



FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Química
Curso de Engenharia do Ambiente

**Projecto de produção de composto orgânico a partir dos
resíduos sólidos orgânicos domésticos**

Autor:

Salomão José da Graça Langa

Supervisor:

Prof. Doutor Eng.^o Jonas Valente Matsinhe

Maputo, Abril 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Química
Curso de Engenharia do Ambiente

**Projecto de produção de composto orgânico a partir dos
resíduos sólidos orgânicos domésticos**

Autor:

Salomão José da Graça Langa

Supervisor:

Prof. Doutor Eng.º Jonas Valente Matsinhe

Maputo, Abril 2024

TERMO DE ENTREGA

Declaro que o estudante finalista Salomão José da Graça Langa entregou no dia__
de_____de 2023 as_ cópias do relatório do seu intitulado “Projecto de produção de
composto orgânico a partir dos resíduos sólidos orgânicos domésticos”.

Maputo, de 2024

O Chefe do

departamento

(Prof. Eng.º Clemencio Nhantumbo)

DECLARAÇÃO SOB PALAVRA DE HONRA

Eu, Salomão José da Graça Langa declaro por minha honra que o presente trabalho nunca foi apresentado, e que o mesmo foi realizado por mim com base nos conhecimentos adquiridos ao longo da minha formação, como resultado de pesquisa bibliográfica e de discussões mantidas durante o estudo com o meu supervisor.

(Salomão José da Graça Langa)

DEDICATORIA

Dedico o presente trabalho em memória dos meus pais, José Isaiás Zacarias Langa e Maria Salomão Matusse.

AGRADECIMENTOS

A minha família em especial aos meus irmãos Alfredo Isaías Langa, Mabonane José Langa, Zacarias Mabonane Langa, José Langa e ao meu sobrinho Bafana José Langa, pelo apoio, paciência e Amor.

Ao meu Supervisor Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe Eng^o, pelo apoio na realização do trabalho.

A minha namorada Lízi Matimele pelo companheirismo, Amor, paciência e apoio.

Aos meus colegas de turma e amigos, em especial ao Rabil Mutupua, Jacinto Gibante, Franca Cumbe, Iolanda Nhaucha, Jéssica Joana, Edson Calala, Marcelino Nivale, Almeida Matias, José Ubisse e Domingos Mugabe pelo apoio, conhecimentos partilhados e companheirismo ao longo do curso.

RESUMO

Nos últimos anos tem-se verificado um crescimento populacional nas cidades de Moçambique e também um aumento na produção dos resíduos sólidos, de certa forma tem prejudicado o meio Ambiente. Vários são os meios que são usados para a gestão desses resíduos, um dos processos importantes da gestão e o tratamento a ser dado aos resíduos. A compostagem surge como uma das soluções que podem ser usadas para melhorar a gestão (tratamento) dos resíduos sólidos orgânicos, reciclando a matéria orgânica.

O presente trabalho tem como objectivo geral a execução de um projecto de produção de composto orgânico a partir dos resíduos sólidos orgânicos domésticos, identificando os seus parâmetros que afectam o processo e a sua eficácia na produção do mesmo. A metodologia de avaliação dos parâmetros medidos foi comparativa e dedutiva. Os dados dos parâmetros (humidade, temperatura, pH) foram observados em 14 semanas.

Os resultados obtidos revelaram que nos sistemas os dados dos parâmetros medidos foram totalmente diferentes dos esperados, as temperaturas atingidas não chegaram aos 50°C nos dois sistemas, mais foram observadas as três fases (mesofilo, termófilo e mesofilo) somente num dos sistemas (Balde), a humidade chegou a ficar abaixo dos 40 % o que é considerada uma faixa abaixo das condições necessárias para uma boa compostagem e depois atingiu os valores necessários. Os valores do pH nos sistemas iniciaram o processo no estado ácido (4.5), com aumento das temperaturas chegaram a atingir o estado alcalino. Apesar de terem sido observados valores diferentes dos esperados no processo de compostagem, os sistemas mostraram se eficientes para produção em pequena escala.

Palavras-chaves: Resíduos sólidos, Compostagem

Índice

RESUMO	III
LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 JUSTIFICATIVA.....	2
1.2 OBJECTIVO GERAL.....	2
1.2.1 Objectivo específico.....	2
1.3 METODOLOGIA	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS	4
2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	4
2.2.1 Classificação quanto a origem.....	4
2.2.2 Quanto a periculosidade	6
2.3 GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	7
2.3.1 Tratamento e Deposição final dos resíduos sólidos urbanos	11
2.4 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS.....	12
2.4.1 Etapas da compostagem	15
2.4.2 Composto orgânico.....	17
2.4.3 Factores que afectam o processo de compostagem	18
2.5 SISTEMAS DE COMPOSTAGEM	22
2.5.1 Sistema de leiras estáticas com aeração forçada.....	23
2.5.2 Sistema de leiras com revolvimento	23
2.5.3 Sistema fechado (reactor).....	24
2.5.4 Sistema de Vermicompostagem	27
2.5.5 Sistema de Bokashi	28
2.5.6 Sistema de Compostagem Doméstica Ou Caseira.....	29
3. MATERIAS E MÉTODOS	33
3.1 MATÉRIAS USADOS.....	33
3.1.1. Matéria orgânica	34
3.1.2. Material usado para construção dos compostores	35

3.1.3. Montagem e operação do experimento	35
3.2. MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	41
3.2.1 Tamanho das partículas	41
3.2.2 Temperatura	41
3.2.3 Humidade	42
3.2.4 Potencial de hidrogénio(pH)	43
3.2.5 Maturação do composto	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1 FACTORES QUE AFECTAM O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	44
4.1.1 Humidade	44
4.1.2 Temperatura	45
4.1.3 Potencial de hidrogénio(pH)	47
4.1.4 Maturação do composto	49
5. CONCLUSÃO	51
6. BIBLIOGRAFIA	52

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ano
ABNT	Associação brasileira de normas técnicas
CO ₂	Dióxido de carbono
O ₂	Oxigénio
DBO ₅	Demanda bioquímica de oxigénio
EDM	Eletricidade de Moçambique
GEE	Gases de efeito estufa
GIRS	Gestão integrada dos resíduos sólidos
GRSU	Gestão dos resíduos sólidos urbanos
Hab	Habitantes
Kg	Quilogramas
L	Litros
LIPOR	Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto
MICOA	Ministério da terra e Ambiente
MITADER	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural
MO	Matéria orgânica
NBR	Norma brasileira
PDUL	Projecto de Desenvolvimento Urbano e Local
PGIRSU	Plano de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos
PH	Partículas de hidrogénio
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SGRSU	Sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos
T	Placas de porcelana
T	Toneladas

LISTA DE FIGURAS

FIGURA: 1 GRÁFICO DE COMPOSTAGEM QUE APRESENTA AS FASES DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM: MESÓFILICA, TERMÓFILICA E MATURAÇÃO (PROCESSO,2020).	17
FIGURA: 2 SISTEMA DE CAIXAS USADAS NO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM DOMÉSTICA (HTTP: WWW.MARFINITMARFINITEMOGI.COM.BR/IMAGE/CACHE/CATALOG/MOGI/M-500X500.PNG)	28
FIGURA: 3 COMPOSTEIRA DE CAIXA DE MADEIRA FEITAS COM PALETAS (CARVALHO,2020).....	31
FIGURA: 4 COMPOSTEIRA DE REDE METÁLICA CILÍNDRICA (SILIA,2015)	31
FIGURA: 5 COMPOSTEIRA DE BARRIL ROTATIVO (HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/PUBLICATION)	32
FIGURA: 6 COMPOSTEIRA DE TIJOLOS (SILIA,2015)	33
FIGURA: 7 FLUXOGRAMA DO PROCESSO (AUTOR,2023).....	34
FIGURA: 8 DETALHES DO MATERIAL USADO PARA A CONSTRUÇÃO DAS COMPOSTEIRAS (AUTOR,2023): BALDE 20 L(A), CAIXA DE PALETAS(B)	36
FIGURA: 9 CAIXA DE PALETAS COM BASE COBERTA POR PLÁSTICO (AUTOR,2023).....	37
FIGURA: 10 BALDE DE 20L(AUTOR,2023).	37
FIGURA: 11 MATÉRIA ORGÂNICA UTILIZADA NA EXPERIÊNCIA (AUTOR,2023).	38
FIGURA: 12 PASSO A PASSO NO PREENCHIMENTO DA COMPOSTEIRA (AUTOR,2023).	39
FIGURA: 13 AMOSTRAS DA MATÉRIA ORGÂNICA USADA NA COMPOSTEIRA (AUTOR,2023).....	40
FIGURA: 14 SEQUENCIA (A ATÉ E) DO ENCHIMENTO DA COMPOSTEIRA (AUTOR,2023).	40
FIGURA: 15 TERMÓMETRO DIGITAL (AUTOR,2023).	42
FIGURA: 16 GRÁFICOS DOS VALORES DE HUMIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO (AUTOR,2023)...	44
FIGURA: 17 GRÁFICOS DA TEMPERATURA EM FUNÇÃO DO TEMPO (AUTOR,2023).....	46
FIGURA: 18 GRÁFICOS DAS VARIAÇÕES DO PH EM FUNÇÃO AS SEMANAS (AUTOR,2023).	48
FIGURA: 19 AMOSTRAS DOS COMPOSTOS MATURADOS E A SUA COR(AUTOR,2023).	49

LISTA DE TABELAS

TABELA: 1 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE RSU DOMÉSTICOS EM MOÇAMBIQUE EM 2017	10
TABELA: 2 TIPOS DE RESÍDUOS QUE DEVEM OU NÃO SER USADOS NA COMPOSTAGEM	14
TABELA: 3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM	26
TABELA: 4 TIPOS DE MATERIAIS E PERCENTAGENS MÉDIAS PARA PRODUÇÃO DE BOKASHI	29

1. INTRODUÇÃO

Em Moçambique nos últimos anos vem se verificado um crescimento populacional e urbano nas principais cidades, ao mesmo tempo verifica se a produção em massa de resíduos sólidos. A produção de resíduos vem aumentando gradativamente na mesma medida que se obtém o desenvolvimento e crescimento das cidades. A tecnologia avança na mesma velocidade em que a poluição aumenta, o que indica que a sustentabilidade das cidades não esta sendo priorizada pelo desenvolvimento tecnológico (SULAMITA,2015).

Lima (2002), define resíduos como sendo o conjunto de produtos não aproveitados de actividades domésticas, comerciais, industriais ou de saúde, englobando a matéria orgânica. Resíduos esses que são prejudiciais a saúde humana e ao meio ambiente, muito pela sua incorreta gestão partindo da fonte de produção até ao seu descarte final que tem ocorrido em lixeiras e aterros. Muitos países em desenvolvimento fazem o despejo em lixeiras a céu aberto ou em aterros não controlados em suas práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos, porque é menos dispendioso construir e operar locais adequados para deposição final. No entanto, a deposição direta de resíduos orgânicos não tratados em lixeiras a céu aberto ou aterros tem impactos ambientais negativos a nível local e global.

Desde o momento da geração até o destino final dos resíduos, uma serie de medidas necessitam ser empreendidas para se evitar problemas de ordem ambientais, sociais, de saúde pública e económica. Entre essas medidas destacam-se a colecta, acondicionamento, o tratamento (Reciclagem, Biológico) e a deposição final.

Em Moçambique em particular na cidade de Maputo estima-se que sejam produzidos mais de um milhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que corresponde a uma produção média de 1.639 ton/dia, destes 60% em matéria orgânica, 25% material reciclado e 15% de outros (MICOA,2012). Sendo que a matéria orgânica se apresenta em maiores proporções e o seu descarte inadequado em lixeiras a céu aberto ou aterros resulta na geração de emissões de GEE e lixiviados com alto teor de DBO, que poluem lençóis freáticos e rios se não forem tratados, sendo necessário verificar um método de

tratamento adequado para a sua redução e se necessário o encaminhamento a deposição final, sem causar problemas ambientais.

1.1 JUSTIFICATIVA

Dentre as alternativas de tratamento ambientalmente adequadas dos resíduos sólidos (matéria orgânica) a compostagem é uma das formas de tratamento que se adequa para resolver essa situação, visto que a compostagem é uma técnica de reciclagem do material orgânico. Segundo Barrena et al. (2014), é uma tecnologia ecológica de suma importância para a gestão da fração orgânica dos RS ou resíduos biológicos, permitindo a valorização do material. Transformando os resíduos em insumos agrícolas contribuindo assim para fechar o ciclo bioquímico dos nutrientes minerais, fornecendo matéria orgânica ao solo, estocando assim o carbono na forma de compostos estáveis (BERGI, 2018).

O produto final da compostagem (Húmus) pode oferecer diversos nutrientes essenciais, já que a compostagem retém grande parte dos nutrientes presentes na MO a ser degradada, devendo apresentar características que forneçam benefícios ao uso para fins agrícolas, como forma de melhorar a qualidade do solo.

Tendo em consideração os aspetos acima mencionados, pretende-se com o presente trabalho desenvolver um projecto que visa garantir a produção do composto com qualidade usando resíduos sólidos orgânicos.

1.2 OBJECTIVO GERAL

O presente trabalho tem como objectivo principal elaboração de um Projecto de produção de composto a partir dos resíduos sólidos orgânicos

1.2.1 Objectivo específico

Para o alcance do objectivo principal irá se basear nos seguintes objectivos específicos:

- Caracterizar o processo de compostagem da matéria orgânica e identificar os parâmetros que afectam o processo;

- Demonstrar a eficácia da produção do composto orgânico em pequena escala (Doméstica);
- Demonstrar uma compostagem de qualidade de acordo com a literatura.

1.3 METODOLOGIA

Com vista a alcançar os objectivos definidos, a realização deste trabalho obedeceu a seguinte metodologia:

- Pesquisa bibliográfica de modo a obter informações sobre os resíduos sólidos, formas de tratamento (compostagem) dos resíduos orgânicos, factores que interferem na compostagem doméstica;
- Parte experimental, que constitui em produzir um composto orgânico usando composteiras domésticas;
- Fazer análise dos dados do processo, apresentar e discutir os resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

São várias as definições de RS usadas por diferentes autores, isso se deve pelo facto de cada país apresentar a sua particularidade na obtenção, suas políticas de gestão, condições climáticas e seus hábitos e costumes.

