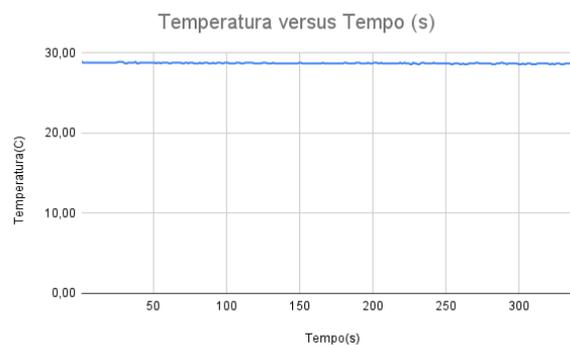
Figura 24 – Registro de umidade.



Fonte: Autora (2022)

Os dados de umidade obtidos, se comparados com os da Figura 24 não possuem as grandes oscilações provocadas pelo início das medições. O Mesmo ocorre com os resultados obtidos no registro da temperatura, como mostra a Figura 25.

Figura 25 – Registro de umidade.



Fonte: Autora (2022)

## 5 CONCLUSÕES

A compostagem de resíduos sólidos urbanos é uma alternativa para dar utilidade e evitar que esses lixos sejam direcionados para aterros e lixões. Além disso, é um processo que não agride o meio ambiente, contribui para o desenvolvimento dos ecossistemas envolvidos em um cultivo e produz alimento para a população. O método de compostagem de leiras com aeração passiva é simples, ele foi desenvolvido com o objetivo de acelerar o processo de compostagem, utilizar poucos recursos e depender de pouca manutenção. Essas características foram os principais critérios na escolha deste método para ser implementado na horta Girassol.

O sistema desenvolvido para monitorar a umidade e a temperatura atendem as características do método de compostagem que se deseja monitorar. Os sensores selecionados, na etapa de experimentação, foram capazes de realizar leituras de temperatura dentro dos limites que a composteira pode atingir, entre 45 à 70°C. E os sensores de umidade se mostraram capazes de realizar leituras dentro da faixa esperada, entre 40 e 65% de umidade, com exceção do DHT22. Os dados obtidos do sensor DHT22, que realiza leituras referentes à umidade relativa do ar, não mostraram relação com a umidade do solo registrada pelos outros sensores, uma das hipóteses é que a garrafa inserida no vaso, para atingir o centro, pode reter a umidade e por isso os índices de umidade chegaram próximos a 100%. Para trabalhos futuros, recomenda-se utilizar componentes de ventilação, dentro do tubo, que direcionem a umidade para fora, afim de verificar se há relações entre a umidade relativa do ar e a umidade do solo.

O vaso e o cano utilizados no experimento foram protótipos para testar o sistema de monitoramento. A leira real possui outras dimensões estruturais e por isso pontos específicos da leiras devem ser monitorados, entre eles o centro e extremidades próximas a superfície. Para atingir esses espaços é recomendado a utilização de tubos de drenagem com tampa, para inserir os sensores e protege-los das características do ambiente externo. Como relatado no trabalho, o diâmetro dos tubos deve ser de no mínimo 15 centímetros de diâmetro, para conter a régua com os sensores, possibilitar um fácil manuseio do sistema e para evitar grandes concentrações de umidade nos canos. Para trabalhos futuros recomenda-se a aplicação do sistema de monitoramento em uma leira de compostagem e o monitoramento de outros fatores como a oxigenação e o pH. Além disso, é possível realizar um sistema de controle para atuar caso alguns dos fatores monitorados entrem em regiões de risco para a compostagem.

