

Estabilização da Matéria Orgânica em Composto

Gabriela Guedes Santana

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientadora: Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda

Júri:

Presidente: Doutora Cláudia Saramago de Carvalho Marques dos Santos Cordovil, Professora associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora catedrática jubilada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, Professora auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

É de extrema importância que eu agradeça às pessoas que me ajudaram a tornar essa dissertação realidade. São elas:

- Deus.
- A professora e orientadora Ana Cristina Ferreira da Cunha Queda, que com todo o seu conhecimento e muita compreensão foi imprescindível para que eu, apesar dos percalços da vida, conseguisse elaborar a dissertação.
- A técnica superior responsável pelo laboratório 17B do edifício principal do Instituto Superior de Agronomia - ULisboa, Marie-Christine Freitas Morais, e a estagiária Iara, que foram impecáveis comigo, sempre muito solícitas e dispostas a fazer com que o meu experimento fosse um sucesso. Sem elas, essa dissertação não existiria.
- Os meus pais, Neyla Maria Rodrigues Guedes Santana e Lourival Santana Filho, que não medem esforços para me ver feliz e realizada, sempre me incentivando a superar as dificuldades e não desistir. Eles são o melhor exemplo de como uma família deveria ser.
- E, por fim, eu mesma, por não desistir, mesmo quando tenho dúvidas de se serei capaz de alcançar meus objetivos. Sem autocuidado, eu não estaria finalizando mais essa etapa na minha vida.

Resumo

Os hábitos de consumo proporcionados pelo rápido desenvolvimento tecnológico e urbano estão intrinsecamente relacionados com a excessiva produção de resíduos que, pelas suas características e quantidade, constituem a causa de um dos mais importantes problemas ambientais. Percebe-se que grande parte desses resíduos sólidos urbanos produzidos são depositados em aterros sanitários, sendo uma pequena percentagem destinada para a compostagem como forma de valorização. Situação que precisa mudar nos próximos anos, visto que a compostagem é uma excelente e eficiente tecnologia para se tratar, reciclar e valorizar biomassas que contêm um teor relevante de matéria orgânica.

Segundo a Portaria n.º 185/2022, de 21 de julho, a compostagem é a degradação biológica aeróbia dos resíduos orgânicos até à sua estabilização, produzindo uma substância húmica, designada por composto. Um composto considerado de qualidade é aquele higienizado, homogêneo, estável, maturado e cuja aplicação ao solo não causa efeitos adversos ao meio (Cunha-Queda, 1999). Este trabalho tem como objetivo principal o estudo do grau de estabilização da matéria orgânica dum composto produzido a partir de resíduos separados na fonte e recolhidos seletivamente. A avaliação foi feita recorrendo ao teste de auto aquecimento com duração de 1 mês monitorizado em intervalos de 10 dias, bem como pela análise periódica da evolução e influência de alguns indicadores.

Analisando os resultados obtidos para as amostras do composto estudado, com relação a estabilização da matéria orgânica, verificou-se através dos parâmetros analisados, do teste de auto aquecimento e da AT4, que esse composto ainda não se encontra bioestabilizado, ou seja, precisa de mais tempo para se tornar menos biodegradável e mais estável. O mesmo notou-se com relação a maturação, ou seja, o composto ainda não está maturado. Ademais, a respeito do teste de auto aquecimento, verificou-se que a temperatura máxima alcançada ocorreu nos primeiros 10 dias, como referido por diversos autores.

Palavras-chave: composto, estabilização, auto aquecimento, resíduos, matéria orgânica.

Abstract

Nowadays, the consumption habits provided by the fast technological and urban development are intrinsically related to the excessive production of solid waste which, due to its characteristics and quantity, consist in one of the most alarming environmental problems. A big part of these urban solid waste still being deposited in landfills, with a small percentage destined to composting as a form of recovery. This situation needs to change in the next years, since composting is an excellent and efficient technology to treat, recycle and value biomasses with a relevant content of organic matter.

According to the Portuguese legislation named Portaria n.º 185/2022, 21 de julho, composting is the aerobic biological degradation of organic waste, producing a stabilized and humic substance, the compost. This compost to be considered as a high quality needs to be sanitized, homogeneous, stable, matured and harmless to the environment (Cunha-Queda, 1999). Therefore, the main objective of the present work is to study the stabilization level of the organic matter fraction in a compost. The evaluation was conducted using a self-heating test for 1 month, which was monitored each 10 days, as well as through a periodic analysis of the evolution and the influence on some parameters such as pH, temperature, respiratory activity (AT4), total organic carbon, enzymes, total nitrogen, among others.

The self-heating test and AT4 results showed that the studied compost is not yet completely biologically stabilized, which means that it needs more time to become more stable. The same was noticed in relation to maturation, in other words, the compost is not matured yet. Furthermore, regarding the self-heating test, it was verified that, in fact, the maximum temperature occurred before the first 10 days, as mentioned by several authors.

Keywords: compost, stabilization, self-heating, waste, organic matter.

Índice

Índice de Quadros	vi
Índice de Figuras.....	vii
Abreviaturas	viii
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica.....	4
2.1 A Compostagem e o Composto	4
2.2 Objetivo da Compostagem e Vantagens no Uso de Compostos	6
2.3 Etapas da Compostagem.....	6
2.4 Influência e/ou Evolução dos Principais Fatores durante a Compostagem.....	8
2.4.1 pH	8
2.4.2 Teor de Humidade	10
2.4.3 Granulometria	10
2.4.4 Atividade Enzimática.....	11
2.4.5 Disponibilidade de Oxigénio.....	11
2.4.6 Temperatura	13
2.4.7 Azoto, Carbono e Razão C/N.....	14
2.4.8 Duração do Processo de Compostagem.....	16
2.4.9 Matéria Orgânica.....	16
2.5 Qualidade dos Compostos	17
2.5.1 Parâmetros Relacionados com a Estabilização dos Compostos	18
3. Materiais e Métodos	20
3.1 Composto Utilizado.....	20
3.2 Métodos Analíticos.....	20
3.2.1 Determinação da Granulometria e Materiais Inertes na Amostra Original...	20
3.2.2 Determinação dos Elementos Minerais	21
3.2.3 Massa Volúmica	21
3.2.4 pH e da Condutividade Elétrica	21
3.2.5 Humidade e Humidade Residual	21
3.2.6 Matéria Orgânica e Carbono Total.....	22
3.2.7 Azoto Amoniacal e Nítrico	23
3.2.8 Azoto Total	23
3.2.9 Razão C/N.....	24
3.2.10 Açúcares Redutores	24
3.3 Avaliação do Grau de Estabilidade	26
3.3.1 Teste de Auto Aquecimento	26

3.3.2 Atividade Respiratória ao Fim de 4 Dias	26
3.4 Análise das Atividades Enzimáticas	27
3.4.1 β -glucosidase	28
3.4.2 Fosfatases Alcalinas.....	29
3.5 Análise Estatística.....	29
4. Resultados e Discussões	30
5. Conclusões	43
6. Referências Bibliográficas	45

Índice de Quadros

Quadro 1 - Parâmetros Analíticos usados na Avaliação da Qualidade dos Compostos. (fonte: Portaria n.º 185/2022, de 21 de julho).	18
Quadro 2 - Classes de Estabilidade para Compostos. (fonte: LAGA – Merkblatt M 10, 1995). (Cit. Cordeiro, 2010).	19
Quadro 3 - Características Físico-químicas e Químicas do Composto Analisado (n=3).	31
Quadro 4 - Granulometria e Teor de Inertes do Composto Analisado.	31
Quadro 5 - Elementos Minerais no Composto Analisado.....	32
Quadro 6 - Teor de Ácidos Húmicos e Fúlvicos no Composto Analisado.	33
Quadro 7 - Temperatura Máxima Alcançada no Teste de Auto Aquecimento.....	34
Quadro 8 - MO, CE e pH das Amostras.	36
Quadro 9 - Azoto Nítrico e Azoto Amóniacal nas Amostras.	37
Quadro 10 - Resultado da AT4 nas Amostras.	39
Quadro 11 - Resultados de Carbono Orgânico, Azoto Total e Razão C/N para as Amostras.	40
Quadro 12 - Resultados das Actividades Enzimáticas e Açúcares Redutores das Amostras.	41

Índice de Figuras

Figura 1 - Destinos Finais dos Resíduos Urbanos Geridos pelos SGRU de Portugal Continental em 2020. (Adaptado de: APA, 2022).	2
Figura 2 - Representação Esquemática do Processo de Compostagem. (fonte: Vallini, 1995b).....	7
Figura 3 - Curva Teórica das Principais Variações de pH durante a Compostagem. (Fonte: Mustin,1987).	9
Figura 4 - Curva Teórica das Necessidades em Oxigénio durante a Compostagem. (fonte: Mustin, 1987).	12
Figura 5 – Perfil Típico de Temperatura numa Pilha Aeróbia. (fonte: Russo, 2004).....	14
Figura 6 - Determinação do Carbono Orgânico Total.	23
Figura 7 – Teste de Auto Aquecimento com Duração de 1 Mês.	26
Figura 8 – Determinação das Atividades Enzimáticas.	28
Figura 9 - Perfil da Temperatura em T10 para os triplicados (a, b e c).	35
Figura 10 - Perfil da Temperatura em T20 para os triplicados (a, b e c).	35
Figura 11 - Perfil da Temperatura em T30 para os triplicados (a, b e c).	36

Abreviaturas

AT4 – Atividade Respiratória em 4 dias

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CE – Condutividade Elétrica

CO₂ – Dióxido de Carbono

Corg – Carbono Orgânico Total

EMPRABA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

MO – Matéria Orgânica

Nt – Azoto Total

N-NH₄⁺ - Azoto Amoniacal

NH₃ - Amoníaco

NO₂⁻ - Ião Nitrito

N-NO₃⁻ - Azoto Nítrico

SGRU - Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos

1. Introdução

Atualmente, os hábitos de consumo proporcionados pelo rápido desenvolvimento tecnológico e urbano estão intrinsecamente relacionados com a excessiva produção de resíduos que, pelas suas características e quantidade, constituem a causa de um dos mais importantes problemas ambientais. Como a sociedade é composta por cidadãos extremamente consumistas, isso faz com que a produção de resíduos sólidos urbanos aumente numa escala considerável ano após ano, causando disfunções ambientais e problemas de saúde pública. Para amenizar esse problema, é necessário que todas as etapas da gestão desses resíduos, que englobam desde a sua geração até a sua deposição final, sejam planeadas de forma conjunta entre governantes e a sociedade buscando a solução mais eficiente.

Com isso, tem-se que a gestão dos resíduos sólidos urbanos é um tema atual, polémico, complexo e frequentemente em debate. A análise das políticas e ações desenvolvidas na Europa, e especificamente em Portugal, conduz a importantes conclusões sobre os avanços e necessidades na instituição de políticas, planos e programas de governo que visem uma gestão sustentável e integrada dos resíduos sólidos. A produção de resíduos em Portugal tem aumentado significativamente ao longo dos anos, sendo insustentável este ritmo de crescimento, tanto em termos económicos, como em termos ambientais, tornando-se imprescindível a adoção de medidas que revertam esta situação. Na atualidade, a tendência é o estabelecimento de políticas que levem à prevenção e redução do volume dos resíduos, desde o início do processo produtivo e em todas as etapas seguintes, além da possível valorização dos recursos dos resíduos (Pasquale Trotta, 2011), como é o caso da compostagem.