De acordo com o Decreto n.º 13/2006 de 15 de junho (MOÇAMBIQUE, 2006), define os resíduos como sendo as Substâncias ou objectos que se eliminam, que se tem a intenção de eliminar ou que se é obrigado por lei a eliminarmos, também designados por lixos.

Segundo Kreling (2006), usando da literatura técnica do termo resíduos sólidos para designar o produto de descarte gerado pela actividades industrial, comercial e de serviços da sociedade em geral, seja urbana, rural, privada ou pública, isto é a sua transformação em resíduo se dá pela obsolescência ou por não mais atender as funções para as quais foi projectado, sendo assim os produtores e que definem quando e que se tornam um resíduo baseado em critérios económicos, centrados na maximização de lucros.

Assim, entende-se por resíduos sólidos o conjunto de produtos não aproveitados de actividades domésticas, comerciais, industriais ou de saúde, englobando, portanto, restos de alimentos, embalagens, papéis, plásticos.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Há vários tipos de classificação dos resíduos sólidos que se baseiam em determinadas características ou propriedades identificadas. A classificação é relevante para a escolha da estratégia de gerenciamento mais viável (ZANTA & FERREIRA, 2016). Os resíduos são classificados quanto a sua origem e quanto periculosidade.

2.2.1 Classificação quanto a origem

Em Moçambique a classificação dos resíduos é baseada no Decreto n.º 13/2006 de 15 de junho, que os classifica quanto a origem como sendo: Sólidos domésticos, sólidos comerciais, sólidos volumosos, sólidos de jardins ou particulares, sólidos industriais, sólidos hospitalares e entulhos

Resíduos sólidos domésticos ou semelhantes – provenientes respectivamente das habitações ou outros locais que se assemelhem, enquadram-se os resíduos sólidos residenciais (em geral de sobras de alimentos, invólucros, papéis, papelões, plásticos, vidros, trapos ou panos), comerciais, feiras livres, capinação e poda.

Resíduos sólidos comerciais – provenientes de estabelecimentos comerciais, escritórios, hotéis, bancos onde na sua maioria os resíduos são papéis, papelões, plásticos, restos de alimentos, embalagens de madeira, resíduos de lavagens e sabões.

Resíduos volumosos – provenientes das habitações, cuja remoção não se torne possível pelos meios normais atendendo ao volume, forma ou dimensões que apresentam ou cuja deposição nos contentores existentes seja considerada inconveniente pelo Município;

Resíduos de jardins – resultantes da conservação de jardins particulares e de limpeza pública de jardins, parques, cemitérios e outros espaços públicos, tais como: ramos, troncos ou folhas.

Resíduos sólidos industriais – resultantes de actividades acessórias e equiparadas a resíduos sólidos urbanos nomeadamente os provenientes de refeitórios, cantinas e escritórios e as embalagens de cartão ou matéria não contaminada;

Resíduos de Saúde – são os resíduos produzidos em hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análises clínicas, farmácias, centros de saúde, consultórios odontológicos e outros estabelecimentos que compreendem os restos de alimentos, papéis, invólucros;

Resíduos Agrícolas – correspondem aos resíduos das actividades da agricultura e da pecuária, como embalagens de adubos, embalagens de inseticidas, ração, restos de colheita, fezes de animais.

Entulho – constitui-se de resíduos da construção civil demolições, restos de obras, solos de escavações etc.

Resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários – constituem os resíduos sépticos, que podem conter organismos patogénicos, tais como: materiais de higiene e de asseio pessoal, restos de alimentos.

2.2.2 Quanto a periculosidade

Segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 10004 de 2004, resíduos são definidos como aqueles que apresenta as suas características em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosa, apresentam.

Risco a saúde publica – caracterizado pelo aumento de mortalidade ou incidência de doenças.

Risco ao meio ambiente – a produtos que quando manuseados de forma inadequada, podem causar poluição dos meios físicos ou biológicos.

Ainda sobre a sua periculosidade os resíduos podem apresentar características de inflamabilidade, corrosividade, reactividade, toxicidade e patogenicidade, são agrupados em classe:

Resíduos de classe I – perigosos são aqueles que apresentam pelo menos uma característica de perigosidade para a saúde ou para o ambiente.

Resíduos de classe II – não perigosos, não apresentam características de perigosidade para o ambiente e para a saúde pública.

E segundo a norma os não perigosos podem se subdividir em:

Resíduos de classe II A – não inertes são os resíduos que não se enquadram em nenhuma das outras classes, mas não são reativos e podem apresentar combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água, estando incluídos a matéria orgânica, papéis, papelão, matéria vegetal e outros.

Resíduos de classe II – inertes são os resíduos que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes, não podem ser solúveis nem inflamáveis, nem terem quaisquer outros tipos de reações físicas ou químicas. Também não podem ser biodegradáveis, nem afectar negativamente outras substâncias com os quais entrem em contacto e cujos lixiviados não poem em perigo a qualidade das águas superficiais ou subterrâneas.

A classificação dos resíduos e de extrema importância para o gerenciamento dos resíduos é necessário conhecer a origem e a sua perigosidade, facilitando distingui-los em categorias que ajuda no processo de transporte e a forma de tratamento a ser aplicado, saber a melhor e correcta forma de disposição final.

A inclusão de determinada fonte de resíduos nessas categorias e sempre de modo elucidativo e não de modo exaustivo, ou seja, são listadas algumas fontes em dada categoria, como forma de exemplificar o que cabe ali, mas a categoria não se fecha apenas nas fontes citadas. A interpretação que se faz com relação ao tipo de resíduo gerado em cada fonte e que possibilita a variação na classificação (GUNTHER, 2008).

2.3 GESTÃO INTEGRADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos constituem uma forte problemática de carácter internacional, para reduzir os seus efeitos sobre o ambiente e a saúde pública, é necessário garantir a sua gestão adequada (VIEGAS, 2012). Nota-se ainda em alguns países, que o circuito dos resíduos sólidos apresenta características muito semelhantes, da geração à disposição final, envolvendo apenas as atividades de coleta regular, transporte e descarga final em locais quase sempre seleccionados pela disponibilidade de áreas e pela distância em relação ao centro urbano e às vias de acesso, ocorrendo a céu aberto.

O manejo inadequado de resíduos sólidos de qualquer origem gera desperdícios, contribui de forma importante à manutenção das desigualdades sociais, constitui ameaça constante à saúde pública e agrava a degradação ambiental, comprometendo a qualidade de vida das populações, especialmente nos centros urbanos de médio e grande portes (SCHALCH et al., 2002).

Assim sendo, a GIRS define procedimentos que visam assegurar uma gestão ambientalmente segura, sustentável e racional dos resíduos, priorizando a redução, reciclagem, reutilização, separação na origem e de seguida a recolha, manuseamento, transporte, armazenagem ou eliminação de resíduos bem como a posterior proteção dos locais de eliminação, por forma a proteger a saúde humana e do ambiente contra os efeitos nocivos que possam advir do mesmo (decreto n 94/2014 de 31 de Dezembro de Moçambique).

Segundo Trankler (2003), a GIRS fornece uma estrutura para o desenvolvimento de um serviço sustentável de RSU, que pode ocorrer com o uso de uma variedade de opções de colecta, transporte e tratamento, com o envolvimento activo das partes interessadas, do sistema de RSU e da indústria para apresentação do produto. Os aspectos que estão envolvidos na gestão dos resíduos seriam:

- Aspectos económicos que levam em consideração os recursos adequados para viabilizar um sistema de GRSU sustentável, que não entre em colapso por falta de recursos e não seja um fardo económico para a sociedade. Devendo aplicar o "Princípio do Poluidor-Pagador" para os geradores de resíduos; prestar assistência técnica e financeira para a participação privada e comunitária.
- Os aspectos ambientais devem considerar os aspectos técnicos com armazenamento adequado, transporte e instalações de descarte para garantir que um impacto negativo ao meio ambiente seja evitado, por meio da criação de incómodos e problemas estéticos em curto prazo e emissão de gases de aterro e descarga de chorume causando poluição do ar, da água e do solo em longo prazo.
- Os aspectos sociais conscientizam as pessoas sobre os benefícios da redução de resíduos, reutilização e reciclagem, bem como os benefícios da limpeza para a saúde ambiental e os impactos decorrentes da falta de um sistema de GRSU.
- Os arranjos institucionais exigiriam a configuração administrativas e legais com mecanismo de aplicação da lei para a implementação do programa para garantir a eficácia. O governo deve fortalecer a capacidade dos órgãos RSU com a educação, tratamento e apoio de infraestrutura.

O envolvimento de diferentes órgãos da administração e da sociedade civil vem fomentar o planeamento integrado, com o propósito de realizar limpezas urbanas, a colecta, o tratamento e a disposição final, garantindo assim qualidade de vida da população, levando em consideração as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos a ser dado tratamento diferenciado e disposição final, ambientalmente as

características sociais, culturais e económicas dos cidadãos, climáticas e urbanistas locais (MONTEIRO, 2001).

Em Moçambique, os resíduos sólidos representam um problema que não só afecta os grandes centros urbanos, mas também as vilas e distritos ao longo do território nacional. A falta de recursos financeiros constitui um dos grandes desafios para os sistemas de gestão local de resíduos sólidos, tornando-se necessário encontrar formas eficientes e pouco dispendiosas para sua redução no meio ambiente.

Com base nas capitações (produção de resíduos por habitante por dia) de diferentes referências, estima-se que em Moçambique sejam produzidas cerca de 10 500 toneladas de RSU domésticos por dia (ou 3,8 milhões de toneladas por ano). O país apresenta uma das mais baixas capitações da Africa Subsariana, para sustentar essa afirmação a tabela apresenta dados da produção de RSU domésticos das Províncias do País, espera-se um aumento em função do desenvolvimento económico, o que somado ao crescimento populacional, ira traduzir-se numa produção crescente de RSU, (PDUL,2020).

Tabela: 1 Estimativa de produção de RSU domésticos em Moçambique em 2017

Província	Capitação (Kg/hab/dia)	Fonte (per capita da Província)	Produção (t/a)
Niassa	0,33	Estimativa com base nas capitações ajustada ao PIB	244 757
Cabo Delgado	0,33	Estimativa com base nas capitações ajustada ao PIB	281 043
Nampula	0,34	Campanha de caracterização Nampula	757 366
Zambézia	0,3	Campanha de caracterização Quelimane	559 631
Tete	0,3	Estimativa com base nas capitações ajustada ao PIB	343 033
Manica	0,3	Estimativa com base nas capitações ajustada ao PIB	237 185
Sofala	0,44	PGIRSU Beira – Capitação rural	356 822
Inhambane	0,36	Estimativa com base nas capitações ajustada ao PIB	196 683
Gaza	0,34	Estimativa com base nas capitações ajustada ao PIB	179 530
Maputo Província	0,47	PGIRSU Maputo – Média da capitação suburbana, Katembe e KaNhaka	430 093
Maputo Cidade	0,62	PGIRSU Maputo	249 195
Moçambique			3 815 336

Fonte: PDUL,2020

A qualidade dos serviços de gestão dos resíduos sólidos varia muito de um Município para o outro, isso devido aos meios financeiros disponíveis ou disponibilizados pelas autoridades competentes, e de acordo com o consumo dos municípios, suas políticas de gestão de resíduos. Mas em geral foi agregada uma taxa de lixo no consumo de energia para poder garantir uma verba, que é usada para manter os serviços de recolha operacionais.

Esta é uma tarefa complexa que depende tanto da organização e cooperação entre o sector familiar, das comunidades, empresas privadas e autoridades municipais como da aplicação e seleção de soluções técnicas apropriadas para a recolha, reciclagem e deposição final de resíduos (MICOA, 2010).

2.3.1 Tratamento e Deposição final dos resíduos sólidos urbanos

As fases de tratamento e deposição final dos resíduos são as mais problemáticas do SGRSU, devido ao custo que apresentam, a necessidade de área física para instalação e aos impactos em termos de poluição ambiental e perigos a saúde que podem acarretar (GUNTHER, 2008).

As tecnologias usadas para tratar os RSU, tem uma particularidade de nem todas se revelarem eficazes se não forem bem aplicadas, mas de certo modo se enquadram naquilo que é a definição do tratamento de resíduos sólidos urbanos, Segundo o Decreto n.º 94/2014 de 31 de Dezembro (MOÇAMBIQUE,2014),o tratamento de resíduos e qualquer operação de valorização ou eliminação de resíduos, incluindo a preparação prévia e a valorização ou eliminação dos resíduos, compreendendo os processos físicos, químicos, biológicos que alteram as suas características de forma a reduzir o volume e periculosidade e a facilitar a sua movimentação.

Os processos de tratamento são a reciclagem (físico), compostagem e digestão anaeróbica (Biológico) e por fim a incineração (Químico).

Para Jardim (1995), os benefícios económicos estão na redução dos custos de deposição final, os factores que levam ao tratamento de resíduos são:

- Escassez de áreas para a destinação final dos resíduos;
- Disputa pelo uso das áreas remanescentes com a população de menor renda;

- Valorização dos componentes do lixo como forma de promover a conservação de recursos;
- Economia de energia;
- Diminuição da poluição das águas e do ar;
- Geração de empregos, através da criação de indústrias recicladoras.

A deposição final é a última fase de um sistema de limpeza urbana, que ocorre depois da recolha ou do tratamento dos resíduos. Existem três formas básicas de deposição final dos resíduos sólidos, a saber, (MICOA, 2012).

- 1) A Lixeira a céu aberto que consiste na simples deposição dos resíduos sólidos sobre o solo;
- 2) Aterro controlado é a técnica de deposição de resíduos sólidos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e minimizando os impactos ambientais;
- 3) Aterro sanitário trata-se de uma técnica de deposição dos resíduos sólidos no solo em forma de camadas ou lâminas obedecendo critérios de engenharia e normas operacionais específicas permitindo a decomposição segura de resíduos, controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública.