Por fim, o sensores selecionados se mostraram capazes de realizar o monitoramento do processo específico de compostagem. O sistema é de fácil manuseio, prático para fazer medições em diversas leiras e de baixo custo, fatores importantes

para a horta comunitária.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 5. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.
- ALVES, B. G. S. **Análise da durabilidade e eficiência de sensores resistivos de umidade do solo em plataformas Arduino**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental) — Faculdade de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Fluminense, 2020.
- ANDREOTI, C. E. **O impacto do cultivo orgânico de hortaliças sobre o potencial edáfico dos solos no cinturão verde da Região Metropolitana de São Paulo**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) — Faculdade de Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.
- ANGULAR. **The modern web developer's platform**. 2016. Disponível em: <https://angular.io/>. Acesso em: 27 out. 2022.
- AOSONG ELECTRONICS. **DHT22: Digital-output relative humidity temperature sensor/module**. Guangzhou, 2018. Disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/download/1132459/ETC2/DHT22.html>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Brasília, 2016. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/>. Acesso em: 26 jul. 2022.
- DELGADO, A. H. R. **Avaliação de um protótipo de coletor solar plano: estudo da temperatura com o uso de Arduino**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Engenharia de Energias Renováveis) — Faculdade de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal do Ceará, 2022.
- DUTRA, R. M. S.; SOUZA, M. M. O. Cerrado, revolução verde e a evolução no consumo de agrotóxicos. **Sociedade Natureza**, v. 29, n. 3, p. 469–484, 2018.
- ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MODULAR. **Sensor DHT22**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: [http://cta.if.ufrgs.br/projects/estacao-meteorologica-modular/wiki/sensor\\_dht22](http://cta.if.ufrgs.br/projects/estacao-meteorologica-modular/wiki/sensor_dht22). Acesso em: 19 nov. 2022.
- FELIPEFLOP. **Sensor de Umidade do Solo Higrômetro**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-higrometro/>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- FELIPEFLOP. **Sensor de Umidade do Solo HD-38**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-do-solo-hd-38/#tab-blogrelacionados>. Acesso em: 19 nov. 2022.
- FELIPEFLOP. **Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 DHT22**. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/>. Acesso em: 19 nov. 2022.

FERNANDES, P. A. L. **Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

FERREIRA, G. C. Pelo direito à cidade: políticas públicas e hortas urbanas em Florianópolis. **História Unicap**, v. 6, n. 12, p. 469–484, 2019.

GOMES, W. R.; PACHECO, E. **Composto orgânico**. Lavras: Escola superior de agricultura de Lavras, 1988.

HARVEY, D. **Cidades rebeldes: do direito à cidade à revolução urbana**. São Paulo: Martins Fontes, 2014.

INÁCIO, C.; MILLER, P. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009.

JUNIOR, E. A. F. **Projeto industrial para aeração automática de leiras de compostagem orgânica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Goiânia, 2012.

LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jagariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 1991.

MMA. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, 2017. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/>. Acesso em: 26 jul. 2022.

MOREIRA, R. J. Críticas ambientalistas à revolução verde. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 8, n. 2, p. 39–45, 2001.

NAGIB, G. **Agricultura urbana como ativismo na cidade de São Paulo: o caso da horta das corujas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

NEXO JORNAL LTDA. **A vez da agricultura urbana**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.nexojornal.com.br/externo/2021/12/24/A-vez-da-agricultura-urbana>. Acesso em: 20 out. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA. **Agriculture urbaine et périurbaine**. Roma, 1999. Disponível em: <https://www.fao.org/unfao/bodies/coag/coag15/X0076f.htm>. Acesso em: 15 out. 2022.

PIRES, V. C. Agricultura urbana como fator de desenvolvimento sustentável: Um estudo na região metropolitana de maringá. **Revista Pesquisa Debate**, v. 27, n. 2, p. 50, 2016.

RAMOS, L. S. **Compostagem e sua simulação em reatores de bancada do tipo controle diferencial de temperatura**. 2019. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) — Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

REDCLIFT, M.; GOODMAN, D. ***The machinery of hunger: the crisis of Latin America food systems***. Reino Unido: Manchester University Press, 1991.

REYNOLDS, R. **On guerrilla gardening: a handbook for gardening without boundaries**. Reino Unido: Bloomsbury, 2009.

SAF. **Manual agroflorestal para a mata atlântica**. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário. Secretaria de Agricultura Familiar, 2008. Disponível em: <http://www.centroecologico.org.br>. Acesso em: 26 jul. 2022.