Por exemplo, em relação aos destinos finais dos resíduos sólidos urbanos geridos pelos Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) de Portugal Continental, em 2020, verifica-se a distribuição apresentada na Figura 1.



Figura 1 - Destinos Finais dos Resíduos Urbanos Geridos pelos SGRU de Portugal Continental em 2020. (Adaptado de: APA, 2022).

No entanto, percebe-se que ainda grande parte dos resíduos sólidos urbanos produzidos são descartados em aterros sanitários, sendo uma pequena percentagem destinada para a compostagem como forma de valorização. Situação que precisa mudar nos próximos anos, visto que a compostagem é uma excelente e eficiente tecnologia para se tratar, reciclar e valorizar biomassas como a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e dos resíduos orgânicos de origem agropecuária, agroindustrial ou florestal.

Se o processo de compostagem for bem monitorizado permite a produção de um produto final – o composto – de qualidade adequado para ser utilizado como fertilizante ou corretivo orgânico melhorando a germinação e desenvolvimento da vegetação sem prejuízos para as culturas, para a saúde humana e para o ambiente. O grau de estabilização e de maturação da matéria orgânica do composto são indicadores úteis e muito utilizados para avaliar a qualidade do composto.

Este trabalho tem, portanto, por objetivo principal o estudo do grau de estabilização da matéria orgânica dum composto produzido a partir de resíduos separados na fonte e recolhidos seletivamente. A avaliação foi feita recorrendo ao teste de auto aquecimento com duração de 1 mês monitorizado em intervalos de 10 dias, com análise periódica da evolução e influência de alguns indicadores como pH, temperatura, atividade respiratória, carbono orgânico total,

fosfatases alcalinas e β -glucosidase, entre outros que serão melhor detalhados na secção de Materiais e Métodos.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 A Compostagem e o Composto

Com a crescente produção de resíduos sólidos mundialmente, a compostagem tem, cada vez mais, se afirmado como uma ótima escolha de tecnologia voltada para a reciclagem, tratamento e valorização dos resíduos sólidos orgânicos, sejam eles provenientes de centros urbanos, da agropecuária ou agroindústrias, por exemplo. Como produto desta compostagem obtém-se o que se chama de composto, cuja aplicação no solo pode vir a beneficiar a agricultura dependendo da qualidade do mesmo (Cunha-Queda, 1999; Cintra, 2003).

A definição de compostagem teve imensas modificações, ao longo dos anos, à medida que os vários estudiosos se aprofundavam acerca do assunto. Uma das primeiras foi a de Haug (1980), que define compostagem como sendo um processo biológico de decomposição e estabilização de substratos orgânicos em condições favoráveis ao desenvolvimento de temperaturas termófilas, resultando na libertação de energia na forma de calor e gerando um produto estável, que possa ser armazenado e aplicado ao solo sem comprometer o meio-ambiente.

Para Gonçalves (1999), a compostagem consiste na decomposição da fração orgânica biodegradável dos resíduos sólidos em suas componentes mais simples, como aminoácidos, ácidos gordos e açúcares solúveis, com a conseqüente reorganização de parte destas componentes para a formação dos ácidos húmicos. Os microrganismos são os responsáveis por esses processos e, ao contrário do que acontece no meio-ambiente, a decomposição precisa ocorrer em condições controladas de arejamento, temperatura e humidade.

Para Cunha-Queda (1999), a compostagem pode ser definida como um processo aeróbio controlado de bioxidação de substratos heterogêneos biodegradáveis, resultante da ação de microrganismos, como bactérias, actinomicetas e fungos naturalmente associados aos substratos, durante o qual ocorre uma fase termófila, libertação temporária de substâncias com efeito fitotóxico e profunda transformação da biomassa, sendo o principal produto designado de composto, o qual deve ser homogêneo, higienizado e estável.

Para Epstein (2011), a compostagem é a decomposição biológica da matéria orgânica em condições aeróbias, através de uma gestão controlada do processo. Esse controle visa garantir que a temperatura e o nível de oxigénio sejam mantidos nas condições adequadas.

Na Portaria n.º 185/2022, de 21 de julho está escrito que a compostagem é a degradação biológica aeróbia dos resíduos orgânicos até à sua estabilização, produzindo uma substância húmica, designada por composto.

Já para a EMBRAPA (2022) “a compostagem é um método aeróbio de reciclagem e tratamento dos resíduos orgânicos que busca reproduzir algumas condições ideais observadas no processo natural de degradação da matéria orgânica, bem como garantir a segurança do processo. Uma boa compostagem depende do controle de alguns fatores-chave, como umidade, temperatura, aeração (nível de oxigênio) e balanço de nutrientes (carbono e azoto). O controle destes fatores favorece que os microrganismos, como fungos e bactérias, atuem na acelerada degradação da matéria orgânica, garantindo a eliminação dos patógenos e evitando a presença de vetores de doenças”.

Em relação ao composto produzido pela compostagem, segundo Cunha-Queda (1999), uma possível definição para ele seria: um produto homogêneo, resultado da oxidação biológica de substratos heterogêneos e biodegradáveis, higienizado, que pode ser armazenado, por conta da sua estabilidade, e inofensivo ao meio-ambiente quando aplicado ao solo.

Na Portaria 185/2022, de 21 de julho é definido que o composto é um produto higienizado e estabilizado, resultante da decomposição da matéria orgânica por compostagem, cujas características são de molde a beneficiar, direta ou indiretamente, o crescimento das plantas.

Já para a EMBRAPA (2022), no final do processo de compostagem, há uma significativa redução do volume dos resíduos, onde estes se transformam em um material de cor escura, com textura homogênea e cheiro de terra, chamado de composto orgânico, que pode ser aplicado diretamente ao solo após passar por uma avaliação de qualidade.

Segundo Martinho e Gonçalves (2000), um composto de boa qualidade é caracterizado por ser rico em matéria orgânica, conter reserva de húmus, que proporciona a manutenção ou melhoria das propriedades do solo (estrutura e capacidade de conservação da humidade, por exemplo) e por fornecer às plantas nutrientes indispensáveis como azoto e fósforo permitindo a diminuição do uso de fertilizantes industriais. Sendo assim, deve-se conhecer a qualidade do composto (estabilidade, maturação e higiene) antes de aplicá-lo ao solo para que não se tenha, conseqüentemente, efeitos adversos.

2.2 Objetivo da Compostagem e Vantagens no Uso de Compostos

A compostagem tem como objetivo principal transformar, através da decomposição por microrganismos, a fração orgânica dos resíduos sólidos originários gerando um produto (composto) estável, maturado, higienizado, não fitotóxico, com uma concentração equilibrada de nutrientes para posterior utilização na agricultura como corretivo orgânico dos solos, além de servir como base estrutural para esses. Ademais, o processo de compostagem permite a eliminação de maus odores e a redução de volume e de massa (Agricultura Urbana, s.d.; Vallini, 1995a; Santos, 2012).

Para a UCS (s.d.), o uso desses compostos tem como algumas vantagens:

- Aumento da saúde do solo - a matéria orgânica compostada liga-se às partículas do solo (areia, limo e argila), ajudando na retenção da água e drenagem do solo e melhorando seu arejamento;
- redução da erosão do solo - a matéria orgânica compostada aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão;
- redução de doenças na agricultura - o composto aumenta a população de minhocas, insetos e microrganismos desejáveis, estabelecendo um equilíbrio entre as populações e as culturas;
- manutenção da temperatura e estabilização do pH do solo;
- ativação da vida do solo - o composto favorece a reprodução de microrganismos benéficos às culturas agrícolas;
- aproveitamento agrícola da matéria orgânica - a compostagem diminui a perda econômica ou aumenta o lucro na propriedade rural;
- processo ambientalmente seguro - a compostagem dos resíduos orgânicos reduz o impacto e a poluição ambiental.

2.3 Etapas da Compostagem

O primeiro passo para iniciar o processo de compostagem é selecionar e misturar os resíduos sólidos que serão utilizados, os depositando em pilhas ou em compostores (depende da disponibilidade de espaço) em local plano, contra o vento e sombreado, para evitar a amplitude térmica adversa. Como referido anteriormente, as condições de temperatura, humidade e arejamento precisam de ser controladas para a obtenção de um composto de qualidade. A mistura deve ser revolvida periodicamente. Essa operação acelera a

compostagem, impede o mau cheiro, equilibra a temperatura e oxigena o produto. Quando finalizado, cerca de 90 a 120 dias após o início da compostagem, o composto terá um aspecto homogêneo, textura semelhante à terra, coloração castanha e odor agradável (Associação Caatinga, 2020). Essa transformação dos materiais orgânicos só ocorre devido a presença dos microrganismos aeróbios que se desenvolvem à custa dos substratos orgânicos disponíveis na compostagem (Figura 2).

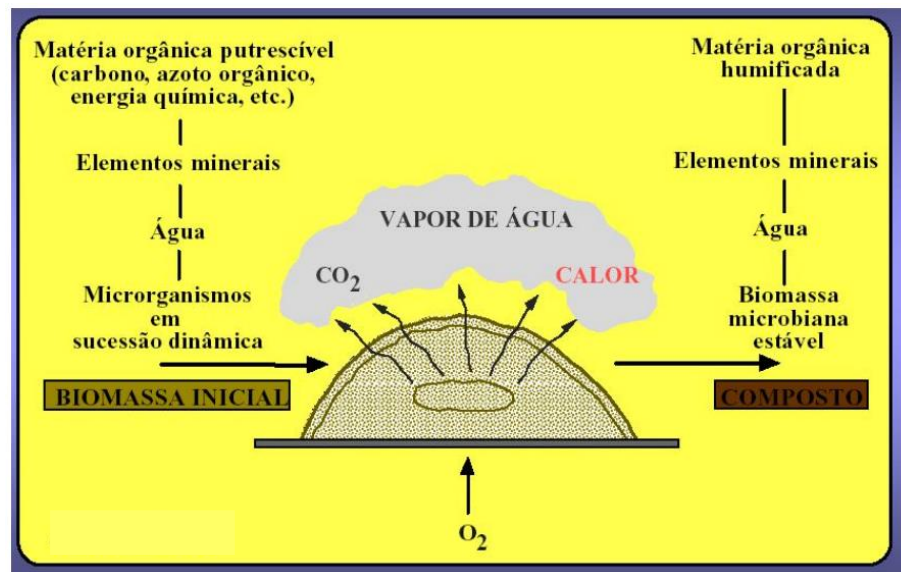


Figura 2 - Representação Esquemática do Processo de Compostagem. (fonte: Vallini, 1995b).

Segundo Cunha-Queda (1999), num sistema de compostagem existem três etapas consecutivas para garantir a qualidade do composto, são elas: condicionamento dos materiais, o processo de compostagem e afinamento do composto.

No condicionamento dos materiais, ocorre um pré-processamento, em que a fração orgânica é separada de possíveis contaminantes. Em seguida, algumas correções são feitas à biomassa através da adição, se necessária, de agentes de suporte e/ou agentes condicionantes, com o intuito de assegurar a boa estrutura da mistura a compostar e, também, fornecer carbono ou azoto, como forma de equilibrar a presença dos elementos. Além disso, alguns corretores são adicionados para manter o teor de umidade no ponto ótimo.

Para Merkel (1981) e Vallini (1995b), existem duas fases principais no processo de compostagem, são elas: a fase ativa da compostagem, que é caracterizada pela rápida e intensa transformação da fração orgânica disponível, por microrganismos aeróbios, com o alcance de temperaturas elevadas, ocorrendo a libertação de calor, CO₂ e vapor de água. E a fase de acabamento (*curing*), que ocorre a seguir à fase ativa e é caracterizada por ser uma

fase de lenta e progressiva diminuição da temperatura. Durante esta segunda fase a biomassa em compostagem perde a fitotoxicidade residual, a população microbiana atinge um equilíbrio dinâmico e ocorre a síntese de substâncias húmicas.