2.4 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Sem uma definição uniformizada a compostagem para alguns autores, se trata de um processo natural de decomposição da matéria orgânica, que ocorre no sistema anaeróbico ou aeróbio, podendo ser de origem vegetal e animal, que pode ser controlada pelo Homem.

A compostagem pode ser definida como um processo controlador de decomposição aeróbia e exotérmica de substâncias orgânicas biodegradáveis, por meio de acção de microrganismos, com a produção de CO₂ e água, resultando em um produto final estável e rico em matéria orgânica (KIEHL, 2004). Na figura que segue é apresentado o diagrama do processo da compostagem.

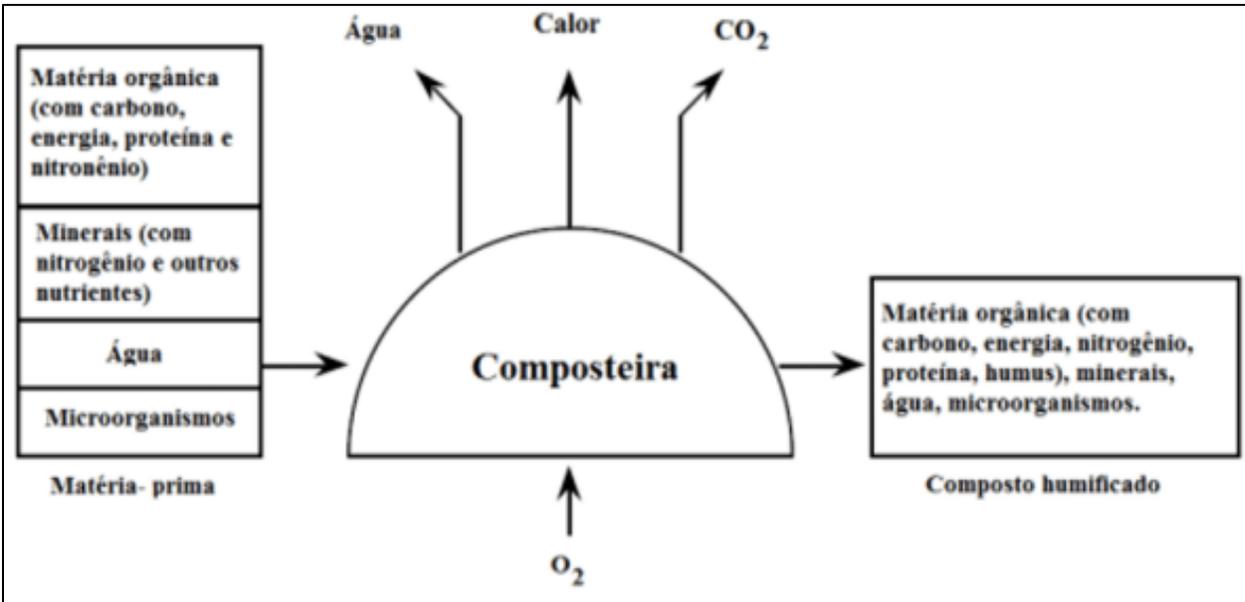


Figura:1 Diagrama do processo de compostagem (Rynk,1992)

Este processo pode ser considerado como um tipo particular de reciclagem, transformando uma determinada matéria-prima em um produto que possa ter usos determinados ou apresentar um interesse comercial (IZEDINE,2017).

A decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem é realizado por uma população de microrganismos diversificados, com destaque para bactérias e fungos, que se sucedem ao longo do processo (PERREIRA NETO,2007).

Esses microrganismos são classificados de acordo com a sua disposição a temperaturas, ótimas para o seu desenvolvimento, ocorrendo em duas fases distintas (mesófila e termófila).

Por se tratar de um processo biológico, a compostagem deve ser monitorada com a utilização de alguns parâmetros indicativos do processo. Os principais parâmetros aqui abordados influenciam diretamente na actividade microbiológica do processo, sendo eles a Aeração, Microrganismos, Temperatura, Ph, Tamanho das partículas, Humidade e a relação Carbono/Nitrogénio (PARAJARA,2020).

Para realizar a compostagem a matéria-prima usada deve ser composta de resíduos orgânicos, constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais ricos em Nitrogênio e Carbono. Os compostos devem ser de materiais ricos em carbono, geralmente de cor castanho (seco), com baixo teor de humidade e de decomposição lenta, como por exemplo as serragens, podas de jardins como galhos e folhas.

E também com materiais ricos em nitrogênio como as cascas dos alimentos, que obtêm maior teor de humidade e uma decomposição mais rápida, como por exemplo os restos de comida e frutas.

Tabela: 2 Tipos de resíduos que devem ou não ser usados na compostagem

Resíduos a compostar		Resíduos a não compostar
Resíduos castanhos	Resíduos verdes	Carne (cozinhada), peixe, mariscos, laticínios e gorduras
Palha	Resto de vegetais crus	Fezes de alguns animais
Feno	Restos e cascas de frutas	Resíduos de jardins tratados com pesticidas
Aparas de madeira e serradura	Casca de ovos esmagadas	Ervas daninhas com semente
Aparas de relva seca e erva seca	Restos de café	Produtos químicos, medicamentos
Folhas secas	Sacos de chá	Revistas, jornais, papéis de impressão
Ramos pequenos	Cereais	Têxteis, tintas, pilhas, vidro, metal
	Resto de relva cortada e flores	

Fonte: <https://sites.google.com/site/compostagempt/system/app/pages/recentChanges>

O composto introduz nos solo organismos benéficos, como bactérias e fungos, que têm a capacidade de passar os nutrientes da parte mineral do solo para as plantas, melhorando ainda as características do solo, nomeadamente a estrutura e porosidade de solos arenosos e calcários, melhora a retenção da água e de nutrientes, melhora o

arejamento, reduz a erosão, diminui a ocorrência de determinadas pragas das plantas e pode ser utilizado em relvados e jardins (LIPOR, 2009).

A compostagem apresenta suas vantagens e limitações como se trata de um dos sistemas de tratamento da fracção orgânica dos resíduos sólidos, entre as principais vantagens e limitações dos sistemas de compostagem podemos citar (RUSSO,2003):

- Rápida decomposição microbiana e oxidação da MO tornando-a estável com mínima produção de odores;
- A maior parte dos sistemas usa pouca quantidade de energia externa para funcionar, comparando com outros sistemas de tratamento;
- Produção de fertilizantes naturais não contaminantes das águas subterrâneas ou superficiais, como acontece com os fertilizantes minerais;
- Tratamento menos caro que os outros tipos de tratamento, quando se entra em consideração com os ganhos ambientais resultantes.

Como limitações ou desvantagens são citadas a necessidade de maior área de terreno disponível que outros processos de tratamento e maior utilização de mão-de-obra (em certas circunstâncias poderá não ser uma desvantagem, mas exatamente o contrário, por absorver mão-de-obra, quase sempre não especializada).

2.4.1 Etapas da compostagem

O processo de compostagem envolve transformações muito complexas de natureza biológica e química, promovidas por uma grande variedade de microrganismos como fungos e bactérias (MASSUKODA,2008). A duração de cada estágio depende da composição inicial do material orgânico, teor de umidade, quantidade e composição da comunidade microbiana.

O processo de compostagem ocorre em três fases: a fase mesófila, seguida pela fase termófila e por último a fase de resfriamento ou maturação, na qual existe uma variedade de microrganismos, como bactérias mesófilas, termófilas, fungos e actinomicetes que estão presentes para converter e estabilizar os resíduos orgânicos em húmus (MORENO et al.,2013).

Na qual a decomposição inicial da matéria orgânica é realizada pelos microrganismos mesófilos devido às fontes de carbono prontamente disponíveis no início do processo, como resultado do calor gerado pelos microrganismos mesófilos através da sua actividade metabólica, a primeira fase mesófila progride para a fase termófila.

As bactérias mesófilas são caracterizadas pelo rápido crescimento e curta duração, no processo de biodegradação, os microrganismos que actuam nesta fase sobrevivem em temperaturas mais amenas (dos 16°C aos 40°C), metabolizando principalmente os nutrientes ou moléculas mais simples; com tudo haverá um aumento gradual da temperatura no processo que irá fazer com que se diminua a população de mesófilos e as bactérias termófilas se proliferem com maior intensidade no processo (FERNANDES et al., 1996).

Na fase termófila, os microrganismos termófilos, que são mais tolerantes ao calor, assumirão a fase mesófila e se tornarão dominantes. A população termófila é extremamente activa, provocando intensa e rápida biodegradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura (podendo atingir 75 a 80°C), eliminando os microrganismos patogênicos (FERNANDES et al., 1996).

Neste processo haverá um grande consumo de O₂ pelos microrganismos, elevação da temperatura e mudanças visíveis na massa de resíduos em compostagem, pois ela se torna escura e não apresenta odor forte (FERNANDES et al., 1996). A medida que há aumento da temperatura, acelera a quebra de substâncias, portanto a exaustão de nutrientes, isso faz com que a temperatura diminua gradualmente e entre na fase mesófila novamente antes que o composto amadureça (YU, H. et al., 2019).

Durante a fase de resfriamento, esses mesófilos mais uma vez migram de volta para o composto e trabalham na digestão da MO, e a temperatura nesta fase oscila em torno dos 30 e 40 °C e depois decresce até a temperatura ambiente; a matéria previamente oxidada sofre um processo de humificação, isto é forma um produto rico em nutrientes provenientes de vegetais em decomposição denominado húmus, com odor de terra vegetal que pode ser facilmente manuseado e armazenado, quando aplicado no solo não causa danos a produção agrícola (SILVA et al., 2003).

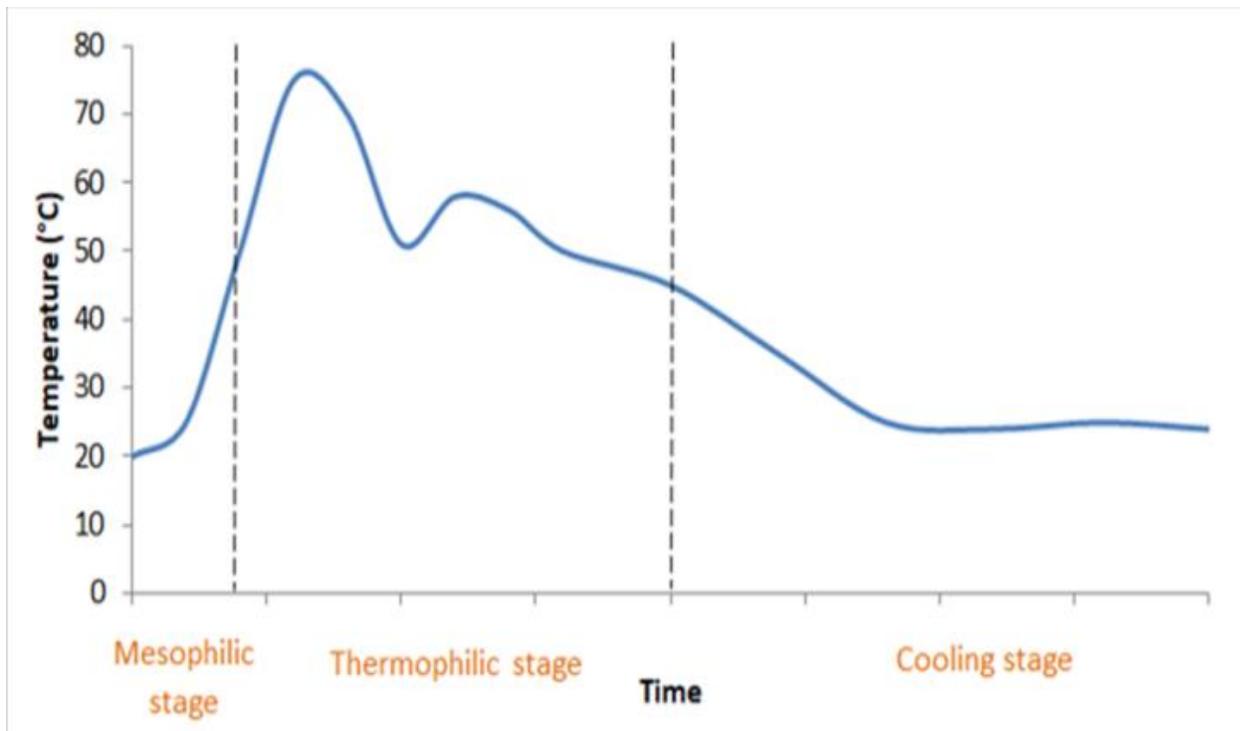


Figura: 1 Gráfico de compostagem que apresenta as fases do processo de compostagem: mesófila, termófila e maturação (Processo,2020).

2.4.2 Composto orgânico

E o produto final da compostagem, que apresenta cor escura, é rico em húmus e contém de 50% a 70% de matéria orgânica (OLIVEIRA, 2004), o composto orgânico deve apresentar características que forneçam benefícios ao uso para fins agrícolas, como forma de melhoria na qualidade do solo. A composição do composto orgânico depende da natureza da matéria-prima utilizada, facilmente degradável (carboidratos e proteínas).

O composto pode oferecer diversos nutrientes essenciais às plantas, já que a compostagem retém grande parte dos nutrientes presentes na matéria orgânica a ser degradada na matriz do composto imobilizado pela biomassa microbiana ou adsorvido nas substâncias húmicas (MILLER, 2009).

Segundo Massukado (2008), para que o composto seja utilizado de maneira segura e eficiente é necessário que seja estabilizado corretamente. A matéria orgânica original

deve ser convertida para uma forma que seja mais resistente a degradação, contenha quantidades mínimas de componentes fitotóxicos e contaminantes, e seja livre de patógenos de plantas e animais (BARREIRA, 2005, citado por MASSUKODA,2008).

2.4.3 Factores que afectam o processo de compostagem

Para que ocorra uma compostagem eficaz e necessário que se observem certos parâmetros de controlo, tais como: Aeração, Temperatura, Teor de umidade, Relação C/N, PH, Microrganismos e Tamanho das Partículas (CARVALHO et al.,1999).