SANTOS, S.N. **Viabilização de compostagem doméstica para aplicação em cultivos de hortaliças no município de Posse/GO**. Goiânia, 2016. Disponível em: <http://www.abq.org.br/entequi/2016/trabalhos/50/50-10238-23370.html>. Acesso em: 21 set. 2016.

SILVA, G. F. C. S. **Resposta espectral da cultura do feijão em condição de déficit hídrico**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Faculdade de Agronomia, Centro de Ciências Agrária, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

SILVA, J. R. **Automação do Processo de Compostagem: Uso de sensores para monitoramento e controle de parâmetros de um processo sustentável**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) — Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

SMITH, M. A. **The Science of Composting**. Illinois, 2016. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20160217221013/http://web.extension.illinois.edu/homecompost/science.cfm>. Acesso em: 20 out. 2022.

## APÊNDICE A - ARDUINO UNO

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <DHT.h>
3 #include <OneWire.h>
4 #include <DallasTemperature.h>
5
6 #define DHTPIN A1
7 #define DHTTYPE DHT22 // DHT 11
8 #define TAMANHO_STRING_SERIAL 15 //(3*4)+2+1
9 #define dados 2 /*SensorDS18B20*/
10
11 OneWire oneWire(dados); //SensorDS18B20
12 DallasTemperature sensors(&oneWire); //SensorDS18B20
13 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // DHT 22
14 String dht22Temp;
15 String dht22umi;
16 String umiLM93;
17 String umiHD38;
18 String tempDS18B20;
19
20 void setup() {
21   dht.begin();
22   Wire.begin(8); // comunica o i2c no endereco 8
23   Wire.onReceive(receiveEvent); // recebe dados
24   Wire.onRequest(requestEvent); // solicita dados
25   Serial.begin(9600);
26   sensors.begin(); //inicia sensor DS18B20
27 }
28
29 String leituraDht22Temperatura() //1 a temperatura do DTH22
30 {
31   float temperatura =dht.readTemperature();
32
33   if (isnan( temperatura))
34   {
35     Serial.println("Nao foi possivel realizar a leitura");
36   }
37   else
38   {
39     return String(temperatura);
40   }
41 }
42
```

```

43 String leituraDht22Umidade() //1 a umidade do DTH22
44 {
45     float umidade = dht.readHumidity();
46
47     if (isnan( umidade))
48     {
49         Serial.println("Nao foi possivel realizar a leitura");
50     }
51     else
52     {
53         return String(umidade);
54     }
55 }
56
57 String leituraSensorUmidadeLM393() //1 a umidade do sensor LM393
58 {
59     int ValorADC;
60     float UmidadePercentual;
61     int valorLido;
62     ValorADC = analogRead(0); //1023 -> 5v
63     //Serial.println(ValorADC);
64
65     /* Serial.print("Umidade Percentual ");
66     Serial.print(*umidade);
67     Serial.println("%");
68     Serial.print("\n");*/
69
70     valorLido = constrain(analogRead(0),140,1023); //MANT M valorLido
71     // DENTRO DO INTERVALO (ENTRE analogSoloMolhado E analogSoloSeco)
72     valorLido = map(ValorADC,140,1023,100,0); //EXECUTA A FUN 0 "map"
73     // DE ACORDO COM OS PAR METROS PASSADOS
74     /*Serial.print("Umidade percentual map: ");
75     Serial.print(valorLido );
76     Serial.println("%");
77     Serial.print("\n\r");*/
78     return String(valorLido);
79 }
80
81 String leituraSensorUmidadeHD38() //1 a umidade do sensor HD-38
82 {
83     int ValorADC;
84     float UmidadePercentual;
85     int valorLido;
86
87     ValorADC = analogRead(2); //1023 -> 5v4
88     //Serial.println(ValorADC);

```