Por fim, o afinamento do composto é um pós-processamento, no qual se realiza um tratamento mecânico, com a finalidade de melhorar as características granulométricas e remover possíveis contaminantes inertes que não foram eliminados na etapa de condicionamento.

2.4 Influência e/ou Evolução dos Principais Fatores durante a Compostagem

A monitorização dos parâmetros químicos, biológicos, físicos e físico-químicos no processo de compostagem é de extrema importância para o melhor conhecimento do mesmo, bem como para o seu controle e otimização, permitindo prever a qualidade do composto obtido (Cunha-Queda, 1999). Os principais fatores que afetam a decomposição dos resíduos são: a granulometria, a temperatura, o oxigénio disponível (arejamento), a humidade, a matéria orgânica, o pH, a atividade enzimática, a razão C/N e a duração do processo em si (Cunha-Queda, 1999; Russo, 2004; Oliveira, 2011). Ou seja, percebe-se que muitos dos indicadores que afetam o processo da compostagem estão diretamente relacionados a existência de uma população microbiológica diversificada que possibilita uma melhor degradação da biomassa original.

2.4.1 pH

Embora o pH, geralmente, não seja um fator crítico na compostagem, devido ao efeito tampão da pilha de composto, a sua variação é um indicador do estágio em que se encontra o processo. Nos primeiros dias da fase ativa da compostagem, ocorre um decréscimo no valor do pH da biomassa como resultado da formação de ácidos orgânicos devido à degradação ou da acumulação de ácidos intermediários, decorrentes da grande quantidade de material carbonáceo presente, sendo assim, esse parâmetro encontra-se em uma faixa entre 4 e 5 (Paiva *et al.*, 2010). De acordo com Pereira Neto (2004), para a maioria das bactérias, a faixa ótima de pH está entre 6 e 7,5 e para os fungos entre 5,5 e 8,0. Segundo Graves *et al.* (2000), a faixa ideal para a atividade microbiana é de 6,5 a 8,0, pois abaixo de 5,0 e acima de 9,0 a compostagem processa-se de forma muito lenta. Já para Rodrigues *et al.* (2006), a faixa de pH ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontram ativas entre esses limites

de pH. Ademais, Tchobanoglous *et al.* (1993) relatam que o valor de pH não deveria exceder 8,5 a fim de minimizar as perdas de azoto pela sua volatilização na forma de NH_3 .

Logo, percebe-se que, ao longo do processo de compostagem, a variação do pH ocorre devido às transformações sofridas pelo substrato. Sendo assim, a Figura 3 apresenta as quatro fases principais da evolução do pH, segundo Mustin (1987):

- Fase I: o pH diminui. É uma fase de acidificação, ocorrendo a produção de CO_2 e de ácidos orgânicos; predominam os microrganismos mesófilos;
- Fase II: o pH aumenta devido à produção de azoto na forma amoniacal proveniente da hidrólise do azoto orgânico por intermédio de microrganismos heterotróficos aminizantes e amonificantes, com a consequente produção de amoníaco. É uma fase de alcalinização, onde predominam os microrganismos termófilos;
- Fase III: caracterizada pelo início da estabilização do pH. O amoníaco produzido na fase anterior diminui quer devido à sua volatilização quando as condições assim o favorecem (temperatura e pH elevados), quer por ação das bactérias nitrificantes que o oxidam (da forma amoniacal para nitrito e depois nitrato). O azoto presente também é utilizado pelos microrganismos para a biossíntese das substâncias húmicas;
- Fase IV: o valor do pH tende para a neutralidade. Esta estabilização do pH deve-se às reações de maturação e ao poder tampão do húmus.

Por fim, sabe-se que os valores finais de pH para a maioria dos compostos está numa faixa entre 6,0 e 8,0. Essa variação ocorre devido as diferentes matérias-primas utilizadas e a escolha do processo de compostagem. A avaliação do pH do composto é muito importante, visto que, ao ser usado na agricultura, por exemplo, uma acidez ou uma alcalinidade excessiva pode danificar as raízes das plantas, inibindo o desenvolvimento dessas, assim como o crescimento da vegetação (Stoffella e Kahn, 2004).

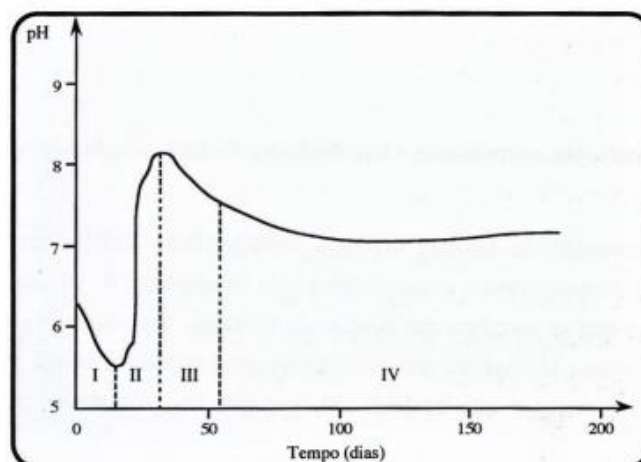


Figura 3 - Curva Teórica das Principais Variações de pH durante a Compostagem. (Fonte: Mustin, 1987).

2.4.2 Teor de Humidade

De acordo com Vallini (1995b), os resíduos sólidos utilizados na compostagem devem ter teores de humidade compreendidos entre uma faixa de 45% a 65%, pois sabe-se que para valores inferiores a 40% a atividade dos microrganismos decresce e para valores superiores a 65% a água presente ocupa o espaço que deveria ser do ar na maior parte dos interstícios existentes entre as partículas da biomassa, o que dificulta a difusão do oxigénio, podendo originar condições de anaerobiose. Já Brito (2005), afirma que o teor de humidade ideal para o processo de compostagem situa-se entre as percentagens de 50% e 60%, salientando que para valores menores de 35% a decomposição da fração orgânica é fortemente diminuída e que para valores superiores a 65% ocorre um abrandamento na degradação devido ao excesso de água que ocupa os espaços vazios da matéria e impede a circulação de oxigénio, conseqüentemente, criando condições de anaerobiose o que ocasiona mau cheiro, além de permitir a lixiviação de nutrientes e lixiviados potencialmente poluentes no solo.

2.4.3 Granulometria

A granulometria refere-se as dimensões das partículas encontradas no agregado de resíduos em compostagem e de suas respetivas percentagens de ocorrência. O tamanho dessas partículas influencia diretamente na cinética das diversas reações químicas que ocorrem durante o processo, sendo assim quanto menor o tamanho das partículas, maior será a sua área superficial, proporcionando um maior contato das mesmas com os microrganismos decompositores o que facilitará e agilizará a degradação do material por esses organismos (Graça, 2015).

Para Martinho e Gonçalves (2000), o controle do tamanho das partículas dos resíduos para compostagem é importante, porque, por exemplo, ao diminuir o tamanho, isso permite com que a área de superfície em contato com os microrganismos aumente, diminuindo o tempo do processo de compostagem. Entretanto, deve-se ter cuidado para não deixar o tamanho das partículas excessivamente pequeno, visto que, isso acarretaria a uma diminuição dos espaços intersticiais, dificultando a circulação do ar e da água, que são elementos imprescindíveis para uma boa decomposição da biomassa.

2.4.4 Atividade Enzimática

Como a compostagem é um processo em que ocorre a decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos, as enzimas têm neste processo um papel fundamental onde servem de catalisadores bioquímicos das reações (Cunha-Queda, 1999). Para Mustin (1987), há dois tipos de enzimas: as extracelulares que são produzidas e excretadas pelos microrganismos em atividade, e as intracelulares, libertadas após a morte ou destruição das células. As enzimas intracelulares são importantes, já que indicam que existe uma atividade enzimática no composto e que esta é independente da microbiota nele presente. No entanto, durante a compostagem, são as enzimas extracelulares que desempenham o papel principal na transformação dos substratos encontrados nas biomassas, como é o caso da β -glucosidase e das fosfatases alcalinas.

As fosfatases alcalinas foram estudadas por Godden *et al.* (1986) durante ensaios de compostagem com estrume de bovinos, e, nesse estudo, verificaram que a atividade enzimática foi elevada durante a fase termófila da compostagem, e que no final da fase de estabilização, após o processo decorrer em condições ótimas, obtinha-se, também, valores altos dessas enzimas. O que não acontecia nos processos de compostagem que eram feitos em más condições. A partir dos resultados dos ensaios, eles puderam verificar que: valores elevados e constantes de atividade das fosfatases alcalinas devem estar correlacionados com compostos maturados; já valores baixos, mas crescentes de atividade destas enzimas, corresponderão a compostos quase maturados; e valores de atividade baixos, mas constantes e/ou decrescentes, corresponderão a compostos provenientes de processos de compostagem mal-conduzidos.

Relativamente às enzimas relacionadas com o ciclo do carbono, a β -glucosidase desempenha um papel importante na decomposição da matéria orgânica. Pois ela, em conjunto com as celulasas, participa da degradação da celulose catalisando a hidrólise de grandes moléculas de hidratos de carbono produzindo açúcares mais simples como a glucose, que é uma fonte de energia para os microrganismos (Alvarenga *et al.*, 2008).

2.4.5 Disponibilidade de Oxigénio

A disponibilidade de oxigénio na compostagem vem do arejamento das pilhas ou leiras através do revolvimento dos materiais que as constituem. As principais funções deste arejamento são: garantir a quantidade de oxigénio necessária para os microrganismos aeróbios manterem-se em atividade, diminuir o calor excessivo, remover o vapor de água para

permitir a secagem do material e retirar os gases resultantes da decomposição (CO_2 , NH_3 , etc.) do interior da massa de compostagem (Fernandes, 1999).

Como é de conhecimento geral, todos os seres vivos aeróbios precisam de oxigênio para oxidar os substratos orgânicos necessários ao seu metabolismo. Sendo assim, a quantidade de oxigênio presente no ar, que se encontra nos espaços intersticiais existentes na matéria orgânica originária, é fundamental para a compostagem. Vale lembrar que, a existência desses interstícios com ar depende da granulometria e da forma das partículas da biomassa, bem como da quantidade de água presente nelas (Cunha-Queda, 1999). De acordo com Mustin (1987), o consumo de oxigênio verificado numa biomassa em compostagem é, portanto, um parâmetro diretamente relacionado com a atividade dos microrganismos aeróbios. Na Figura 4 é apresentada uma curva teórica das necessidades de oxigênio ao longo da compostagem.