Em seguida a descrição da importância de cada um dos factores durante o processo de compostagem:

2.4.3.1 Microrganismos

A reciclagem dos resíduos orgânicos é processada pela ação dos microrganismos presentes nos mesmos, onde as características físicas e químicas da MO são completamente alteradas devido à intensa atividade microbológica. Tais microrganismos apresentam algumas peculiaridades permitindo que sejam específicos na decomposição de alguns tipos de materiais em diferentes etapas do processo (PEREIRA NETO, 2014). Segundo Ressetti (2012), diferentes tipos de microrganismos predominam no processo, conforme as variações de temperatura da massa compostada, definindo as diferentes etapas do processo de compostagem.

Bactérias, fungos e actinomicetes são os principais microrganismos que participam da transformação da MO em um composto, durante o processo ocorre uma marcante e continua mudança nas espécies de microrganismos envolvidos, dependendo de alguns fatores que podem influenciar direta ou indiretamente, como relação C/N, pH, umidade, temperatura, disponibilidade de oxigênio (aeração) e natureza do material que está sendo decomposta no momento (KIEHL,2004) (VALENTE et al., 2009).

2.4.3.2 Aeração

O ar contido nos interstícios da massa do material em compostagem é importante para o metabolismo para os microrganismos envolvidos no processo (RUSSO, 2003). Sendo

a compostagem um processo aeróbio, o fornecimento de ar é vital à actividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios têm necessidade de O₂ para oxidar a matéria orgânica que lhes serve de alimento (FERNANDES, 2013). A aeração também influi na velocidade de oxidação do material orgânico e na diminuição da emissão de odores, pois quando há falta de aeração o sistema torna-se anaeróbio (RUSSO, 2003), ou gera subprodutos como o chorume e gases fétidos, atraindo insetos e animais indesejáveis (CAOPMA, 2012).

Segundo Russo (2003), aeração da massa em compostagem deve ser constante para que não se alterem as actividades metabólicas dos microrganismos e o processo de degradação da MO seja mais rápida por via da oxidação de moléculas orgânicas presentes na massa. A circulação de ar na massa do composto e de uma importância primordial para a compostagem rápida e eficiente (FERNANDES, 2013).

2.4.3.3 *Relação carbono/Nitrogénio*

A relação (C/N) é um dos mais importantes factores que afecta a taxa de decomposição de um material orgânico. Dentre os nutrientes utilizados pelos microrganismos, C e N são de extrema importância, uma vez que a concentração e a disponibilidade biológica de ambos afectam o desenvolvimento do processo.

Os microrganismos necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogénio para síntese de proteínas, sendo por essa razão que a relação C/N é considerada como factor que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos (FERNANDES, 2013).

Epstein (2011), refere que normalmente, os microrganismos utilizam uma parte de N para cada 30 partes (em peso) de C, o que sugere que esta razão de C/N (30:1) seja a mais desejável para uma compostagem eficiente, pois é desta forma que os organismos absorvem estes elementos. Fernandes (2013), considerou que apesar da grande diferença da demanda, a carência de N é limitante no processo, por ser essencial para o crescimento e reprodução celular.

Diversos pesquisadores afirmaram que a relação C/N ideal para iniciar o processo de compostagem entre 25/1 e 35/1 (BERTOLDI, 1986) (LOPEZ-REAL, 1994) (FONG et al.,

1999) (KIEHL, 2004), uma vez que durante a decomposição os microrganismos absorvem C e N da matéria orgânica na relação 30/1, sendo que das 30 partes de C assimiladas, 20 são eliminadas na atmosfera na forma de gás carbônico e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular (KIEHL,2004).

Quando o composto é incorporado ao solo, com relações C/N muito baixas ou muito altas, pode causar problemas à qualidade do composto. Resíduos com relação C/N baixa perdem nitrogênio na forma amoniacal durante o processo de compostagem, prejudicando a qualidade do composto, já se a matéria-prima possuir relação C/N alta, o processo torna-se demorado e o produto final apresentará baixos teores de matéria orgânica (KIEHL, 2004).

2.4.3.4 Temperatura

Russo (2003), afirma que altas temperaturas têm sido consideradas necessárias para uma boa compostagem, no entanto há limites a controlar, porque temperatura excessiva (80°C) por longos períodos é prejudicial ao processo devido à inibição do crescimento e mesmo à morte de microrganismos não tolerantes, reduzindo deste modo a taxa de decomposição.

A temperatura é um factor indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo. Depois de iniciada a fase termófila (em torno de 40°C), o ideal é controlar a temperatura entre 55 °C e 75 °C, nesta faixa e possível observar a máxima intensidade de atividade microbiológica. Acima de 65°C a actividade microbiológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo (FERNANDES, 2013).

Altas temperaturas, sob o ponto de vista sanitário, são vantajosas, pois eliminam microrganismos patogênicos, larvas de insetos e sementes de ervas daninhas.

Muitos estudos continuam a ser feitos de modo a estabelecer a temperatura óptima para a compostagem e a sua relação com os microrganismos envolvidos na degradação da matéria orgânica (CLARK et al., 1983).

2.4.3.5 *Teor de Humidade*

A humidade desempenha um papel importante no processo de compostagem, sendo necessária água para o transporte de nutrientes dissolvidos, imprescindíveis para manter a vida microbiana. Na ausência de água, entram em estado de dormência e o processo de compostagem é paralisado, o que pode ser observado pela redução da temperatura da leira quando esta se resseca, indicando que o processo foi interrompido sem que o material estivesse completamente degradado (CAOPMA, 2012).

A humidade é um factor que deve ser controlado desde o instante inicial do processo de compostagem, bem como durante toda a operação, de forma a assegurar valores próximos de humidade na casa dos 50-60% (m/m), de maneira a manter uma taxa suficiente para o metabolismo dos microrganismos (MATOS et al, 2003).

Segundo Valente et al., (2009), teores de humidade inferiores a 40% também devem ser evitados, uma vez que podem fazer com que a atividade biológica seja reduzida, retardando o desenvolvimento do processo, enquanto teores elevados 65% causam anaerobiose.

2.4.3.6 *Potencial de hidrogénio (pH)*

A faixa de PH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem situa-se entre (5,5 e 8,5), uma vez que a maior parte das enzimas encontram-se activas nesta faixa de pH (RODRIGUES et al., 2006).

Pereira Neto (2007), afirma que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa de PH entre 4,5 e 9,5, sendo que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos, por meio da degradação dos compostos, que produzem subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio.

A degradação do material durante a compostagem é dependente da atividade microbiana presente em cada fase. Quando são utilizadas misturas com PH próximo da neutralidade, o início da compostagem (fase mesófila) é marcado por uma queda sensível de PH, variando de (5,5 a 6,0), devido à produção de ácidos orgânicos, pH próximo de 5,0 ou

ligeiramente inferior ocorre uma diminuição drástica da atividade microbológica e o composto pode não passar para a fase termófila.

A passagem à fase termófila é acompanhada de rápida elevação do PH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente o PH se mantém alcalino (7,5-9,0), durante a fase termófila (FERNANDES et al., 1996).

Ao final do processo espera-se que o composto apresente PH entre 5 e 7, intervalo este em que os macros e micronutrientes estão mais disponíveis para a aplicação do composto no solo.

2.4.3.7 Tamanho das partículas

O tamanho da partícula interfere diretamente em vários aspectos de homogeneização da matéria (PERREIRA NETO, 2007); na compactação; na porosidade; capacidade de aeração; área superficial e tempo de compostagem. A decomposição da matéria orgânica é um fenômeno microbológico cuja intensidade está relacionada à superfície específica do material a ser compostado, sendo que quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição (KIEHL, 1985).

2.5 SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo biológico de tratamento de resíduos por isso obedecem princípios e factores que afectam no processo que não o permitem que a mesma seja realizada sem que sejam observados. Segundo Queda (1999), a compostagem não pode ser espontânea, tem de ser um processo controlado de forma a garantir; baixos custos de operação, produto final higienizado, de constante e elevada qualidade, pelo que têm sido desenvolvidos vários métodos de compostagem.

O interessante da compostagem é que um bom composto pode ser obtido tanto por tecnologias simples como por tecnologias complexas, desde que os resíduos sejam adequados e o processo biológico ocorra em boas condições (FERNANDES et al., 1996).

O sistema de compostagem é enquadrado em grupos, conforme o tipo de aeração, grau de revolvimento das leiras, ou se realizado em reactores confinados. Podendo classificar os sistemas de compostagem em:

2.5.1 Sistema de leiras estáticas com aeração forçada

O sistema de leiras estáticas forçadas consiste no empilhamento de RO sobre tubulações perfuradas conectadas a sistemas de aeradores (sopradores ou exaustores) que tem a função de insuflar ou aspirar o ar no interior da leira de compostagem (VERAS,2018). Esta tecnologia resolve um dos típicos problemas da compostagem, a falta de oxigênio no interior das leiras estáticas causado pela forte actividade microbiana nos primeiros dias do processo (INÁCIO & MILLER,2009).

Segundo Massukado (2008), sistema de leiras de aeração forçada não e para qualquer tipo de resíduo, restringindo-se a aqueles que tenham o material de entrada mais homogénea, tanto em composição como em granulometria.

Mesmo com os equipamentos de aeração, deve ser dada especial atenção a seleção e mistura dos resíduos que formam a leira, o fluxo de ar satisfatório só se dará se houver porosidade suficiente (SOARES et al.,2021). Se isto não for observado, poderá ocorrer uma distribuição não uniforme da aeração até a interrupção do processo de compostagem (INÁCIO & MILLER,2009).

A leira deve ter boa estrutura a qual mantém a porosidade durante todo o processo de compostagem (SILVA & SOARES, 2021).

Nesse sistema a aeração forçada tem o papel de satisfazer as demandas de oxigênio, assim como de remover o excesso de humidade e o excesso de calor para manter a temperatura em torno de 60°C (BERGI, 2018).

Epstein (1997), considera que a aeração forçada e a maneira mais eficiente que o revolvimento de leiras para a manutenção do processo de compostagem, via suprimento de O₂, principalmente na fase termófila, havendo por isso um satisfatório controlo na emissão de odores e redução de geração de chorume.

2.5.2 Sistema de leiras com revolvimento

Para o sistema de leiras revolvidas a pilha de resíduos e montada sobre o solo compactado ou impermeabilizado (MUSSOKADO,2008), a leira varia de retangular a trapezoidal ou até mesmo triangular. A aeração e realizada por meio de revolvimento,

que pode ser manual ou mecânico, com o objectivo de aumentar a porosidade e melhorar a homogeneidade dos resíduos (MUSSOKADO,2008), visto que neste método é comum verificar se a uma frequente interrupção do processo de biodegradação aeróbia pelo colapso da massa, isso e verificado através da queda brusca da temperatura das leiras (INÁCIO & MILLER,2009).

No momento que é realizado o revolvimento toda a massa entra em contacto com o ar atmosférico rico em O₂, suprimindo a necessidade de aeração para os processos biológicos (Bergi,2018). No entanto o efeito dessa aeração é limitado, isso porque depois de alguns minutos os níveis de oxigénio no interior das pilhas podem chegar a zero (EPSTEIN, 1997).

O sistema de leiras revolvidas e também conhecida por sistema windrow é uma das tecnologias mais usadas para a compostagem de resíduos sólidos domiciliares, sendo a que apresenta baixos custos de empreendimento e manutenção (MASSUKADO, 2008).

2.5.3 Sistema fechado (reactor)

O sistema de reactor consiste em um sistema fechado, nos quais a MO misturada e colocada dentro de reactores. Inácio & Miller (2009), referem que por se tratar de um sistema fechado, este método sofre menor influência das variações climáticas, principalmente chuva, ventos e neve, o que nas condições de países de clima temperado é mais eficaz o uso desse método.

Os reactores biológicos oferecem a possibilidade de maior controle sobre todos os parâmetros relevantes que interferem no processo como temperatura, humidade e disponibilidade de oxigênio (VERAS,2018). Esse sistema é também conhecido como método de compostagem acelerada, pois a fase termófila é reduzida a um período de 1 a 4 semanas, embora a maturação do composto possa levar até 60 dias (INÁCIO & MILLER 2009).

A compostagem em sistemas de reactores biológicos é mais dependente de equipamentos mecânicos e mão-de-obra qualificada que os sistemas de leiras (INÁCIO & MILLER,2009). De modo geral, os reactores biológicos podem ser divididos em três grupos (CARVALHO,2001): reactores de fluxo vertical, reactores de fluxo horizontal e

reactores de batelada. Nos dois primeiros, o resíduo passa pelo reactor em fluxo contínuo, o tempo de detenção é definido pela velocidade em que o resíduo percorre e o trajecto da entrada até a saída no reactor. Nos reactores de batelada, introduz-se uma carga de resíduo, quando concluída a fase termófila, o reactor é descarregado e reinicia-se o processo com resíduo fresco.

Tabela: 3 Vantagens e desvantagens dos sistemas de compostagem

Sistema de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras de aeração forçada	Médio investimento inicial; Maior controle do processo, temperatura e aeração; permite menor tempo de compostagem que as leiras revolvidas; melhor controle de odores.	Custo de implantação com equipamentos de aeração específicos; Utiliza energia externa (elétrica); Custo com manutenção de equipamentos, aeradores e tubos perfurados
Leiras revolvidas ou sistema windrow	Baixo custo de implantação; Menor exigência de acompanhamento técnico especializado em comparação com outros métodos; Flexibilidade de processar grandes volumes de resíduos; Produção de composto homogêneo.	Elevada produção de chorume e difícil controle de odores; fica dependente do clima, em dias de chuva fica difícil realizar o revolvimento da leira.
Sistema fechado (Reactor)	Aceleração da fase de degradação ativa (maturação mais prolongada); Melhor controle do processo de compostagem, aeração e temperatura; Possibilidade de automação. Menor demanda por área; Possibilidade para controlar odores via biofiltros; Independência de agentes climáticos.	Elevado investimento inicial; Maior custo de operação e manutenção com os equipamentos (sistemas mecânicos especializados); Maior produção de chorume na fase de degradação ativa; Utiliza energia externa.

Fonte: Soares et al.,2021

2.5.4 Sistema de Vermicompostagem

Se trata de um processo de reciclagem de resíduos orgânicos em produtos úteis e ecológicos, que consiste em acelerar a decomposição e humificação desses resíduos com auxílio de minhocas e microrganismos associados, em ambiente controlado (COSTA et al.,2020).