```

88  valorLido = constrain(analogRead(2),303,1023); //MANT M valorLido
      DENTRO DO INTERVALO (ENTRE analogSoloMolhado E analogSoloSeco)
89  valorLido = map(ValorADC,303,1023,100,0); //EXECUTA A FUN  O "map"
      DE ACORDO COM OS PAR METROS PASSADOS (13)
90  /*Serial.print("Umidade percentual map: ");
91  Serial.print(valorLido );
92  Serial.println("%");
93  Serial.print("\n\r");*/
94  return String(valorLido);
95 }
96
97 String SensorDS18B20(){ //1 a TEMPERATURA do sensor DS18B20
98  sensors.requestTemperatures();
99  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
100  return String(sensors.getTempCByIndex(0));
101 }
102
103 void loop() {
104  dht22Temp=leituraDht22Temperatura();
105  dht22umi=leituraDht22Umidade();
106  umiLM93=leituraSensorUmidadeLM393();
107  umiHD38=leituraSensorUmidadeHD38();
108  tempDS18B20= SensorDS18B20();
109
110  Serial.println("leitura");
111  delay(1000);
112 }
113
114 void receiveEvent(int howMany) {
115  while (0 <Wire.available()) {
116    char c = Wire.read();
117    Serial.print(c);
118  }
119  Serial.println();
120 }
121
122 void requestEvent() {
123  String pacote = dht22Temp + " " + dht22umi + " " + umiLM93 + " " +
      umiHD38 + " " + tempDS18B20 + " F" ;
124  char* enviaPacote = pacote.c_str();
125
126  Serial.println(enviaPacote);
127  Wire.write(enviaPacote);
128 }

```

## APÊNDICE B - NODEMCU

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <FirebaseArduino.h>
3 #include <ESP8266WiFi.h>
4 #include <ArduinoJson.h>
5
6 #define WIFI_SSID "NET_2GAB370C"
7 #define WIFI_PASSWORD "51AB370C"
8 #define FIREBASE_HOST "datahorta-default-rtdb.firebaseio.com"
9 #define FIREBASE_AUTH "tWa4Pf5Adxo9kxoFRrQti6rh1QCvgZ6icSMxb9X1"
10
11 void setup() {
12   Serial.begin(9600);
13   Wire.begin(D1, D2); // comunica o i2c SDA=D1 e SCL=D2 of NodeMCU
14
15   WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
16
17   Serial.print("Conectando ao wifi");
18
19   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
20   {
21     Serial.print(".");
22     delay(300);
23   }
24
25   Serial.println(WiFi.localIP());
26   Serial.println();
27   Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
28 }
29
30 void enviaFirebase(String serial){
31   Serial.print("envia");
32   String detectaFim = String(serial[0]);
33   String detectaProximo = String(serial[0]);
34   int i = 0;
35   int cont = 0;
36
37   while(detectaFim != "F"){
38     String dado="";
39
40     while(detectaProximo != " "){
41       dado = dado + serial[i];
42       i++;
```

```
43     detectaProximo = serial[i];
44 }
45
46     cont = cont + 1;
47
48     Serial.print(cont);
49     switch(cont) {
50         case 1:
51             Firebase.pushString("/DHT/Temperatura", dado);
52             break;
53         case 2:
54             Firebase.pushString("/DHT/Umidade", dado);
55             break;
56         case 3:
57             Firebase.pushString("/LM393/Umidade", dado);
58             break;
59         case 4:
60             Firebase.pushString("/HD38/Umidade", dado);
61             break;
62         case 5:
63             Firebase.pushString("/DS18B20/Temperatura", dado);
64             break;
65     }
66
67     i++;
68     detectaProximo = serial[i];
69     detectaFim = serial[i];
70 }
71 }
72
73 void loop() {
74     Wire.beginTransmission(8);
75     Wire.write("Hello Arduino");
76     Wire.endTransmission();
77     String serial = "";
78     Wire.requestFrom(8, 30); //requisi o
79     while(Wire.available()){
80         char c = Wire.read();
81         serial = serial + String(c);
82         Serial.print(c);
83     }
84     Serial.print(serial);
85     enviaFirebase(serial);
86     Serial.println();
87     delay(1000);
88 }
```