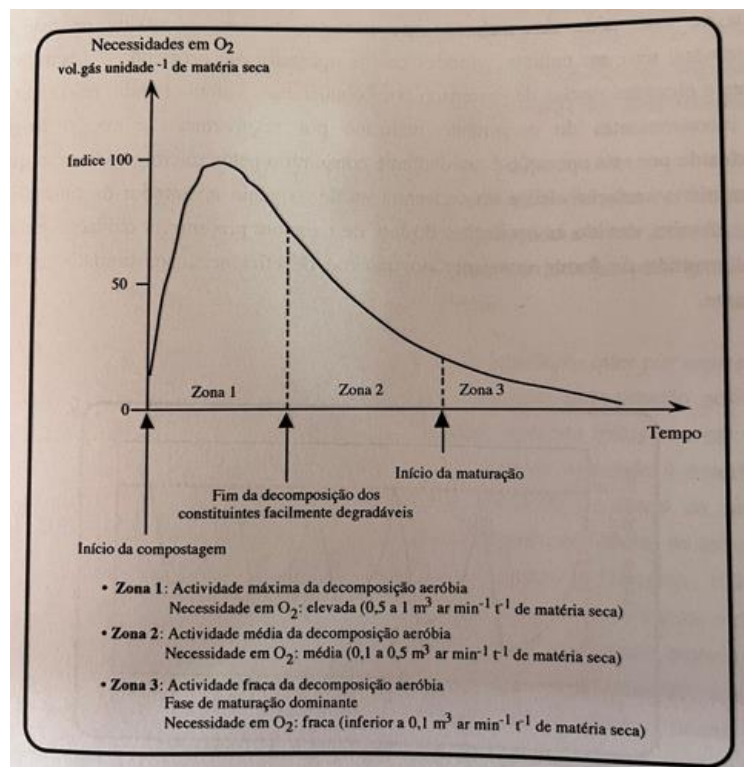


Figura 4 - Curva Teórica das Necessidades em Oxigênio durante a Compostagem. (fonte: Mustin, 1987).

O arejamento pode ocorrer, por exemplo, por meio de revolvimentos manuais ou mecânicos fazendo com que as camadas externas da pilha de compostagem se misturem às internas, que se encontram em um grau mais avançado de decomposição (Valente *et al.*, 2009). Para Richard *et al.* (2002), as concentrações de oxigênio acima de 10% são consideradas ótimas para a manutenção da compostagem em condições de aerobiose. Entretanto, o arejamento

deve ser muito bem controlado, uma vez que um suprimento excessivo de ar pode fazer com que a perda de calor seja mais intensa do que a produção de calor microbiano (Lau *et al.*, 1992). Além disso, Kader *et al.* (2007) afirmam que o arejamento excessivo pode aumentar a emissão de gases poluentes como o amoníaco e o óxido nitroso. Ademais, sem um arejamento adequado da biomassa as condições tornam-se anaeróbias, predominando os microrganismos anaeróbios, originando uma acumulação de compostos como ácidos orgânicos voláteis, sulfuretos etc., caracterizados por um odor agressivo e por elevada fitotoxicidade (Cunha-Queda, 1999).

2.4.6 Temperatura

De acordo com alguns autores, a temperatura é considerada o indicador mais importante da eficiência do processo de compostagem, estando intimamente relacionada com a atividade metabólica dos microrganismos, a qual, também, é diretamente afetada pela taxa de arejamento (Li *et al.*, 2008). Tiquia *et al.* (1997), verificaram que num processo de compostagem com uma mistura de dejetos de suínos e serradura, a aferição da temperatura é um parâmetro que pode indicar a taxa de decomposição e a maturação do composto, sendo este considerado maturado, quando a temperatura atingir valores próximos da ambiente. Entretanto, deve-se levar em conta o fato de a evolução da temperatura, durante a compostagem, ser afetada por outros fatores como a humidade do substrato, a disponibilidade de nutrientes, o tamanho da pilha de compostagem, entre outros. Sendo assim, não se pode afirmar que o composto está maturado apenas ao analisar se a temperatura da biomassa atingiu valores próximos a temperatura ambiente.

Segundo Rodrigues *et al.* (2006), a decomposição inicial da matéria orgânica é feita por microrganismos mesófilos, que utilizam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis presentes nos resíduos sólidos. Como o metabolismo desses microrganismos é exotérmico, parte do calor gerado no processo, durante a oxidação da matéria orgânica, acumula-se no interior da pilha de compostagem (Tang *et al.*, 2004), elevando a temperatura de 25 °C para 40-45 °C, em um período de 2 a 3 dias (Kiehl, 1985). Porém, quando a temperatura atinge valores acima dos 45 °C, a atividade microbiológica mesofílica é suprimida e há o aparecimento de uma comunidade microbiana termofílica (Tiquia, 2005).

Para Peixoto (1988) e Snell (1991), é na fase termófila que ocorre a máxima decomposição das frações orgânicas, sendo considerada uma fase de degradação ativa de polissacarídeos como o amido, a celulose e as proteínas, transformando-os em subprodutos que servirão de alimento para a microbiota (Pereira Neto, 2007). Com a degradação e, conseqüentemente,

diminuição dos estoques de carbono, a temperatura vai decrescendo gradualmente, até atingir à temperatura ambiente (Vinneras *et al.*, 2003). Nesta etapa do processo de compostagem, surgem novamente os microrganismos mesófilos, para atuar na humificação do composto (Zucconi e De Bertoldi, 1986), através da degradação de componentes mais resistentes como a hemicelulose e a lenhina (Tuomela *et al.*, 2000). Sabe-se que, a qualidade de um composto pode ser avaliada por meio de seu grau de estabilidade e humificação (Lima, 2006), entretanto, vale ressaltar que, a mineralização excessiva da matéria orgânica não é desejável, pois o valor do composto, para ser usado como corretivo orgânico, depende em parte do seu conteúdo orgânico (Huang *et al.*, 2004). Por fim, Mari *et al.* (2003) afirmam que a taxa de decomposição é o resultado da atividade metabólica proveniente de uma população microbiana heterogênea, que se desenvolve em diferentes temperaturas ótimas, levando a uma estabilização do material compostado (Adani *et al.*, 2003).

Russo (2004) acrescenta que, numa pilha de compostagem, as temperaturas desenvolvem-se do interior para o exterior de forma decrescente, quando em condições aeróbias, com um perfil típico da Figura 5. Devido às temperaturas alcançadas durante o processo (na ordem dos 60 °C), ocorre a eliminação de patógenos, sementes de infestantes e outros órgãos de propagação, reduzindo a transmissão de doenças e a fitotoxicidade do material (Cunha-Queda e Ferreira, 2021).



Figura 5 – Perfil Típico de Temperatura numa Pilha Aeróbia. (fonte: Russo, 2004).

2.4.7 Azoto, Carbono e Razão C/N

A quantidade de nutrientes presentes no processo de compostagem é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento dos microrganismos que fazem a degradação da matéria orgânica. Portanto, é de extrema importância que haja um equilíbrio entre os macro e micro

elementos presentes nos resíduos a serem compostados. No caso da compostagem de biomassa, há um interesse principal nos teores de carbono e de azoto, por serem indispensáveis para os microrganismos decompositores (Cunha-Queda, 1999; Russo, 2004). Segundo Brito (2005), o carbono é importante uma vez que, para além de ser fonte de energia para a atividade microbiana, ele representa cerca de metade da massa das células dos microrganismos. Já o azoto, é indispensável para a síntese e composição das proteínas presentes nesses seres vivos.

Durante o processo de compostagem, as formas azotadas presentes no substrato sofrem sucessivas transformações, sendo as moléculas que contêm o azoto decompostas na fase ativa desse processo por intermédio de microrganismos heterotróficos amenizantes, dando origem as aminas e aminoácidos. Em seguida, ambos são transformados em amoníaco por microrganismos heterotróficos amonificantes. Com o aumento da temperatura e do pH, o azoto na forma amoniacal sofre volatilização, provocando uma diminuição do azoto total (Cunha-Queda, 1999). Outra conversão que ocorre ao longo do processo de compostagem é a transformação do azoto amoniacal em azoto nítrico, o que proporciona uma diminuição do azoto na forma NH_4^+ (amoniacal) e um aumento nas formas NO_3^- e NO_2^- . Com isso, mesmo ocorrendo a volatilização citada anteriormente, a quantidade de azoto total formada é superior à que é perdida, devido a nitrificação (Neto *et al.*, 1987). Segundo Cunha-Queda (1999), esta fase de nitrificação é indício do alcance da maturação do composto. Por este motivo, alguns autores utilizam a razão $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$ para avaliar esse grau de maturação (Batista *et al.*, 2007). Logo, percebe-se que um alto teor de azoto amoniacal pode indicar um composto não ou pouco maturado.

De acordo com Zucconi e De Bertoldi (1986), Lopez-Real (1994), Fong *et al.* (1999) e Kiehl (2004), a razão C/N ideal para iniciar o processo de compostagem está entre 25/1 e 35/1 uma vez que durante a decomposição os microrganismos consomem carbono (C) e azoto (N) da matéria orgânica na razão 30/1, sendo que das 30 partes de C assimiladas, 20 são eliminadas na atmosfera na forma de CO_2 e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular (Gorgati, 2001; Kiehl, 2004).

Trautmann *et al.* (1997) afirmam que, com a evolução da compostagem, a razão C/N diminui gradualmente, o que dá origem a um composto com a razão próxima de 10-15:1. Esta diminuição ocorre, pois cada vez que os compostos orgânicos são consumidos por microrganismos, 2/3 do carbono é perdido para a atmosfera como CO_2 , enquanto a maior parte do azoto é reciclado em novos microrganismos. Por fim, muitos estudiosos afirmam que o tempo para que ocorra a estabilização ou a maturação dos resíduos orgânicos está diretamente relacionado com a razão C/N inicial dos materiais utilizados como substratos.

Sendo assim, para alcançar uma razão C/N adequada, talvez seja necessário misturar diferentes resíduos orgânicos na pilha de compostagem (Valente *et al.*, 2009).

2.4.8 Duração do Processo de Compostagem

O tempo necessário para ocorrer a transformação do resíduo orgânico em um composto de qualidade depende de muitos fatores, como das características da matriz orgânica inicial, da temperatura, da humidade, do tipo de arejamento e da dimensão da pilha (Cunha-Queda, 1999). Segundo Oliveira *et al.* (2005), por exemplo, no caso de uma compostagem caseira feita com resíduo orgânico doméstico numa pilha com 1,2 a 1,5 m de altura, 1,5 a 2 m de largura e comprimento de 2 a 4 m, localizada na região Nordeste do Brasil, o processo da compostagem ocorre de 9 a 16 semanas, dependendo do material orgânico utilizado, das condições ambientais e do cuidado no revolvimento constante e uniforme do material.

Para Vallini (1995b), com um bom teor de humidade (60-65%), uma razão C/N adequada (≈ 25) e um arejamento eficaz da biomassa, pode-se realizar o processo de compostagem em algumas semanas. Ou seja, algumas das condições que podem tornar um processo de compostagem mais demorado estão relacionadas com os fatores referidos anteriormente, como: baixo ou alto teor de humidade do substrato, razão C/N elevada ($> 40\%$), baixas temperaturas, pouco arejamento, inadequada granulometria das partículas e presença significativa de materiais resistentes ao ataque microbiano.

2.4.9 Matéria Orgânica

Devido ao carácter heterogéneo da biomassa, a matéria orgânica presente nos resíduos a compostar apresenta grande diversidade e complexidade. Como se trata de substratos degradáveis, um dos objetivos do processo de compostagem é a sua estabilização, de forma a que o composto produzido se apresente estável e semelhante ao húmus (Cunha-Queda, 1999). De acordo com Zucconi *et al.* (1981) e Zucconi e De Bertoldi (1987), se a fração orgânica dos compostos não se encontrar suficientemente estabilizada ao ser aplicada aos solos, esse fato pode causar sérios prejuízos ao desenvolvimento das plantas devido à presença de substâncias fitotóxicas, e, também, a elevada atividade microbiana existente pode competir com as raízes das plantas em relação ao oxigénio e ao azoto disponíveis.