O produto da Vermicompostagem constitui um excelente fertilizante orgânico (húmus) que melhora significativamente as características físico, químicas e biológicas do solo. São várias as vantagens da Vermicompostagem, processo, agentes patogênicos contidos nos resíduos orgânicos são eliminados. Sem falar que o processo de humificação não apresenta nenhum odor, materiais instáveis são transformados em materiais estáveis, na redução dos impactos ambientais no solo, na água e no ar.

O vermicomposto é produzido a temperatura ambiente usando frequentemente minhocas das espécies vermelha da califórnia (*Eisenia foetida*) e noturna africana (*Eudrilus eugeniae*), sendo que há uma grande preferência pela vermelha da califórnia por se mostrarem eficientes na decomposição de resíduos e adaptar se facilmente a composteira (MONTEIRO,2016), diferente da noturna africana que na falta de alimento busca outros ambientes.

Para realização deste processo são utilizadas algumas opções de matéria-prima, que podem ser resíduos orgânicos domésticos, industriais, vegetais e fezes de animais. Nem todos materiais são recomendados neste processo, como os que são de difícil e lenta decomposição como e o caso de carnes, ossos, lipídeos de origem animal, laticínios, manteigas (COSTA et al.,2020).

Essas matérias tem a características de atrair vectores indesejáveis na produção do vermicomposto, podem provocar doenças.

Segundo Costa et al.,2020, para se produzir o vermicomposto e necessário que seja feito num local com mínima variação de temperatura e humidade, escolhendo matérias para a construção do minhocário que permitam boas condições de ambiente para o desenvolvimento das minhocas, deve ocorrer em ambiente escuro visto que a minhoca

tem aversão a luz, a sua exposição directa aos raios ultravioleta causa paralisia parcial e completa, por longas horas causa a morte. Dependendo da escala o processo pode ser caseiro ou industrial.



Figura: 2 Sistema de caixas usadas no processo de Vermicompostagem doméstica (<http://www.marfinitmarfinitemogi.com.br/image/cache/catalog/Mogi/m-500x500.png>)

2.5.5 Sistema de Bokashi

Segundo Sequeira et al 2013, o Bokashi trata se duma mistura balanceada de matérias orgânicas de origem vegetal e/ou animal, submetidas a processo de fermentação controlada. Bokashi que é uma palavra de origem japonesa que significa matéria orgânica fermentada, sendo que a fermentação láctica predomina no processo e pequenas proporções ocorrem, como a fermentação acética, alcoólica, propiônica e butírica.

Uma das principais funções do composto (Bokashi) é introduzir microrganismos benéficos no solo, que desencadeiam um processo de fermentação na biomassa disponível, proporcionando rapidamente condições favoráveis a multiplicação e atuação da microbiota existente no solo, como fungos, bactérias, actinomicetes e fixadores de nitrogénio, que fazem parte do processo complexo da nutrição vegetal equilibrada e da construção da sanidade das plantas (SEQUEIRA et al.,2013).

O Bokashi é feito a partir da mistura de farelos (de trigo, de arroz) e tortas vegetais (de mamonas), podendo ser enriquecido com farinha de animais (de carne e osso, de peixe) e com alguns minerais naturais (fosfatos e calcários) mas em pequenas quantidades para não interferir no processo de fermentação, a composição dependerá muito da matéria-prima disponível, na tabela são apresentadas as percentagens necessárias para cada tipo de material.

A fermentação do Bokashi pode ocorrer de duas maneiras, de forma aeróbica (presença de ar) e por forma anaeróbica (sem presença de ar). No processo aeróbico a sua preparação leva menos tempo para atingir a sua maturação em relação ao processo anaeróbico.

Tabela: 4 Tipos de materiais e percentagens médias para produção de Bokashi

Tipos	Exemplos	Quantidades em percentagens
Farelos de cereais	Farelos de arroz; de trigo; de cevada	50 % a 60 %
Tortas de oleaginosas	Torta de marmona; de soja; de girassol; de algodão	35 % a 40 %
Outros materiais vegetais	Palhas e cascas trituradas; resíduos de banana; capim e outros produtos da agricultura	Máximo 15 %
Matérias de origem animal	Farinha de carne e osso; farinha de peixe	Máximo 3 %
Minerais	Calcário; fosfato natural; pó de pedra	Máximo 2 %

Fonte: Sequeira et al.,2013

2.5.6 Sistema de Compostagem Doméstica Ou Caseira

A compostagem doméstica é um processo que se desencadeia em pequena escala, que não exige grandes custos de equipamento ou de manutenção e que pode ser promovido em habitações, universidades, escolas, bairros e municípios (LIPOR,2009).

Tratando se de um processo em pequena escala proporciona uma economia significativa de energia e custos de transporte, assim como uma redução na propagação de odores, podendo receber uma destinação adequada no local onde e gerado (MARQUES,2002).

Segundo Freitas (2016), a compostagem doméstica não pode ser vista como uma alternativa para o tratamento de todos os resíduos orgânicos da região, mas como uma solução complementar que possa colaborar com a redução do envio destes resíduos recicláveis para os aterros sanitários.

A compostagem doméstica pode ser realizada com a deposição dos resíduos orgânicos em pilhas, leiras ou composteira (WAGEM,2010). A composteira pode ser comprada ou construída pelo próprio utilizador.

Para composteiras de pequena escala em residências, universidades, escolas, bairros e municípios existem diferentes e variados modelos de composteiras, de fabricação artesanal ou industrial, com os processos sendo desenvolvidos em recipientes simples ou mecanizados.

2.5.6.1 Composteira de caixa de madeira

A mais tradicional composteira é a caixa neozelandesa, que foi desenvolvida em Auckland, na Nova Zelândia, no início da década de quarenta. A caixa se constitui de um engradado sem fundo nem tampa e tem laterais removíveis, ou seja, as tábuas são simplesmente encaixadas (CAMPBELL,1999).

Tem a vantagem de ser de fácil fabricação usando qualquer tipo de madeira até mesmo paletas que facilita na aeração da matéria orgânica e apresenta a desvantagem de se degradar rapidamente devido as condições climáticas (sol, chuva e vento).



Figura: 3 Composteira de caixa de madeira feitas com paletas (Carvalho,2020).

2.5.6.2 Composteira de rede metálica

Segundo Campbel (2005), a rede metálica de forma cilíndrica e sustentada por estacas de madeira e apoiada sobre o solo. Composteiras de rede metálica são de fácil construção, porem tem a tendência de perder mais calor do que a caixa com partes laterais mais solidas. A vantagem deste tipo de composteira e que a pilha de compostagem e facilmente acessível para o revolvimento garantindo uma maior aeração do material.

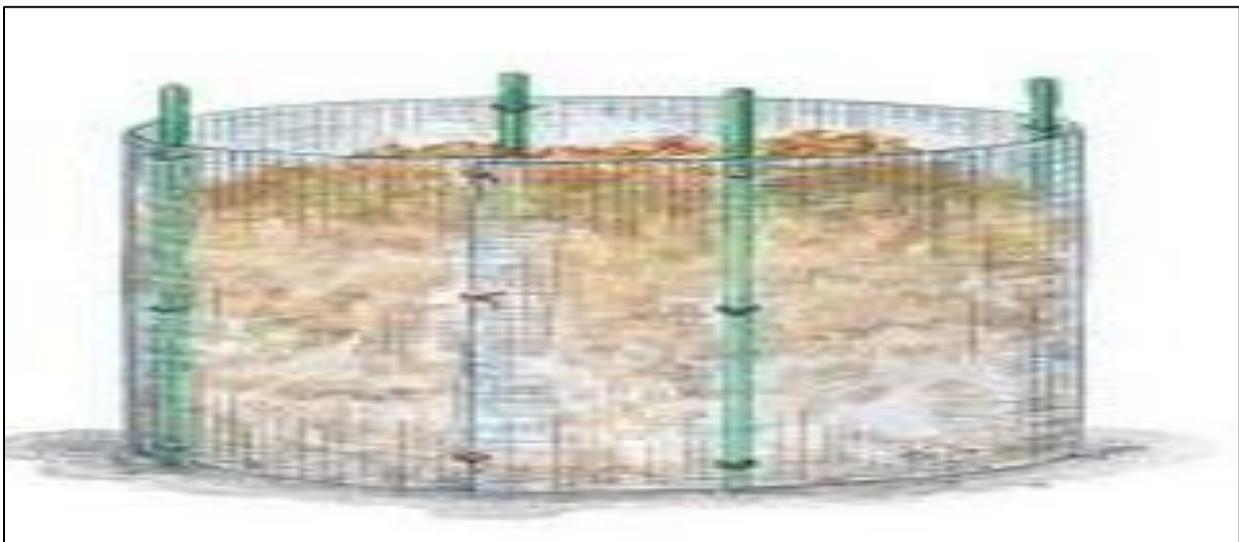


Figura: 4 Composteira de rede metálica cilíndrica (Silia,2015)

2.5.6.3 Composteira em barril rotativo

Esse sistema de composteira rotativa foi desenvolvida como uma solução eficaz para a decomposição da matéria orgânica, que acontece pela acção do microrganismo (bactérias e fungos), sem que seja necessária uma grande área de acção, apresentam uma independência das condições climáticas.

Segundo Gaspodine (2015), os reactores possuem meios para revolver e irrigar o material, o que possibilita maior controle da aeração, temperatura e humidade, sem geração de odores.

As composteiras geralmente são cilíndricas e contam com mecanismo manual ou com motor, que permite o movimento para misturação do material.

Os resíduos são introduzidos conforme vão sendo gerados, até alcançar a capacidade máxima, ou a sua decomposição completa. A extração é manual e a aeração do material se realiza durante o movimento para misturação (CAMPBEL,2005).



Figura: 5 Composteira de Barril rotativo (<https://www.researchgate.net/publication>)

2.5.6.4 Composteira de tijolos

Neste sistema de composteira é possível processar grandes quantidades de matéria orgânica ao mesmo tempo (CAMPBELL,1999). Os blocos são colocados de maneira a criar um espaçamento entre eles, ou o uso de tijolos furados garantem um bom arejamento.

Esse sistema é bastante resistente a intempéries climáticas, possui uma maior vedação, permite o escalonamento dos resíduos nos seus compartimentos de forma fácil.

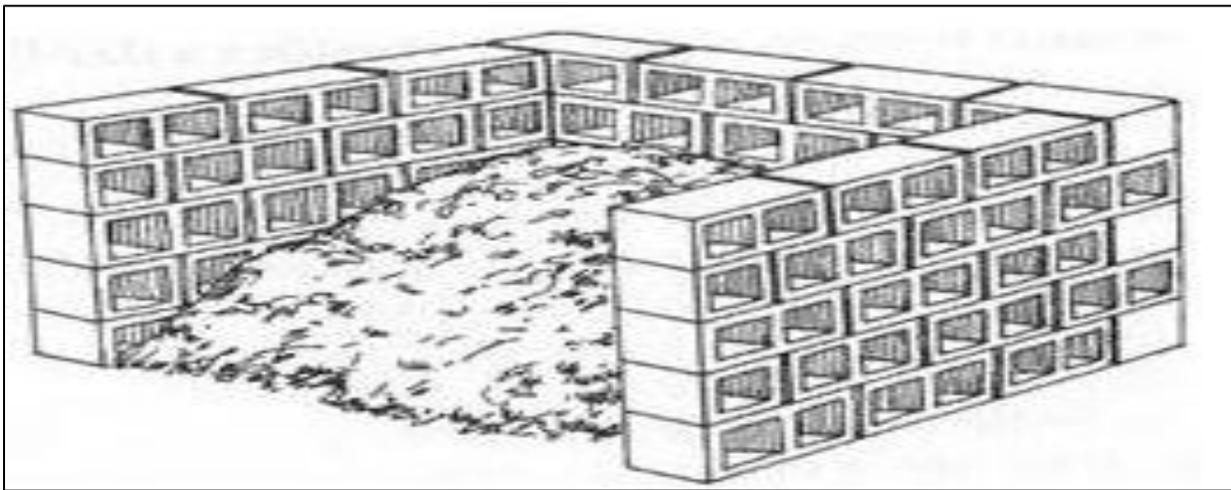


Figura: 6 Composteira de tijolos (Silva,2015)

3. MATERIAS E MÉTODOS

3.1 MATÉRIAS USADOS

Neste capítulo são apresentados os materiais, os equipamentos e os métodos utilizados no trabalho experimental.

O experimento foi realizado na Faculdade de Engenharia (UEM), que se encontra localizada na Avenida de Moçambique próximo ao terminal Rodoviário Interprovincial da junta em Maputo. O local escolhido para realizar o experimento foi por detrás do Departamento da Mecânica por apresentar uma área que não é muito transitável apesar de ser num local aberto, sofrer influência de factores externos como ventos, chuvas e incidências dos raios solares.

Para se realizar a experiência de compostagem foi necessário fazer duas composteiras domésticas usando material que pode ser encontrado em residências ou mercados, mas que obedecem ou sejam observados todos parâmetros ambientais, e como produto para a compostagem foi usado a matéria orgânica encontrada em algumas residências e oficinas de carpintaria, os seus resíduos ou restos são descartados em lixeiras.

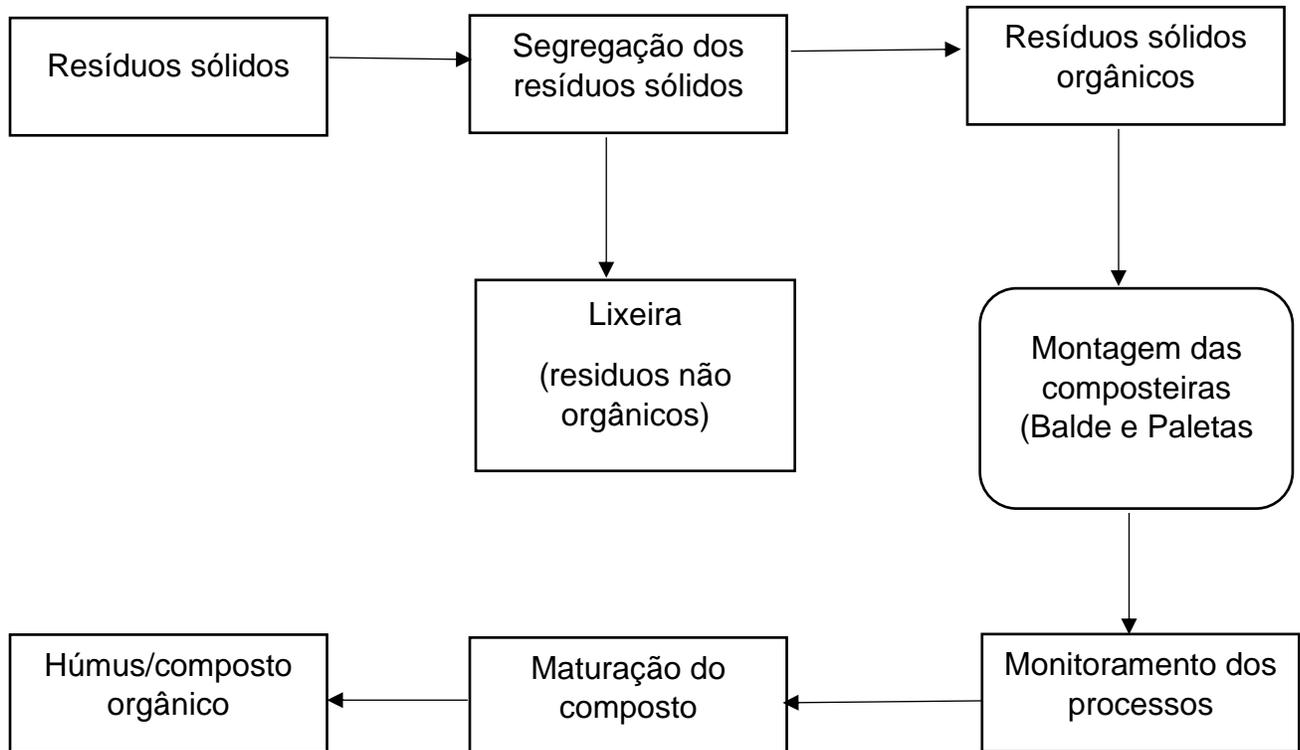


Figura: 7 Fluxograma do processo (Autor,2023).

3.1.1. Matéria orgânica

Se considera matéria orgânica a todo material de origem animal ou vegetal cujo seu descarte no ambiente não é desejável.

Em relação às matérias provenientes de vegetais são classificados por secos e verdes isto porque os secos são na sua maioria castanha e são ricos em carbono com baixo teor de humidade e de decomposição lenta (serragens, podas de jardins, capim e folhas), temos os verdes ricos em nitrogénio, com um elevado teor de humidade e uma decomposição mais rápida (restos de verduras e frutas).

3.1.1.1 *Capim seco*

O capim seco usado no presente trabalho e proveniente da Faculdade de Engenharia (FENG), situada no bairro Luís Cabral na cidade de Maputo. Foi colhido nas traseiras das oficinas no departamento da Engenharia Mecânica.

3.1.1.2 *Serradura*

A serradura usada no presente trabalho e proveniente da carpintaria da Faculdade de Engenharia (FENG), situada no bairro Luís Cabral na cidade de Maputo. Foi colhida como resíduos da madeira usada pelos carpinteiros.

3.1.1.3 *Resto de vegetais*

Os restos de vegetais usados no presente trabalho e proveniente da casa onde minha e mercados situados na Matola e vendedoras ao longo dos passeios que vendem verduras e frutas, na sua maioria descartam em lugares impróprios.

3.1.2. **Material usado para construção dos compositores**

3.1.2.1 *Balde plástico*

O balde plástico de 20 L de PP-T105 foi adquirido numa das lojas que se encontram perto do terminal da junta na Rua Carlos Morgado pelo valor de 250mt.

3.1.2.2 *Paletas*

As paletas usadas na construção do compostor de caixa de madeira foram adquiridas no mercado da madeira que se encontra na Rua Carlos Morgado próximo a terminal da junta pelo valor de 300mt.

3.1.3. **Montagem e operação do experimento**

Para se realizar a compostagem doméstica foram escolhidos dois sistemas que são de fácil fabricação e aquisição, para além de ser de baixo custo. Foi utilizado um Balde plástico de 20L do tipo PP-T105 e nele foram feitos 3 furos de 4 cm de distância em cada lado e nela foi anexado uma torneira de plástico na parte inferior do balde.

Outro sistema que foi utilizado na experiência e a caixa feita com paletas de madeira, com as seguintes dimensões 60 cm de comprimento, 43,5 cm de largura e 45,3cm de altura, para construir a composteira de paletas foi necessário a ajuda dos funcionários da carpintaria da Universidade. A figura 9 segue mostrando os sistemas usados na experiência.



Figura: 8 Detalhes do material usado para a construção das composteiras (Autor,2023): balde 20 L(a), Caixa de Paletas (b)

Antes de se encher o sistema de composteira da caixa de paletas foi necessário usar um plástico preto “usado como saco de lixo”, este plástico foi colocado por baixo da composteira cobrindo toda base da caixa de paletas (como ilustrado na figura 8), como forma de evitar o escoamento de chorume pelo chão onde se encontra a caixa de paletas. Para prender o saco plástico usei as pontas do mesmo fazendo nos entre os espaços deixados entre as madeiras.

Para o sistema usando balde de plástico de 20L,foi preciso fazer buracos em algumas laterais e na tampa do mesmo como forma de garantir que nele haja entrada de ar (O₂),isso como forma de evitar que o processo não acabe se tornando um biodigestor por ausência do ar, os buracos foram separados por 4 cm de distancia entre eles e a 16



Figura: 9 Caixa de paletas com base coberta por plástico (Autor,2023).

cm da sua base, como forma de se obter o chorume produzido foi acoplado na parte inferior do balde a 5mm da base uma torneira plástica (como ilustrado na figura 10).



Figura: 10 Balde de 20L (Autor,2023).

O preenchimento das composteiras de caixa de paletas e do balde ocorreram no mesmo dia, a primeira a ser preenchida foi a composteira de caixa de madeira. As composteiras foram montadas e enchidas no dia 15 de junho de 2023.

Antes de se realizar a experiência foi necessário primeiro quantificar a matéria orgânica colectada, como forma de se verificar a quantidade que será compostada e o quanto do produto final terá sido produzido no final da experiência.

Do material colectado foi possível quantificar 2,1kg de material seco (capim seco) e 6,7 kg de material húmido (vegetais) como ilustrados na figura 12, estas quantidades foram todas elas usadas para o experimento da caixa de paletas.



Figura: 11 Matéria orgânica utilizada na experiência (Autor,2023).

Antes do preenchimento do compostor foi necessário cortar os vegetais e restos de cascas de frutas em pedaços de 2cm como forma de diminuir o seu tamanho e manter uniformidade entre eles.

No processo de realização da compostagem usando a caixa foi colocado primeiro o material seco sobre a tela protetora (plástico), em seguida o material húmido. Assim foi desposto as matérias até serem formadas 5 camadas uma sobre a outra, até que foram atingidos 18cm de altura.



Figura: 12 Passo a passo no preenchimento da composteira (Autor,2023).

A realização do experimento usando balde plástico, logo de início foi necessário quantificar o material usado (figura 14), sendo que nesse experimento foi adicionado um novo material (Serradura) para ajudar no processo de compostagem.

Os passos seguidos no processo de enchimento do compostor não foram os mesmos que os da caixa, tendo sido necessário usar pedras como forma de substituir uma tela

que faz com que o material usado para compostar não entre em contacto com a torneira, fazendo com que somente seja filtrado o chorume.

Tendo sido colocado em seguida o capim por cima das pedras até uma altura de 5 cm, posto isso foi introduzido a matéria húmida e material seco (serradura) um sobre o outro até que se tenham formado 6 camadas.



Figura: 13 Amostras da matéria orgânica usada na composteira (Autor,2023).



Figura: 14 Sequência (a até e) do enchimento da composteira (Autor,2023).

Durante a operação de montagem da composteira do balde foram também adicionados no sistema da caixa de madeira 2,5 kg de matéria orgânica (vegetais e serradura), isso depois do revolvimento do sistema, por fim foram adicionados na parte superior uma cobertura de 1,2kg de capim seco não cortado.

3.2. MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

3.2.1 Tamanho das partículas

Segundo Perreira e Neto (2007), o tamanho da partícula interfere diretamente em vários aspectos de homogeneização da matéria como na compactação, na porosidade, capacidade de aeração, área superficial e tempo de compostagem.

Como forma de acelerar o processo de compostagem procurou se manter um tamanho uniforme das partículas dos resíduos usados na faixa de 2cm - 6cm. Sendo que no processo da caixa de paletas o tamanho das partículas foi maior, em relação ao das composteira de Balde plástico.

Tanto o capim como os vegetais foram cortados usando uma tesoura de corte de alimentos. Enquanto os resíduos de madeira a serragem foi coletados já triturada com partículas muito finas que se tornou impossível medir o seu tamanho.

3.2.2 Temperatura

A temperatura ao longo do processo foi colectada com auxílio de um termómetro digital do tipo a laser, Fluke 62mini in THERMOMETER (figura 15). A frequência da recolha dos dados era de três vezes a semana, sempre no período da manhã isto no intervalo das 9horas as 11horas nas composteiras.

Foram escolhidos três pontos de colecta com o intuito de verificar se há diferença de temperatura dentro das composteiras, durante a medição era mantido o termómetro por um minuto isto como forma de verificar se não havia alteração dos dados colectados. A temperatura do ambiente era medida sempre que havia o monitoramento das temperaturas das leiras.



Figura: 15 Termómetro digital (Autor,2023).

3.2.3 Humidade

A medição da humidade decorreu no laboratório da faculdade de engenharia no departamento de engenharia química.

Para a medição de húmida e a sua pesagem usou se uma balança de precisão de 0.0001g. Primeiramente foram pesadas três placas de porcelana, em seguida foram pesadas três placas com amostras de 5g (PU), que foram levadas ao forno a uma temperatura de 105°C durante três horas, passado esse tempo foram colocadas a arrefecer num dessecador durante 20 minutos. Depois desse tempo foi necessário pesar de novo as amostras secas (PS).

A humidade das amostras foi calculada segundo a equação 1.1. fonte: (sequeira2019).

$$U\% = 100 \times \frac{PS}{PU}$$

Onde:

U- Humidade da amostra em percentagem

PU- Peso da amostra húmida em gramas

PS- Peso da amostra seca em gramas

3.2.4 Potencial de hidrogénio (pH)

A medição do pH decorreu no laboratório da faculdade de engenharia no departamento de engenharia química.

Para a determinação do pH foi utilizado um aparelho de medição Phmetro, obedecendo os seguintes passos, foram coletados 5g de amostra (secas) de cada sistema. Em seguida em dois copos de Becker foram adicionadas 40ml de água destilada e adicionadas os 5g de cada amostra e misturados usando um bastão de vidro, por fim extraído os dados usando phmetro.

3.2.5 Maturação do composto

Segundo Mendes (2011), o composto se encontra maturado quando a actividade microbiológica decresce substancialmente, visto não existir tanta quantidade de matéria disponível para decomposição, a temperatura da pilha diminui e o pH tende a estabilizar, os odores causados pelo azoto amoniacal e pelos ácidos orgânicos voláteis não devem estar presentes mesmo quando se revolve o material.

O tempo de maturação do composto varia muito para cada unidade de compostagem, em razão da quantidade de seres vivos envolvidos no processo, quantidade, tamanho dos resíduos orgânicos em biodigestão, temperatura, humidade. Uma das formas de verificar a maturidade do composto é misturando uma porção dele em um copo com água. Vai ocorrer um destes fenómenos: o líquido após ser revolvido fica escuro como se de uma tinta preta se tratasse, fica com partículas em suspensão, mostrando que o composto está curado e pronto para uso (KING,2005).

Quando o composto estiver pronto apresentara as seguintes características: Coloração preta ou marron, cheiro agradável, temperatura ambiente mesmo se for revolvido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FACTORES QUE AFECTAM O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

4.1.1 Humidade

A humidade desempenha um papel importante no processo de compostagem, sendo necessária água para o transporte de nutrientes dissolvidos, imprescindíveis para manter a vida microbiana.

Segundo Oliveira (2010), a faixa de umidade adequada para a compostagem está entre 40% e 65%, abaixo dessa faixa o processo se torna bastante lento e acima disso a água tende a ocupar os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose.

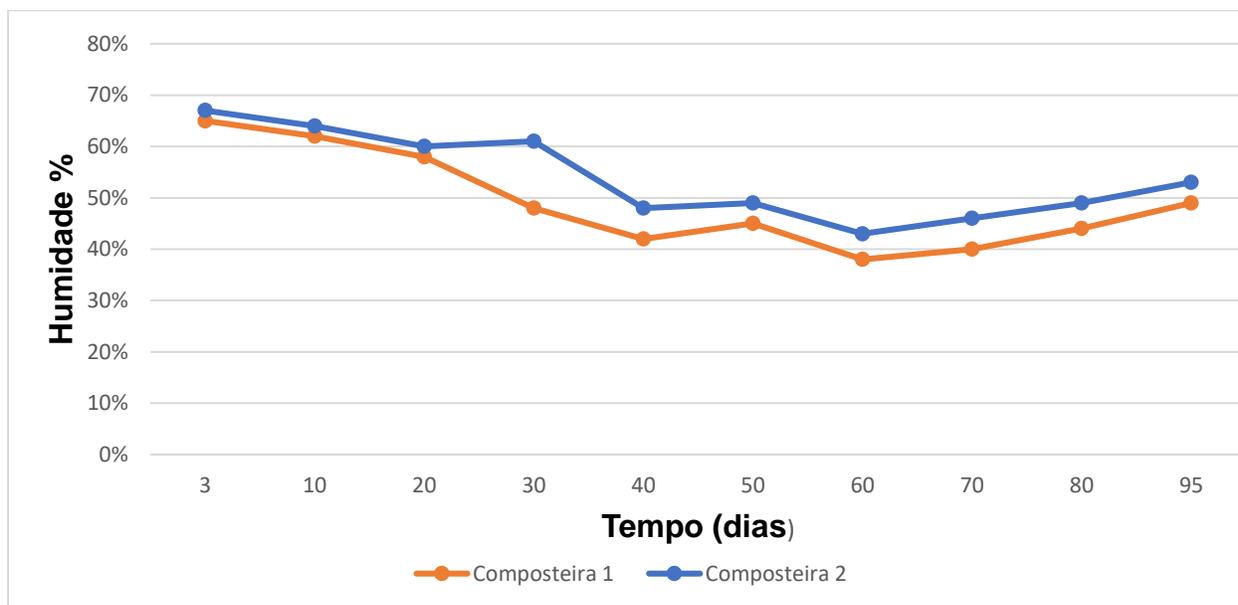


Figura: 16 Gráficos dos valores de Humidade em função do tempo (Autor,2023).