Sabe-se que as substâncias húmicas formam o principal constituinte orgânico do solo e representam a forma mais evoluída e estável da matéria orgânica. Ao longo do processo de

compostagem, ocorrem duas fases interdependentes: a de decomposição e a de humificação dessa fração orgânica. Durante a fase ativa da compostagem, primeiramente, ocorre a decomposição dos constituintes facilmente degradáveis em condições oxidantes, como os açúcares, ácidos gordos, aminoácidos e proteínas. Em segundo plano, outras moléculas orgânicas como a hemicelulose, celulose e lenhina sofrem uma degradação mais lenta, sendo a lenhina a mais resistente a ação dos microrganismos (Cunha-Queda, 1999). Na fase de acabamento (*curing*), como resultado da combinação de processos biológicos, microbiológicos e químicos, é completada a transformação da matéria orgânica, ainda em condições aeróbias, evitando uma excessiva mineralização da matéria orgânica, o que permite a formação das substâncias húmicas e a eliminação das fitotóxicas (Ciavatta *et al.*, 1993). Vale ressaltar que, a biomassa pode ser convertida em três tipos de substâncias húmicas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e a humina (Cunha-Queda, 1999).

2.5 Qualidade dos Compostos

Como referido, vários fatores influenciam no processo de compostagem, por conta disto, para se avaliar a qualidade de um composto é necessário analisar conjuntamente diversos parâmetros que possibilitem uma avaliação minuciosa dessa qualidade para posterior utilização do mesmo. Para isso, segundo Cunha-Queda (1999), devem ser considerados os aspectos relacionados com os possíveis impactes ambientais/agronômicos e os relacionados com o grau de estabilidade e de maturação dos compostos.

Um produto de qualidade é aquele higienizado, homogêneo, estável, maturado e cuja aplicação ao solo não cause efeitos adversos ao meio (Cunha-Queda, 1999). Para que se alcance um composto nesses moldes é necessária uma motorização ao longo de todo o processo de compostagem, além da escolha de uma tecnologia adequada e da seletividade da matéria-prima a compostar (Cunha-Queda, 1999; Teodoro, 2006).

De acordo com a Portaria n.º 185/2022, de 21 de julho, o composto para ser comercializado deve ser enquadrado em classes de qualidade com critérios para a sua utilização evitando, assim, possíveis efeitos nocivos para o solo, água, plantas, animais e seres humanos. No Anexo III dessa Portaria, encontram-se os valores admitidos referentes a um conjunto de parâmetros analíticos (Quadro 1), entre outros fatores, que devem ser cumpridos ao se avaliar a qualidade dos compostos orgânicos.

Quadro 1 - Parâmetros Analíticos usados na Avaliação da Qualidade dos Compostos. (fonte: Portaria n.º 185/2022, de 21 de julho).

Matéria Orgânica (MO)	Devem conter um teor mínimo de 30% de matéria orgânica (reportado à matéria seca).
Teor de Humidade	O teor máximo de humidade permitido, expresso em percentagem de massa, é de 40%.
Granulometria	Cerca de 99% do material que constitui o composto deve passar por um crivo de malha quadrada de 25 mm.
pH	Deve situar-se entre 5,5 e 9,0.

Por fim, sabe-se que para a avaliação da qualidade dos compostos é necessário conhecer o seu grau de estabilidade e maturação. Ao longo dos anos, alguns parâmetros que têm sido utilizados para analisar a maturação e estabilidade incluem a razão C/N, a evolução do pH, a condutividade elétrica, a capacidade de troca catiónica, o carbono solúvel, teste do auto aquecimento, taxa de consumo de oxigénio, temperatura, teor de substâncias húmicas, odor, coloração e fitotoxicidade. Dada a inexistência de um método universal para proceder à avaliação, torna-se imprescindível recorrer a vários métodos para indicar uma conclusão segura sobre a qualidade dos compostos. No caso desse trabalho, o foco de estudo foi na estabilização do composto.

2.5.1 Parâmetros Relacionados com a Estabilização dos Compostos

Para Haug (1980), o termo estabilização tem sido utilizado como o resultado da oxidação dos materiais orgânicos e a sua transformação em formas menos suscetíveis de serem degradadas, ou seja, mais estáveis, e que, embora sejam ainda passíveis de decomposição, apenas o são numa taxa muito menor quando comparados com a biomassa inicial. Segundo Adani *et al.* (1997), a estabilização da matéria orgânica ocorre durante a fase ativa da compostagem, devendo a sua avaliação ser associada à atividade microbiana existente medindo-se a taxa respiratória. Por sua vez, Cunha-Queda *et al.* (2002) mencionam que a estabilidade de um composto pode ser designada como resultado da elevada taxa de reações microbiológicas que ocorrem durante a fase ativa do processo, enquanto a maturação aparece, pelo contrário, como efeito da fase de maturação (*curing*).

Essa estabilidade dos compostos pode ser avaliada por diferentes metodologias, como é o caso dos métodos respirométricos e do teste de auto aquecimento, que serão apresentados a seguir.

➤ Teste de Auto aquecimento

O teste de auto aquecimento consiste em avaliar a evolução da temperatura de uma amostra de composto, colocada num recipiente adiabático, chamado de Dewar flask, em intervalos regulares e durante vários dias (na metodologia são propostas 72 horas, mas o aconselhado são 10 dias), sendo a temperatura máxima atingida o que determina a classe de estabilidade do produto (Cunha-Queda, 1999), Quadro 2.

Quadro 2 - Classes de Estabilidade para Compostos. (fonte: LAGA – Merkblatt M 10, 1995). (Cit. Cordeiro, 2010).

Designação	Temperatura máxima	Classe de estabilidade
Material inicial	>60°C	I
Composto fresco	50 – 60°C	II
Composto fresco	40 – 50°C	III
Composto maturado	30 – 40°C	IV
Composto maturado	<30°C	V

➤ Métodos Respirométricos

Os métodos respirométricos baseiam-se na taxa de consumo de oxigénio, na produção de CO₂ e/ou no calor libertado, ao longo da compostagem, para avaliar a atividade microbológica e, conseqüentemente, o grau de estabilidade dos compostos produzidos. Logo em 1968, Chrometza verificou que o consumo de oxigénio e emissão de CO₂ aumentam rapidamente no início da compostagem e, posteriormente, diminuem até ao final do processo, o que refletiu uma possível relação entre a taxa de respiração com a estabilidade dos compostos. Sendo assim, ao longo dos anos, diversas metodologias foram desenvolvidas para se avaliar a taxa respiratória em compostos dito estabilizados.

3. Materiais e Métodos

3.1 Composto Utilizado

Para o presente estudo foi utilizado um composto produzido a partir da mistura de resíduos orgânicos provenientes da preparação de alimentos e da restauração e de podas da vegetação de parques e jardins com separação na fonte e recolha seletiva .

No laboratório, procedeu-se à homogeneização da amostra global e seguidamente foi dividida em 5 partes distintas para análise, nomeadas como:

1. Amostra original: referente a amostra que foi analisada logo no dia em que o composto chegou ao laboratório.
2. Amostra T0: referente à amostra que foi analisada no mesmo dia em que se iniciou o teste de auto aquecimento, o que ocorreu aproximadamente 1 semana após o composto chegar ao laboratório.
3. Amostra T10: referente a amostra que ficou durante 10 dias no teste de auto aquecimento.
4. Amostra T20: referente a amostra que ficou durante 20 dias no teste de auto aquecimento
5. Amostra T30: referente a amostra que ficou durante 30 dias no teste de auto aquecimento.

A amostra original após homogeneização foi caracterizada de acordo com os métodos indicados a seguir. No caso das restantes amostras a caracterização foi feita após os tempos indicados.

3.2 Métodos Analíticos

3.2.1 Determinação da Granulometria e Materiais Inertes na Amostra Original

A granulometria foi determinada através da pesagem de uma certa quantidade de amostra, previamente seca a 104 °C, e posteriormente procedeu-se ao peneiramento desta através de crivos com uma malha sucessivamente mais apertada, respectivamente de 20 mm, 10 mm, 5 mm, 2 mm e 1 mm. Do material que resultou dos três primeiros crivos (superior a 5 mm) procedeu-se à triagem das pedras e anotou-se o seu peso e o material que resultou dos quatro primeiros crivos (superior a 2 mm) realizou-se a triagem de inertes, anotando-se também o seu peso.

3.2.2 Determinação dos Elementos Minerais

A extração dos elementos minerais totais foi realizada segundo a Norma Europeia 13650 (EN 13650:2001) e as leituras segundo a ISO 11885:1998.

Após a secagem da amostra a 75 °C, procedeu-se à sua moenda a 500 µm. Pesou-se 1 g para frasco de Erlenmeyer de boca esmerilhada e adicionou-se 21 mL de ácido clorídrico concentrado (37%) e 7 mL de ácido nítrico concentrado (65%) com um condensador de ar em cada frasco. Deixou-se a amostra em repouso debaixo da hotte por aproximadamente 16 h. Depois, os frascos foram colocados em cima de uma placa de aquecimento mantendo-se a temperatura de fervura durante 2 h. Por fim, transferiu-se o conteúdo do Erlenmeyer para um balão de 100 mL com a ajuda de um funil e papel de filtro de porosidade intermédia (Whatman 40 - banda branca), preenchendo o volume do balão até o traço.

Posteriormente, realizaram-se as leituras por ICP (espectrofotometria de emissão de plasma). Os resultados das concentrações de Cu, Zn, Ni, Pb, Cd e Cr foram reportados à matéria seca e expressos em mg.1000 g⁻¹ na m.s.

3.2.3 Massa Volúmica

A massa volúmica aparente do composto foi determinada com base na Norma EN 13040 de 1999. Para tal utilizou-se uma proveta de 1 L e procedeu-se ao seu enchimento, de modo que a amostra ficasse compactada, e anotou-se o peso, expresso em g/L.

3.2.4 pH e da Condutividade Elétrica

O pH e a condutividade elétrica (CE) do composto foram determinados de acordo com as Normas EN 13037, de dezembro de 1999 e EN 13038, de dezembro de 1999. Preparou-se um extrato aquoso com uma quantidade de amostra equivalente a 60 mL de amostra e 300 mL de água desionizada. Após agitação durante 1 hora procedeu-se à leitura do pH no potenciómetro. Em seguida, foi feita a leitura da condutividade elétrica, os valores foram expressos em mS/cm.

3.2.5 Humidade e Humidade Residual

O teor de humidade do composto foi determinado de acordo com a Norma EN 13040 de 1999, por gravimetria após secagem em estufa a 104 °C, de cerca de 10 g de amostra até atingir

peso constante. Também foi determinado o teor de humidade em amostras previamente secas em estufa a 75 °C, posteriormente moídas e crivadas a 2 mm e a 500 µm. Os resultados foram expressos em percentagem.

3.2.6 Matéria Orgânica e Carbono Total

A matéria orgânica do composto foi determinada de acordo com a Norma EN 13039 (1999), por gravimetria após incineração a ± 450 °C em mufla de cerca de 10 g de amostra. Os resultados foram expressos em percentagem de matéria seca.

Já o carbono orgânico total do composto foi determinado através do método de Tinsley. Colocou-se entre 0,015 g – 0,018 g do composto em análise, previamente seco a 75 °C e crivado a 2 mm, em um balão Erlenmeyer e juntou-se 25 mL de solução extrativa (19,87 g de dicromato de sódio + 200 mL de ácido ortofosfórico + 400 mL de ácido sulfúrico por litro). Por fim, colocou-se um tubo de refluxo e levou-se à placa de aquecimento durante 2 horas. Após arrefecimento, adicionou-se 200 mL de água destilada e 7 gotas de solução indicadora (ferroína) e procedeu-se à titulação com sal de Mohr 0,4 N até o aparecimento de uma cor verde esmeralda. Os resultados foram expressos em percentagem (g 100/g de matéria seca da amostra seca a 75 °C e crivada a 2 mm).