A figura 16 demonstra os valores de humidade observados das composteiras 1 e 2, nos 3^o,10^o,20^o,30^o,40^o,50^o,60^o,70^o,80^o e 95^o dias do processo.

E possível verificar que a humidade das amostras nas duas composteiras, iniciaram nas faixas dos limites considerados ideais (40% a 65%). No sistema da composteira 2 a faixa de humidade rondou entre as faixas de percentagem (60% a 43%) no período de (20^o a

60º) dias após o início do processo, mantendo-se na faixa considerada ideal por Oliveira (2010), tendo terminado o processo em 95º dias com 53% de humidade.

No sistema de composteira 1 é possível verificar, ao longo do processo uma queda dos valores de humidade, chegando a baixar até passar os 40% de humidade limite mínimo considerado ideal, no 60º dia a humidade atingiu 38% faixa considerada abaixo da ideal e só foi subir a partir do 70º dia, essa situação poderia ter prejudicado o processo de compostagem, diminuindo a actividade microbiana e fazendo com que a temperatura diminuía.

Isso deveu-se a falta de irrigação da composteira 1 nesse período, por temer irrigar e ultrapassar a quantidade desejada de água, tendo em conta que o processo já se encontrava numa fase avançada de decomposição da matéria orgânica e transformando o sistema num processo anaeróbio.

No presente trabalho foi possível observar que os sistemas terminaram o processo na faixa considerada ideal para a compostagem. Segundo King (2005), quando a humidade se encontra no intervalo óptimo, há maior actividade biológica, maior degradação dos substratos orgânicos e ocorre um decréscimo da relação C/N.

4.1.2 Temperatura

Na figura 17 são apresentados os valores obtidos das medições das temperaturas dos processos. Na compostagem a temperatura e o factor mais indicativo do equilíbrio biológico, é o que reflete a eficiência do processo (PERREIRA NETO, 1989).

O processo de compostagem ocorre em três fases: a primeira fase mesófila (25 a 40°C), seguida pela fase termófila que está acima dos 40 °C podendo atingir os 65 °C e por último voltando a fase mesófila (maturação) em que a temperatura desce e se mantém na temperatura ambiente (Carvalho et al., 2013).

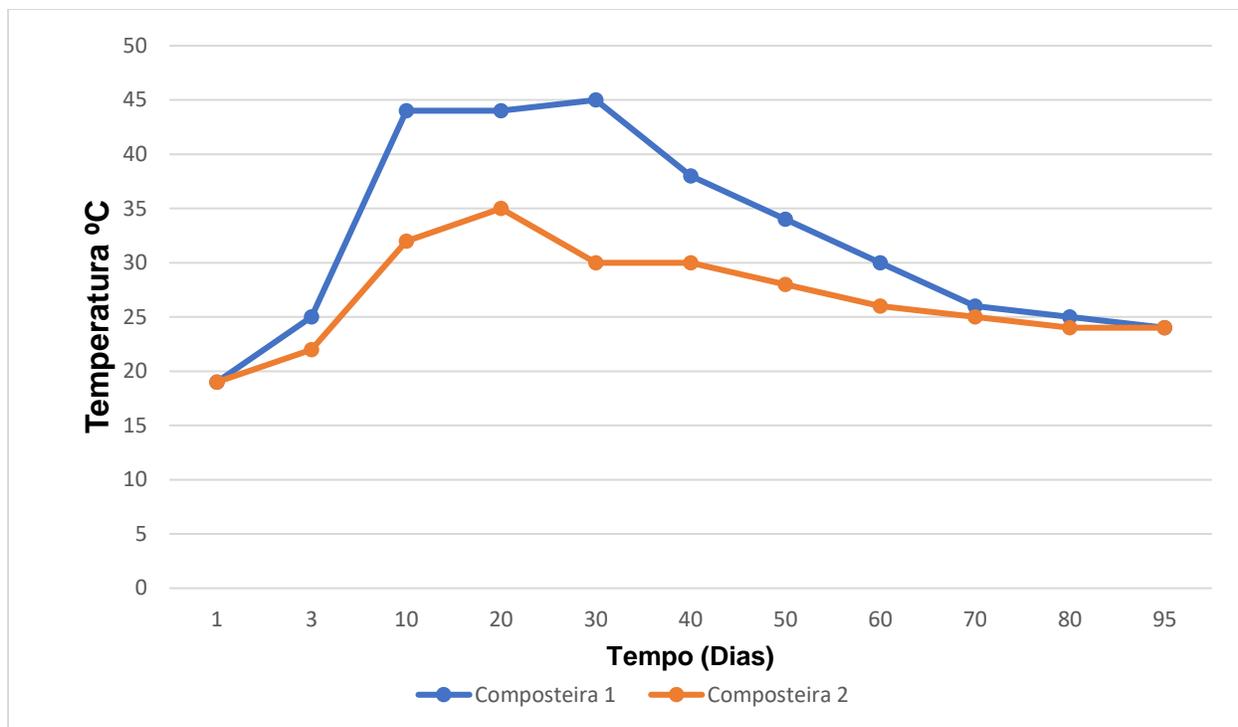


Figura: 17 Gráficos da Temperatura em função do tempo (Autor,2023).

Durante o processo, a evolução da temperatura pode ser considerada como um reflexo da actividade metabólica da população microbiana. Analisando o gráfico foi possível verificar que os dois processos atingem valores relativamente diferentes de temperatura, pode se dizer que na composteira 1 foram observadas optimas condições para o processo de compostagem.

O sistema de composteira 1 iniciou a sua actividade com temperatura a 25° C, sendo que houve um aumento da temperatura nos primeiros 9° dias atingindo os 40°C, fase denominada pelos microrganismos mesófilos, com a elevação gradual da temperatura e do processo de biodegradação a população de mesófilos diminui e os microrganismos termófilos proliferam se com mais intensidade causando a morte de fungos, chegando a atingir uma temperatura máxima de 45°C passados 34° dias desde o início do processo, esta fase durou 32° dias.

Passados os 32° dias a temperatura do processo vai descendo e consequentemente a dominação dos microrganismos mesófilos, o metabolismo dos microrganismos é responsável pelo aumento e diminuição da temperatura, isto é quanto menor for a quantidade de microrganismo menor será a temperatura no processo de compostagem

(Tang et.,al 2004). Nesta fase a uma elevação de fungos e uma intensa competição por nutrientes, passando a fase de maturação do composto e tendo terminado o processo em 95° dias com temperatura a rondar os 24°C.

O sistema de composteira 2ª iniciou a sua actividade com temperatura a 25° C, havendo um aumento de temperatura ate chegar a atingir uma máxima de 35°c passados 20 dias de compostagem.

No processo ocorre a degradação por microrganismos mesofilos que acabaram por dominar todo o processo visto que não se atingiu as temperaturas necessárias para a acção dos microrganismos termófilos, nos restantes dias houve um decrescimento da temperatura ate atingir uma media de 24 °C decorridos 95° dias de compostagem.

Segundo Kiehl (1998),desde que não falte água e o composto tenha perdido calor e a se tenha atingido a temperatura ambiente, há indicações de que o produto esteja maturado.

Segundo Perreira (2016), o desequilíbrio apresentado no processo da composteira 2 deve-se:

- Falha na construção ou manutenção do sistema;
- Falta de água durante as primeiras semanas;
- As condições ambientais do local onde foi montado o processo (sol, precipitações).

Na composteira 2 as temperaturas registadas foram baixas para início de um processo normal e rápido de decomposição onde a biodegradação dos substratos ocorrem com elevação da temperatura da massa em degradação (KING,2005). Entretanto mesmo a temperatura não ter atingido a fase termófila no sistema, os resíduos orgânicos foram degradados e transformados em composto orgânico através dos microrganismos mesofilos.

4.1.3 Potencial de hidrogénio (pH)

No gráfico da figura 19 é apresentado a evolução dos valores de pH dos sistemas do processo de compostagem. Foi observado que nesses sistemas o pH iniciou-se com valores ácidos e durante o seu aquecimento foi aumentado os seus valores de pH.

Valores baixos de pH não inibem o início do processo, mais tornam mais lento o aumento da temperatura, visto que inibem o desenvolvimento de microrganismos termófilos, a compostagem aeróbica provoca a elevação do pH da massa em biodegradação (Reis,2005).

E possível observar que a composteira 2 não atingem a fase alcalina, se mantendo na fase neutra na faixa de pH (6 a 7.2), isso se deve ao facto de o processo não ter avançado para a segunda fase termófila, mantendo se na fase mesófila. A temperatura nesse processo registou uma Máxima de 35°C não tendo atingido o mínimo para passar desta fase (mesófila).

A composteira 1 partiu de uma faixa de pH ácido (4.5) e foi subindo conforme a temperatura aumentava e manteve se na faixa de pH alcalino de (9.2), Perreira Neto (2007), afirmou que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa de pH entre (4.5-9.5), sendo que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos, por meio da degradação dos compostos, que produzem subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio.

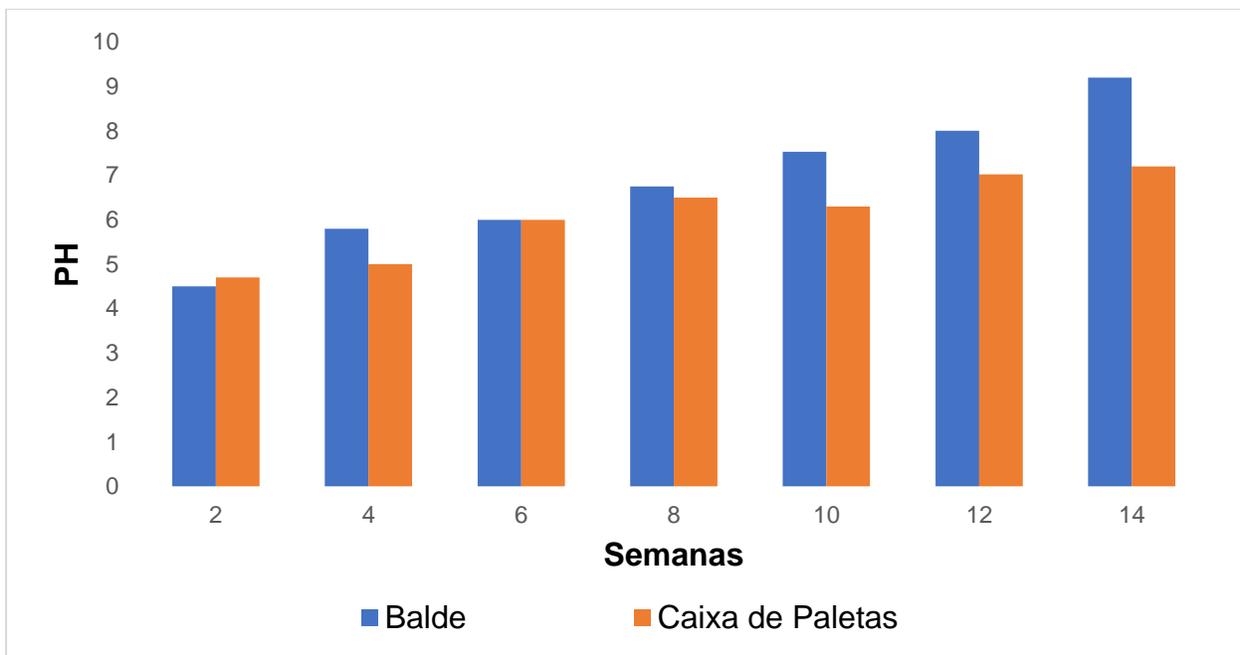


Figura: 18 Gráficos das variações do pH em função as semanas (Autor,2023).

4.1.4 Maturação do composto

A qualidade do composto depende das características biológicas, químicas e físicas dos substratos utilizados, assim como da evolução e condução do processo de compostagem (FELICIA,2009).

As composteiras foram instaladas no dia 15 de junho de 2023, tendo sido iniciado o processo nessa mesma data, se mantendo no local de compostagem por 95° dias. Passados esses dias foram observadas as seguintes características em relação a dissolução em água, cheiro e a cor.

Na dissolução em água foi possível observar que no composto produzido na composteira 1 foi o que melhor se dissolveu e mais tingiu a água, e o composto produzido na composteira 2 não se dissolveu por completo em água e menos tingiu a água.

Em relação ao cheiro os dois processos têm um cheiro agradável de terra.



Figura: 19 Amostras dos compostos maturados e a sua cor (Autor,2023).

Em relação a cor pode observar que a cor mais negra correspondeu a composteira 1, e a cor menos negra correspondeu a composteira 2 como é possível verificar na figura 19.

Na montagem dos processos de compostagem, foi possível quantificar a matéria orgânica que foi usada, que rondava em torno de 12,5kg (castanhos, verdes) por composteira e no fim do processo, foi possível produzir 6,3kg de composto maduro.

Com isso foi possível observar que houve uma redução da matéria orgânica em cerca de 50%.

5. CONCLUSÃO

O processo de compostagem de resíduos com uso de composteiras domésticas mostra-se como uma prática que permite mitigar os problemas ambientais envolvidos com a deposição e tratamento dos resíduos, ao mesmo tempo produzir um composto orgânico em menos tempo e sem custos elevados. Segundo Wagen (2010), a compostagem doméstica de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, se devidamente conduzida, considerando-se os factores básicos do processo, como aeração, umidade e temperatura, atingira o produto final desejado.