Em simultâneo, foi efetuado um ensaio em branco, apenas com a solução extrativa, e a determinação da concentração do sal de Mohr.

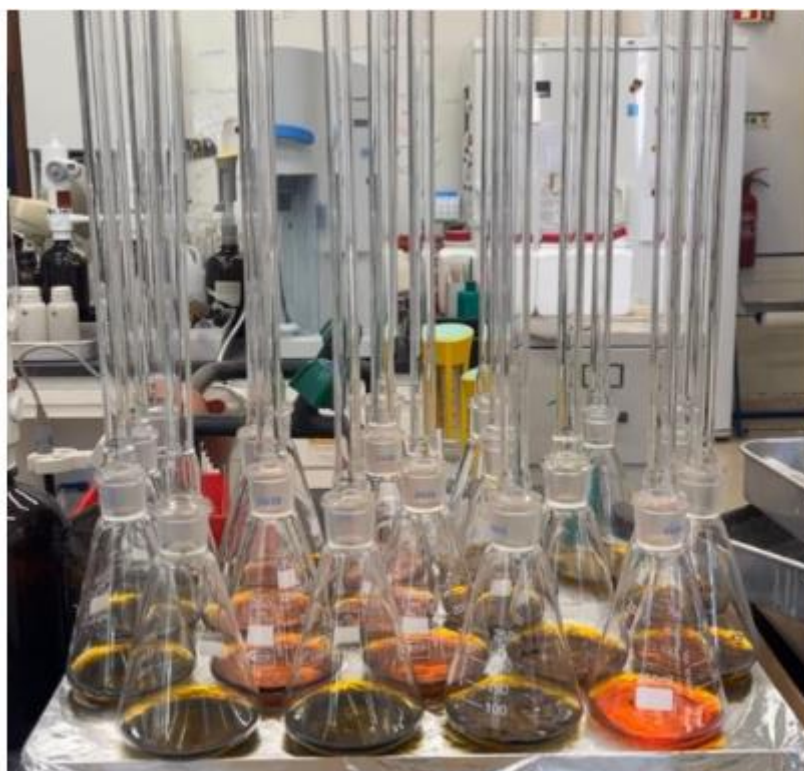


Figura 6 - Determinação do Carbono Orgânico Total.

3.2.7 Azoto Amoniacal e Nítrico

Para a determinação do azoto amoniacal e nítrico seguiu-se a metodologia indicada na EN 13652, de setembro de 2001. Procedeu-se à destilação em meio alcalino (NaOH) de 50 mL do extrato aquoso obtido para o pH e condutividade elétrica. Em seguida, para a determinação do azoto nítrico, adicionou-se 25 mL de sulfato ferroso e 5 mL de sulfato de prata e procedeu-se a uma nova destilação. Ambas as destilações foram recolhidas num Erlenmeyer com 50 mL de ácido bórico a 4 % (m/v) e 3 gotas de indicador misto (vermelho de metilo + verde de bromocresol). Por fim, realizou-se uma titulação utilizando ácido clorídrico de concentração conhecida para determinação dos valores expressos em mg N-NH₄⁺.kg⁻¹ de matéria seca e mg de N-NO₃⁻/kg de matéria seca, respectivamente.

3.2.8 Azoto Total

A determinação do azoto total foi realizada segundo a EN 13654 (Parte 1), de setembro de 2001, através da digestão da amostra com ácido sulfúrico + ácido salicílico utilizando como catalisador o sulfato de cobre e sulfato de potássio.

A realização desse método depende da concentração de N-NH₄⁺ calculada anteriormente, ou seja, é preciso verificar se o valor é inferior ou superior a 500 mg/L da amostra fresca. Sendo

assim, para uma concentração inferior a 500 mg/L, pesou-se cerca de 1 g de amostra, previamente seca a 75 °C e crivada a 2 mm, para os tubos Kjeldahl e adicionou-se 10 mL da solução ácido sulfúrico + ácido salicílico e 1,25 g de tiosulfato de sódio em pó. Os tubos foram aquecidos cuidadosamente na unidade de digestão até se formar espuma. Depois de arrefecido adicionou-se o catalisador ($K_2SO_4 + CuSO_4$) e procedeu-se novamente ao aquecimento a uma temperatura máxima de 400 °C durante 5 horas até o conteúdo do tubo ficar incolor. Já para uma concentração superior a 500 mg/L, pesou-se cerca de 3 g de amostra fresca para os mesmos tubos, adicionando 25 mL da solução ácido sulfúrico + ácido salicílico e 3,13 g de tiosulfato de sódio em pó. Os tubos foram aquecidos cuidadosamente na unidade de digestão até se formar espuma. Depois de arrefecido adicionou-se ao tubo o catalisador ($K_2SO_4 + CuSO_4$) e procedeu-se novamente ao aquecimento a uma temperatura máxima de 400 °C durante 5 horas até o conteúdo do tubo ficar incolor.

Após a digestão, quer para valor inferior ou superior a 500 mg/L de $N-NH_4^+$, o conteúdo dos tubos Kjeldahl foi transferido para balões volumétricos de 250 mL, completando-se o volume com água destilada. Seguidamente, procedeu-se à destilação de 25 mL do conteúdo do balão volumétrico juntamente com cerca de 30 mL de NaOH a 40% (m/v). As destilações foram recolhidas num Erlenmeyer com ácido bórico a 4 % (m/v). Por fim, realizou-se uma titulação utilizando ácido clorídrico de concentração conhecida.

3.2.9 Razão C/N

A razão C/N é calculada através do quociente entre o teor de carbono orgânico total e o teor de azoto total.

3.2.10 Açúcares Redutores

Frascos contendo amostra e água desionizada foram colocados para agitar por 1 hora. Logo após agitação, o conteúdo desses foi para a centrífuga por 30 minutos a 3500 rpm. Depois de centrifugar, o líquido passou por uma filtração minuciosa para obtenção do extrato.

Balões volumétricos foram preenchidos com o extrato e água desionizada para que o extrato fosse diluído para 1% e 10%. Um espectrofotómetro de absorção molecular de marca Thermo Scientific, modelo Genesys 10S UV-Vis foi utilizado para leitura dos açúcares redutores. O extrato diluído para 10% foi lido para dois comprimentos de onda (254 nm e 465 nm), enquanto

o extrato diluído para 1% foi analisado apenas para o comprimento de onda 254 nm. Os resultados obtidos para glucose foram expressos em mg C/kg na matéria seca.

3.2.11 Ácidos Húmicos e Ácidos Fúlvicos

Utilizou-se o método italiano com pirofosfato de sódio como extratante. A amostra foi previamente seca (75 °C) e moída (2 mm). Pesou-se 1 g de amostra para os frascos de centrifugação com adição de 120 mL de uma solução de pirofosfato de sódio 0,1 M e agitou-se por 1 h. Após, adicionou-se 20 mL de uma solução de sulfato de sódio e depois centrifugou-se a amostra por 20 min a 3500 rpm. Feito isto, o sobrenadante foi colocado em um balão volumétrico de 500 mL e se repetiu os passos anteriores. Por fim, adicionou-se 10 g de sulfato de sódio (Na₂SO₄) para cada balão, obtendo o extrato.

No dia seguinte, mediu-se 100 mL do extrato para um frasco de centrifuga de 150 mL. Adicionou-se algumas gotas de HS₂O₄ concentrado (96%) até pH 1,5 e deixou-se a amostra em repouso por 24 h. No outro dia, centrifugou-se a amostra por 20 min a 3500 rpm. Com isso, transferiu-se o sobrenadante para um frasco de Erlenmeyer de boca esmerilada e o colocou para evaporar obtendo ácidos fúlvicos e transferiu-se o resíduo do frasco de centrífuga para um frasco de Erlenmeyer de boca esmerilada o levando, também, para evaporar e obtendo ácidos húmicos.

O grau de maturação de um composto está relacionado com a presença de ácidos húmicos no composto final, neste âmbito, podem ser definidos diversos índices de humificação, sendo os mais comuns a taxa de humificação (TH), o índice de humificação (IH) e o grau de polimerização (GP), os quais se definem nas Equações (1.1) a (1.3).

$$\text{Taxa de humificação (TH)} = \frac{\text{ExC}}{\text{TOC}} \times 100 \quad (1.1)$$

$$\text{Índice de humificação (IH)} = \frac{\text{HA}}{\text{TOC}} \times 100 \quad (1.2)$$

$$\text{Grau de polimerização (GP)} = \frac{\text{HA}}{\text{HF}} \times 100 \quad (1.3)$$

Onde, o TOC é o carbono orgânico total da amostra, ExC é o carbono orgânico do extrato solúvel, HA a quantidade de ácidos húmicos e o HF a quantidade de ácidos fúlvicos. Os valores encontrados para esses índices estão no Quadro 6.

3.3 Avaliação do Grau de Estabilidade

3.3.1 Teste de Auto Aquecimento

O teste de auto aquecimento é um método que consiste em avaliar a evolução da temperatura de uma amostra de composto (com teor de humidade corrigido a 35%), quando é colocada num recipiente adiabático (Dewar flask), durante 10 dias e mantido a temperatura ambiente. O valor máximo da temperatura alcançada é função da atividade biológica do composto e depende do estado de degradação da matéria orgânica presente na amostra.

A evolução da temperatura foi avaliada através de um termómetro digital colocado a 2/3 da altura do contentor térmico, sendo expressa em °C. Foi determinada a classe de estabilidade com base na temperatura máxima alcançada durante o teste de auto aquecimento de acordo com a classificação Laga-Merkblatt M10 (1995), citada anteriormente. Para esse trabalho, o teste de auto aquecimento teve a duração de 1 mês, sendo averiguada a evolução da temperatura do composto em intervalos de 10 dias.



Figura 7 – Teste de Auto Aquecimento com Duração de 1 Mês.

3.3.2 Atividade Respiratória ao Fim de 4 Dias

A atividade respiratória (AT4) descreve a carência bioquímica de oxigénio de uma amostra sólida durante um período de observação de 4 dias. O método é baseado na medição da diferença de pressão em um sistema fechado.

Durante a degradação biológica da matéria orgânica (carbono orgânico) pelos microrganismos ocorre o consumo de oxigênio e a libertação de dióxido de carbono. Esse CO₂ libertado é absorvido por um absorvente colocado dentro do frasco onde é realizado o ensaio e, conseqüentemente, ocorre um decréscimo proporcional da pressão da fase gasosa no frasco onde ocorre a reação, como resultado do consumo do oxigênio. Neste sistema fechado a medição da pressão é feita independentemente da pressão atmosférica. O sistema de medição utilizado consiste num sensor eletrônico de pressão, em um frasco Schott de 2000 mL e num dispositivo para colocar o absorvente do dióxido de carbono no interior do frasco.

O teste AT4 foi realizado com 40 g de amostra do composto, em duplicado, com a humidade corrigida a 45%. Utilizou-se 2,5 mL de solução de hidróxido de potássio (KOH) a 45% como absorvente do dióxido de carbono. O sistema foi incubado numa câmara termostaticada à temperatura de 20 °C durante 4 dias. Os resultados foram registados através do sensor eletrônico de pressão por leitura de infravermelho. A atividade respiratória ao fim de 4 dias (AT4) nas condições do ensaio foi expressa em mg O₂/g de matéria seca da amostra.

3.4 Análise das Atividades Enzimáticas

Para a determinação das atividades enzimáticas foram preparados extratos aquosos das amostras utilizando um Erlenmeyer de 1 L contendo 25 g do composto com adição de 500 mL de água desionizada. Esses extratos passaram por um banho de ultrasons por cerca de 60 segundos e foram homogeneizados na placa de agitação por 5 minutos a 300 rpm. As determinações das atividades das enzimas foram efetuadas em triplicado.



Figura 8 – Determinação das Atividades Enzimáticas.

3.4.1 β -glucosidase

A solução tampão da reação foi preparada com p-nitrofenil- β -D-glucopiranosido 2,5 mM em tampão MUB a pH 6,0. A reação foi realizada em tubo de ensaio contendo 1 mL de extrato enzimático, ao qual se adicionaram 3 mL do tampão de reação acima descrito. Após a agitação em vórtex, procedeu-se a incubação durante 1 hora a 37 °C, no final do tempo de reação adicionou-se 1 mL de CaCl_2 0,5M e 4,0 mL de Tris 0,1M a pH 12, seguindo-se a filtração através de papel filtro de banda azul.

O produto da reação (p-nitrofenol) foi determinado por absorvância a 420 nm, contra um ensaio em branco, ao qual a adição do tampão de reação contendo o substrato só foi feita após a adição do sistema CaCl_2 + Tris 12 e imediatamente antes da filtração. A curva de calibração foi obtida com soluções padrão de p-nitrofenol em condições idênticas às da mistura reacional, no que diz respeito à volume, tampão sem substrato, tratamento com o sistema CaCl_2 + Tris 12 e filtração. Esta curva estabeleceu uma relação linear entre os valores de absorvância a 420 nm e as diferentes concentrações de p-nitrofenol em solução. Sempre que os valores de absorvância registados para a solução filtrada excederam o limite máximo da curva de calibração, procedeu-se a sua diluição com tampão Tris 0,1 M a pH 10.

3.4.2 Fosfatases Alcalinas

A solução tampão da reação foi preparada com p-nitrofenilfosfato 2,5 mM em tampão NaHCO_3 a pH 9,0. A reação foi realizada em tubo de ensaio contendo 1 mL de extrato enzimático, ao qual se adicionaram 3 mL do tampão de reação acima descrito. Após a agitação em vórtex, procedeu-se a incubação durante 1 hora a 37 °C, no final do tempo de reação adicionou-se 1 mL de CaCl_2 0,5M e 4,0 mL de NaOH 0,5M, seguindo-se a filtração através de papel filtro de banda azul.

O produto da reação (p-nitrofenol) foi determinado por absorvância a 420 nm, contra um ensaio em branco, ao qual a adição do tampão de reação contendo o substrato só foi feita após a adição do sistema $\text{CaCl}_2 + \text{NaOH}$ e imediatamente antes da filtração. A curva de calibração foi obtida com soluções padrão de p-nitrofenol em condições idênticas às da mistura reacional, no que diz respeito a volume, tampão sem substrato, tratamento com o sistema $\text{CaCl}_2 + \text{NaOH}$ e filtração. Esta curva estabeleceu uma relação linear entre os valores de absorvância a 420 nm e as diferentes concentrações de p-nitrofenol em solução. Sempre que os valores de absorvância registrados para a solução filtrada excederam o limite máximo da curva de calibração, procedeu-se a sua diluição com água destilada.

3.5 Análise Estatística

A análise estatística dos resultados obtidos foi realizada através de uma análise de variância utilizando $\alpha = 0,05$, com o software Statistica 7. Utilizou-se o teste de Tukey HSD para a separação de médias ao mesmo nível de significância.

4. Resultados e Discussões

Como o objetivo deste trabalho foi analisar a estabilização da matéria orgânica em composto durante o período de 1 mês em intervalos de 10 dias, primeiramente, ocorreu a escolha do composto que seria avaliado. Como referido, este composto tem como biomassa originária a mistura de resíduos orgânicos provenientes da preparação de alimentos e da restauração e de podas da vegetação de parques e jardins com separação na fonte e recolha seletiva

Como referido no laboratório, procedeu-se à homogeneização da amostra global e seguidamente foi dividida em 5 partes distintas para análise, nomeadas como:

1. Amostra original: referente a amostra que foi analisada logo no dia em que o composto chegou ao laboratório.
2. Amostra T0: referente a amostra que foi analisada no mesmo dia em que se iniciou o teste de auto aquecimento, o que ocorreu aproximadamente 1 semana após o composto chegar ao laboratório.
3. Amostra T10: referente a amostra que ficou durante 10 dias no teste de auto aquecimento.
4. Amostra T20: referente a amostra que ficou durante 20 dias no teste de auto aquecimento
5. Amostra T30: referente a amostra que ficou durante 30 dias no teste de auto aquecimento.

Com isso, o intuito foi perceber a evolução dos parâmetros químicos, físicos e biológicos ao longo do tempo e avaliar se depois de 10 dias ainda ocorre elevação ou alteração na temperatura das amostras que se encontram nos frascos Dewar, visto que, o aconselhado e usual é a realização do teste durante 10 dias para a avaliação do grau de estabilidade do composto.

Amostra Original

O composto estudado não tem uma finalidade definida, porém ele pode vir a ser utilizado, por exemplo, como um corretivo orgânico para o solo, caso os valores dos parâmetros estejam de acordo com os estipulados pelo Anexo III da Portaria n.º 185/2022, de 21 de julho e demais regulamentações.

Nos Quadros 3, 4, 5 e 6 são apresentados os resultados obtidos para a caracterização físico-química e química do composto utilizado no presente estudo.

Quadro 3 - Características Físico-químicas e Químicas do Composto Analisado (n=3).

Características do Composto	Média±Desvio Padrão
% Matéria Seca	86,05±0,16
% Matéria Orgânica na m.s.	52,52±2,06
Massa Volúmica (kg/m ³ mat original)	407,12
pH	8,78±0,04
Condutividade Eléctrica (mS/cm)	2,95±16,62
% Carbono Orgânico na m.s.	32,43±0,67
Azoto Total (g/100 g na m.s.)	3,10±0,14
N-NH ₄ ⁺ (mg.1000 g ⁻¹ na m.s.)	774,16±44,39
N-NO ₃ ⁻ (mg.1000 g ⁻¹ de m.s.)	114,70±9,29

m.s. – valores referidos à matéria seca.

Ao observar as médias dos valores encontrados em laboratório para os parâmetros analisados, percebe-se que o valor da matéria orgânica no composto encontra-se de acordo com a Portaria (>30%). Com relação ao pH, esse, também, se encontra de acordo com o intervalo estipulado pela Portaria (5,5-9,0). De acordo com a Proposta de Regulamentação sobre Qualidade dos Compostos para Utilização na Agricultura (Proposta de Norma, 2001), o composto em análise apresenta uma salinidade (condutividade elétrica) superior a 2 mS/cm, pelo que deve limitar-se ao uso como corretivo do solo.

No Quadro 4, apresentam-se os resultados obtidos para a granulometria e teor de inertes (pedras e material estranho) da amostra seca a 104 °C. Segundo a Portaria em vigor (n.º 185/2022, de 21 de julho), relativamente à granulometria é exigido que 99% do material que constitui a matéria fertilizante passe por um crivo de malha quadrada de 25 mm. Observando os resultados verifica-se que também este requisito é cumprido. Além disso, o teor de pedras e o teor de material estranho condizem com a classe I de compostos.

Quadro 4 - Granulometria e Teor de Inertes do Composto Analisado.

Granulometria e Teor de Inertes	Teor (%)	Teor de pedras (%)	Teor de mat. estranho (%)
> 20mm	0,00	0,06	0,50
< 20mm e > 10mm	0,00		
< 10mm e > 5mm	6,91		
< 5mm e > 2mm	29,96		
< 2mm e > 1mm	22,01		
< 1mm	41,12		

Com relação aos elementos minerais, os elevados teores em metais pesados poderão ser responsáveis pela fitotoxicidade das culturas. Sendo assim, para o composto estudado e de acordo com a Portaria vigente (n.º 185/2022, de 21 de julho) verifica-se, a partir dos resultados do Quadro 5, que esse se enquadra na classe I com valores abaixo dos máximos admissíveis

para os teores totais de metais pesados como Cádmiu, Chumbo, Cobre, Crômiu, Mercúriu, Níquel e Zinco.

Logo, por ser classificado como um composto de classe I, a classe de qualidade mais elevada, e cumprir os requisitos de acordo com a Portaria n.º 185/2022, de 21 de julho, o composto poderia vir a ser utilizado generalizadamente pela agricultura como um corretivo orgânico. Entretanto, como referido na Revisão Bibliográfica, para ser considerado um composto de alta qualidade e pronto para uso, é necessário que ele seja homogêneo, estável, higienizado e maturado, ou seja, é necessário fazer uma avaliação mais aprofundada do que somente verificar o teor de MO, granulometria e materiais inertes, o pH, a CE e a classe para metais pesados.

Quadro 5 - Elementos Minerais no Composto Analisado.

Elementos Minerais	Média±Desvio padrão (g/100 g na m.s.)	Classe
Na	0,658±0,010	-
K	1,488±0,033	-
Ca	4,283±0,167	-
Mg	0,362±0,009	-
P	0,587±0,009	-
S	0,334±0,008	-
Fe	0,856±0,009	-
	(mg/1000 g na m.s.)	Classe
Cu	58,647±8,916	I
Zn	143,526±2,594	I
Mn	161,983±2,910	-
B	48,128±0,427	-
Cr	51,514±2,207	I
Ni	11,491±0,649	I
Cd	0,469±0,016	I
Pb	26,363±0,857	I

m.s. – valores referidos à matéria seca.

No que se refere ao grau de estabilidade/maturação do composto, um alto teor de azoto amoniacal pode apresentar características de composto não maturado sendo uma delas a fitotoxicidade (Cunha-Queda, 1999; Morais, 2003). Durante o processo de compostagem ocorre uma transformação, a conversão do azoto amoniacal em azoto nítrico. Com esta transformação espera-se que haja uma diminuição do azoto na forma NH_4^+ e aumento na forma NO_3^- no produto final (Hoang *et al.*, 2022). Entretanto, o composto estudado é caracterizado por um valor extremamente elevado de NH_4^+ se comparado com o de NO_3^- , o que indica que ocorreu uma baixa taxa de nitrificação característica de um substrato orgânico ainda não estabilizado (Brito, 1994). Para Santos (1996), a fase de nitrificação na compostagem é um sinal do alcance de maturação de um composto, sendo assim, esse autor

baseia-se em um valor máximo recomendado de azoto amoniacal (400 mg/kg) para se considerar um composto maturado, o que não ocorre com a amostra original, visto que esta tem uma média para os valores de $N-NH_4^+$ igual a 774,16 mg/kg na matéria seca.