Foi possível monitorar as temperaturas dos dois sistemas de composteira domésticas. O sistema de composteira 1 proporcionou temperaturas altas atingindo uma máxima de 45°C, superando os 40°C estabelecidos por alguns autores (Rosa et.al.,2019; Perreira Neto,2014; Peixoto,2005) necessários para atingirem a fase termófila, isso em relação a composteira 2, podendo atingir as três fases do processo (mesófilo, termófilo e mesófilo), tendo atingido temperaturas ótimas para o processo de compostagem.

Contudo a composteira 2 apesar de não ter atingido a fase termófila se mantendo na fase mesófila (25 °C a 40°C), atingiu os objectivos, de degradar a MO, desde que não falte água e o composto tenha perdido calor e a se tenha atingido a temperatura ambiente, há indicações de que o produto esteja maturado (Muller,2009).

A humidade em ambos processos iniciou com as suas percentagens com médias 65% e depois foi oscilando entre valores acima e abaixo dos 50%, contudo os dois sistemas terminaram o processo com faixas ótimas (49% e 53%) de maturação, considerando que o processo foi realizado in loco e visto que nenhum dos sistemas passou para o processo anaeróbio.

Foi possível quantificar a matéria orgânica que foi usada, que rondava em torno de 25 kg (castanhos, verdes), nas composteiras e no fim do processo foi possível produzir 12,9 kg de composto maduro tendo reduzido uma média de 50%.

Os resultados sugerem que os dois sistemas de compostagem atingiram os objectivos desejados de produção de um composto orgânico maturado, usando sistemas domésticos. Esses sistemas podem ser usados em vários locais de produção de baixa escala de resíduos sólidos orgânicos, como casas, pequenos estabelecimentos comerciais e escolas.

6. BIBLIOGRAFIA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10.004: Resíduos Sólidos - Classificação, Rio de Janeiro, 2004.

BARREIRA, L. P. (2005) Avaliação das usinas de compostagem do Estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Curso de saúde pública, São Paulo.

BARRENA, R; FONT, X; GABARRELL, X; SÁNCHEZ, A. (2014). Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. Waste Management.

BERGI.R.S. (2018). Compostagem como alternativa à disposição final de resíduos sólidos orgânicos do saneamento em pequenos municípios - trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em engenharia ambiental.

CAOPMA - Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos - Apostila para a gestão de municipal de resíduos sólidos urbanos, Outubro 2012, Curitiba.

CAMPBELL, S. (1999). Manual de compostagem para hortas e jardins: como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico. São Paulo.

CAMPBELL, STU. (2005).Deixa apodrecer! - Manual de compostagem. Publicações Europa-América, Lda.

Carvalho, S.M.R. (1999). Balanço energético e potencial de biogás em granja de postura comercial,Tese, Universidade estadual paulista, Faculdade de ciências agronômicas, Botucatu.

CARVALHO, G. (2020). Compostagem na sua casa: o meio ambiente agradece. Cartilha. Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Gaspar.

CUNHA QUEDA, A. C. F. (1999). Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Tese (Doutorado em Engenharia Agro-industrial) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

Decreto n.º 13/2006 de 15 de Junho Regulamento sobre a Gestão de Resíduos.

Decreto n.º 94/2014 de 31 de Dezembro Regulamento Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.

EPSTEIN, E. (1997). The science of composting. Pennsylvania: Technomic Publishing.

EPSTEIN, E. (2011). Industrial composting environmental engineering and facilities management.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk. Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London, 2011.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Healthy soils are the basis for healthy food production, Rome 2015.

FELICIA, D. (2009). Estudo do comportamento do resíduo papel no processo de compostagem. Dissertação ao mestrado, Universidade de Aveiro -departamento de ambiente e ordenamento. Aveiro.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. (1996). Manual prático para compostagem de biossólidos. Londrina.

Fernandes,H.(2013).Estrutura da comunidade microbiana e sua influência no desempenho de reactores em bateladas sequenciais em escala real-Faculdade de Florianópolis,Florianópolis.

FERNANDES, S.M. (2015). Aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos para produção de composto especial para manutenção de coleção botânica: Estudo de viabilidade para o Instituto Inhotim, Brumadinho (Minas Gerais).Dissertação ao Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Fong, M., J.W.C. Wong, and M.H. Wong. (1999). Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. Shanghai Environ.Sci.,18:

FREITAS, L. M. C. (2016). Análise de materiais estruturantes e de recipientes usados para compostagem doméstica. Dissertação Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza.

Gaspodine, R. S. (2015). Compostagem de resíduos agroindustriais uma abordagem utilizando o projecto experimental de misturas. Dissertação de mestrado, Passo fundo.

Günther, W.M.R. (2008). Resíduos Sólidos no Contexto da Saúde Ambiental - Prevenção e Controle da Poluição por Resíduos Sólidos. Universidade de São Paulo - Faculdade de Saúde Pública. São Paulo.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. (2009). Compostagem ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Embrapa, Rio de Janeiro.

IZIDINE.S.M.(2017), Incorporação de Folhas Frescas de Moringa oleífera na Diminuição da Proporção de C/N do Bagaço de Cana-de-açúcar como Fertilizante Orgânico. Universidade Eduardo Mondlane; Faculdade de ciências-Departamento de Química e ambiental, Fortaleza. Dissertação de Mestrado-Curso em Química e Processamento de Recursos Locais. Abril, Maputo.

JARDIM, N. S. et al. (1995). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. IPT/CEMPRE São Paulo.

KIEHL, E.J. (1985) Fertilizantes Orgânicos. Ed. Agronômica Ceres Ltda. P 492, São Paulo.

KIEHL, E. J. (2004). Manual de Compostagem: Maturação e qualidade do composto. 4 Edição. Piracicaba, São Paulo.

KING, A.F.S. (2005). Análise do processo de produção de um composto a base de resíduos vegetais e estrume de animais. Universidade Eduardo Mondlane -curso de engenharia rural, trabalho de licenciatura, Maputo.

KRELING, M. T. (2006). Aterro Sanitário da Extrema e Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares: Percepção dos Moradores. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre.

LIPOR. (2009). Guia para uma gestão sustentável dos resíduos, Grande Porto.

Lopez-Real. (1994). Composting through thages . Conference Down to Earth Composting. Dundee.

LUCIANE, M. C. F. (2016). Análise de materiais estruturantes e de recipientes usados para a compostagem doméstica. Dissertação de mestrado, Universidade federal do ceará, Departamento de engenharia hidráulica

MASSUKADO, L. M. (2008) Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo.

MATOS, M. A. A; PERREIRA, F. J. M. A. (2003). “Operações de tratamento biológico. Compostagem”, in Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos, apontamentos teóricos da disciplina, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro. Aveiro.

Melo, M.F.et.al,. (2020). Vermicompostagem: Conversão de resíduos orgânicos em benefícios para solo e plantas.

https://www.researchgate.net/publication/343146352_Vermicompostagem_Conversao_de_residuos_organicos_em_beneficios_para_solo_e_plantas - visitado em: 12 de julho de 2023

MICOA-Ministério para Coordenação da Acção ambiental. Estratégia de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Moçambique, Setembro 2012. Maputo.

MILLER, P. R. M; INÁCIO, C.T. (2009). Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro:

MONTEIRO, J. H. P. (2001). Manual de gerenciamento integrado de resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM.

MONTEIRO, J.A.V. (2016). Benefícios da compostagem doméstica de resíduos orgânicos. Educação Ambiental em ação.

<http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=2310-> Visitado em 22 de Agosto de 2023

MORENO, J. et.al,. (2013). Recent advances in microbial aspects of compost production and use. Acta Horticulturae, v. 1013, p. 443-457.

OLIVEIRA, F.N.S. et.al,. (2004). Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos: Agroindústria tropical. Embrapa, Fortaleza: Online. Disponível na internet: http://cnpat.embrapa.br/publica/pub/SerDoc/doc_89.pdf - visitado em 12 de julho de 2023

Oliveira,F.S; LIMA,H.J.M.(2004).Uso da Compostagem em Sistemas Agrícolas Orgânicos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Agroindústria Tropical Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Embrapa, Fortaleza.

Oliveira,F.S; LIMA,R.F.C.(2020). A compostagem de resíduos sólidos e de poda. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 12, Vol.19. Disponível em:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/compostagem-de-residuos> -visitado em: 12 de junho de 2023

PARAJARA, F.C. (2020). Compostagem de resíduos orgânicos e a influência da utilização do composto sobre a produção de mudas de *Cedrella fissilis* Vell., visando ao uso em restauração ecológica de área degradada. Tese-Doutorado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais. SÃO PAULO.

PEREIRA NETO, J.T. (2007). Manual de compostagem: processo de baixo custo. 2 Ed. Pelotas: Editora UFV. UFV. Viçosa.

PEREIRA NETO, J.T. (2014). Manual de Compostagem: processo de baixo custo. 4. Edição. Pelotas: Editora UFV.

PERREIRA. S. (2016).Sistemas experimentais de compostagem de resíduos orgânicos. Universidade estadual paulista júlio de mesquita filho-Pos graduação em engenharia de produção. Bauru, São Paulo.

Pdul - Projecto de Desenvolvimento Urbano e Local. Guião Metodológico para a elaboração de planos de gestão integrada de Resíduos sólidos urbanos- dezembro 2020

RESSETTI, R.R. (2012). Biodecomposicao de resíduos orgânicos domésticos em reactor fechado e caracterização do composto obtido por técnicas convencionais e espectroscopicas. Universidade Estadual de Ponta Grossa-Programa de pos-graduacao em química aplicada (Tese para obtenção do titulo de Mestre em Química Aplicada), Ponta Grossa

RODRIGUES, et.al., (2006) compostagem: reciclagem de resíduos orgânicos-gestão de resíduos na agricultura e agroindústria. Botucatu.

RUSSO, M. A. T. (2003). Tratamento de resíduos sólidos. Dissertação mestrado, Universidade de Coimbra - Curso de Engenharia Civil, Coimbra.

RYNK, R. On-farm composting handbook. Ithaca, NY: NRAES, 1992.

SCHALCH1.V.et.al.,(2002). Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos- Universidade de São Paulo, Escola de engenharia de São Carlos, departamento de hidráulica e saneamento. Outubro, Sao Paulo.

SCOTT CLARK, RAGNAR RYLANDER, AND LEIF LARSSON. (1983). APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, American Society for Microbiology-Levels of Gram-Negative Bacteria, Aspergillus fumigatus, Dust, and Endotoxin at Compost Plants- Institute of Environmental Health, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio 452671; and Department of Environmental Hygiene, University of Gothenburg, and Hospital Infections Control Unit, Sahlgren's Hospital, Gothenburg, Sweden Received 21 October 1982/ Accepted 31 January 1983 (artigo científico).

SILIA, H.N. (2015). Estudos sobre compostagem com lodo de ETE com vistas à aplicação em solo agrícola. Trabalho de Graduação III, Universidade Federal do ABC- curso de Engenharia Ambiental e Urbana. Santo André – Sao Paulo.

SILVA, F.C. et al. (2003). Sistemáticas para aplicação do composto de lixo urbano em solos agrícolas no estado de São Paulo. Ribeirão Preto, Sao Paulo.

SILVA.M. C. et.al., (2003). Compostagem em Portugal. Escola superior de biotecnologia, 24 Julho. Disponível em: <http://www.esb.ucp.pt/compostagem> – visitado em 12 de julho de 2023

SIQUEIRA, A.P. P; SIQUEIRA, M.F.B. de (2013). Bokashi: Adubo Orgânico Fermentado. Programa rio rural. manual técnico, Niterói.

SEQUEIRA, L. L. (2013) Compostagem de resíduos urbanos e avaliação da qualidade dos produtos obtidos: Caso de estudo Amarsul S.A. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

SOARES, V. B; SILVA, J.A.F. (2021). Resíduos orgânicos no Brasil: métodos de compostagem para pequenas comunidades rurais. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Disponível em:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/metodos-de-compostagem> – visitado em: 21 de Junho de 2023

TANG, J.C.; KANAMORIAND, T.; INQUE, Y. (2004). Changes in the microbial community structure during thermophilic composting of manure as detected by quinone profile method. Process Biochemistry, v. 39.

Trankler, C. V.J. (2019). Gestão Municipal de Resíduos Sólidos na Ásia - Uma Análise Comparativa-Engenharia e Gestão Ambiental, Escola de Meio Ambiente Recursos e Desenvolvimento, Instituto Asiático de Tecnologia, Caixa Postal 4, Klong Luang Pathumthani 12120, Tailândia, E-mail: visu@ait.ac.th

Valente, B.S. (2009). Factores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos- Issues concerning composting of organic residues - Universidade Federal de Pelota. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Departamento de Zootecnia.Pelotas.

VERAS, R.S. (2018). Compostagem de resíduos de alimentos e podas trituradas de árvores em leiras estáticas como mecanismo de redução de gee, Dissertação de mestrado, Universidade federal do ceará, Departamento de engenharia hidráulica e ambiental, Fortaleza.

Viegas, S.M.(2012). Caracterização e quantificação de resíduos sólidos urbanos e resíduos de construção e demolição. Universidade Católica Portuguesa. Escola superior de Biotecnologia (Tese para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente).

WANGEN, D. R. B.; FREITAS, I. C. V. (2010). Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos. Revista Brasileira de Agroecologia, Uberlândia.

YU HUIYONG; XIE BEITAO; KHAN RAYYAN; SHEN GUOMING.(2019). The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic - inorganic aerobic co-composting - volume 271, January. Artigo de elsevier:

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.088>- visitado em: 5 Agosto de 2023

Zanta,V.M;FERREIRA,C.F.A.(2020).Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos-Capítulo1.Prosab.https://www.researchgate.net/profile/Viviana-Zanta/publication/266446543_Gerenciamento_Integrado_de_Residuos_Solidos_Urbanos/links/56f14b7c08aec9e096b31c9c/Gerenciamento-Integrado-de-Residuos-Solidos-Urbanos.pdf - visitado em : 10 de Julho de 2023 (google académico)

ZUCCONI, F, DE BERTOLDI, M. (1986). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: M. de Bertoldi, editor. Compost. - Production, Quality and Use.