Por fim, com relação à humificação da matéria orgânica, de acordo com Guo *et al.* (2019), a compostagem é um processo bioquímico típico de estabilização de resíduos orgânicos, durante o qual a matéria orgânica é degradada e posteriormente agregada, de modo a produzir substâncias húmicas, que são misturas heterogêneas e complexas, constituídas principalmente por ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. A evolução da matéria orgânica durante a compostagem culmina na formação de substâncias húmicas, constituindo um possível indicador de maturação. Assim têm sido propostas várias metodologias para o estudo da humificação através de diferentes índices que possam indicar o estado de maturação do produto (Cunha-Queda, 1999; Azim *et al.*, 2018). No decurso do processo de compostagem, à medida que a decomposição avança, ocorre um aumento dos ácidos húmicos e uma diminuição do teor em ácidos fúlvicos (Barberis e Nappi, 1996). Sendo assim, a razão entre esses dois é considerada um dos possíveis métodos de avaliação da maturidade do compostado. Para um composto ser considerado maturado, este valor designado de grau de polimerização, deve ser superior a 1,5 (Jodice, 1989). Outro método usual é a taxa de humificação, que quantifica a fração de carbono orgânico total da amostra que se encontra estabilizada (Barberis e Nappi, 1996) e, segundo Jodice (1989), deve ser superior a 20%. Por fim, ainda pode-se analisar o índice de humificação, que deve ser maior que 10% (Jodice, 1989).

A partir dos valores indicados no Quadro 6, para a amostra original do composto estudado verifica-se que tanto o grau de polimerização, quanto o índice de humificação e a taxa de humificação são superiores aos valores mínimos referidos pelos autores e citados. Com isso, levando em consideração apenas a percentagem de ácidos húmicos e fúlvicos no composto, poder-se-ia dizer que este se encontra possivelmente maturado.

Quadro 6 - Teor de Ácidos Húmicos e Fúlvicos no Composto Analisado.

Taxa de Humificação (TH em %)	28,13
Ácidos Húmicos (%na m.s.)	8,65
Ácidos Fúlvicos (%na m.s.)	5,34
Índice de Humificação (IH)	14,81
Grau de Polimerização (GP)	1,62

Entretanto nenhuma afirmação acerca do grau de estabilização e de maturação pode ser feita antes de se realizar um cruzamento entre os resultados para cada parâmetro analisado. Pois

somente assim, é possível fornecer a decisão final do estado de maturação e estabilização do composto, com um nível maior de confiabilidade.

Amostras T0, T10, T20 e T30

- Teste de Auto aquecimento

A amostra T0 não fez parte do teste de auto aquecimento, mas sua temperatura foi medida e encontrou-se um valor próximo ao da temperatura ambiente (20 °C). No dia em que os frascos Dewar foram montados, separou-se uma amostra do composto para ser analisada em laboratório como referente ao tempo 0 do teste. Isto foi feito, com o intuito de se verificar como se encontravam os parâmetros físicos, químicos e biológicos do composto imediatamente antes do teste começar. Como o composto não foi congelado, é de se esperar que após manuseio, armazenamento e humidificação a atividade microbiota continue ativa, sendo assim, os valores dos parâmetros avaliados podem diferir em T0 dos encontrados para a matéria original. O que realmente aconteceu e será mais detalhado no decorrer da discussão dos resultados.

O teste de auto aquecimento foi realizado em triplicado e os resultados obtidos são apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Temperatura Máxima Alcançada no Teste de Auto Aquecimento.

Amostra	Temperatura Máxima Alcançada (°C)
	Média±Desvio padrão
T0	19,011 a*±0,107
T10	42,333 b±5,746
T20	43,533 b±11,858
T30	40,633 b±9,500

*as médias assinaladas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$.

É possível medir o grau de decomposição da matéria orgânica em um composto humidificado aferindo-se o aumento de temperatura que ocorre durante o teste de auto aquecimento (Azim *et al.*, 2018). O valor máximo da temperatura alcançada é função da atividade biológica do compostado e depende do estado de degradação da matéria orgânica presente na amostra. A avaliação dos resultados é feita de acordo com as Classes de Estabilidade para Compostos (LAGA – Merkblatt M 10, 1995).

Ao analisar os resultados para T10, T20 e T30, percebe-se que as médias dos valores verificados não diferiram significativamente entre si ($\alpha = 0,05$). Porém nota-se que para cada

amostra houve um desvio padrão relativamente alto, o que significa que os valores de temperatura máxima alcançada divergiram para um mesmo período de tempo.

De acordo com as Classes de Estabilidade para Compostos da LAGA – Merkblatt M 10 (1995), o composto foi classificado como Classe III ($40^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$), Quadro 2, e designado de composto fresco. Ou seja, o mesmo ainda não se encontra bioestabilizado.

Com relação a evolução da temperatura durante todo o período do teste, verificou-se que esta aumenta em T10, T20 e T30, sendo o pico de temperatura máxima sempre antes do décimo dia para todas as amostras, como mostram as Figuras 9, 10 e 11. Nota-se que, após o 10º dia, a temperatura variou aproximando-se da temperatura ambiente (20°C), ou seja, não houve novamente um aumento da temperatura, somente declínio desta tendendo para a estabilização. O que está de acordo com o relatado por diversos autores.

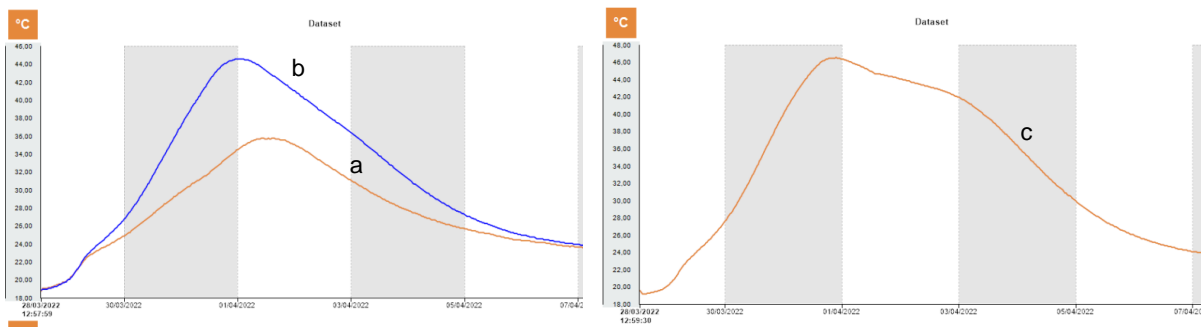


Figura 9 - Perfil da Temperatura em T10 para os triplicados (a, b e c).

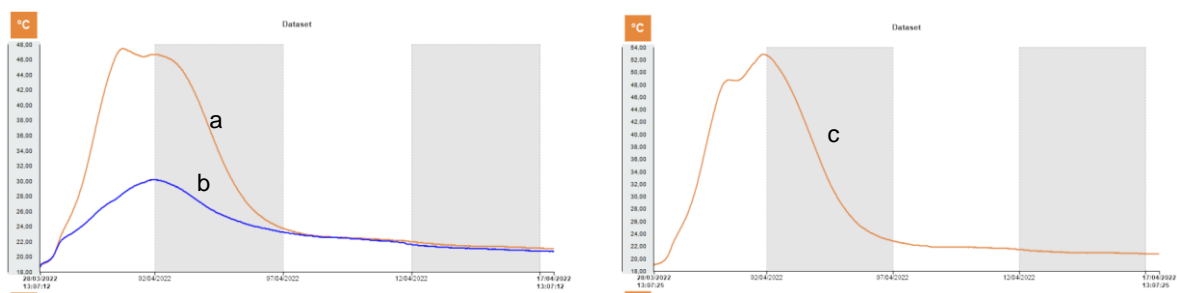


Figura 10 - Perfil da Temperatura em T20 para os triplicados (a, b e c).

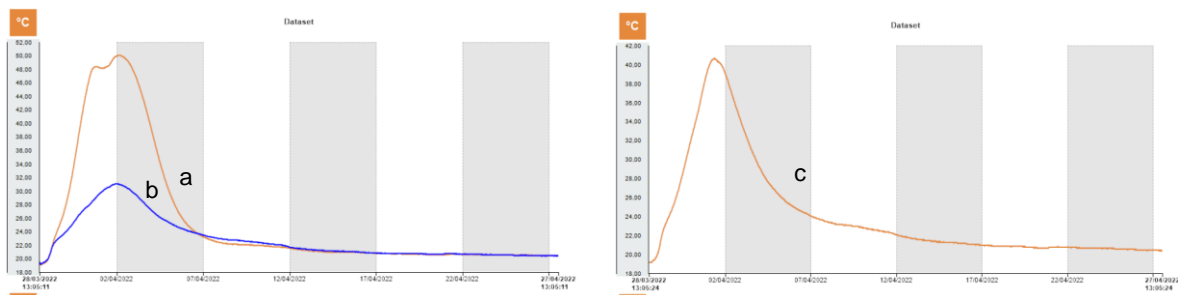


Figura 11 - Perfil da Temperatura em T30 para os triplicados (a, b e c).

- Matéria Orgânica, pH e Condutividade Elétrica

Os resultados para a matéria orgânica, pH e condutividade elétrica das amostras T0, T10, T20 e T30 são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - MO, CE e pH das Amostras.

Amostra	Matéria Orgânica (% na m.s.)	Condutividade Elétrica (mS/cm)	pH
	Média±Desvio Padrão	Média±Desvio Padrão	Média± Desvio Padrão
T0	51,898 a*±1,884	3,034 a±0,04	8,847 a±0,029
T10	51,861 a±1,170	3,118 a±0,077	8,302 b±0,245
T20	50,366 a±2,736	2,914 a±0,112	8,830 a±0,225
T30	50,932 a±0,823	3,022 a±0,137	8,530 ab±0,16

m.s. – valores referidos à matéria seca.

*as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$.

As médias dos valores encontrados para a matéria orgânica, mesmo apresentando uma diminuição em relação ao T0 se comparado com os demais tempos, não diferem significativamente entre si ($\alpha=0,05$). O que é esperado por se tratar dum composto e não de resíduos orgânicos. Sendo assim, são poucas as alterações sofridas pela matéria orgânica presente, acontecendo apenas algumas alterações a nível de moléculas orgânicas por conta dos microrganismos que as utilizam.

Se comparado o teor de MO no T0 com o da amostra da matéria original (52,52% na m.s.), percebe-se que os valores são próximos e a diminuição observada pode ser atribuída à continuidade da atividade microbiota no intervalo de tempo que se decorreu entre a análise das amostras, como foi citado. Além disso, a heterogeneidade das amostras é um fator que também influencia nos resultados.

No que respeita ao pH, como citado na fase final da compostagem (Fase IV), o valor desse parâmetro tende para a neutralidade. Esta estabilização do pH deve-se às reações de maturação e ao poder tampão do húmus. Entretanto, como se trata de um composto fresco, nota-se que os valores de pH ainda se encontram altos, na faixa da alcalinidade. Ao comparar T0, T20 e T30, as médias dos valores não variam significativamente entre si ($\alpha=0,05$). Já o pH em T10 só não difere significativamente de T30 ($\alpha=0,05$).

Além disso, ao fazer uma comparação entre os valores de T0 e T10 verifica-se que, não só diferem significativamente, como também ocorreu uma diminuição do valor de pH de T0 para T10, a qual foi coincidente com o período em que se alcançou a temperatura máxima no teste de auto aquecimento.

Por fim, ao se comparar o pH da amostra original (8,78) e da amostra T0, percebe-se que os valores são próximos e a diferença, provavelmente, se deve a heterogeneidade das amostras.

As médias dos valores referentes a condutividade elétrica não variaram significativamente entre as amostras T0, T10, T20 e T30 para $\alpha=0,05$.

Em T0, o valor de CE foi levemente superior ao da amostra original (2,95 mS/cm), o que pode estar relacionado com a ocorrência da contínua atividade dos microrganismos decompositores durante o tempo em que o composto ficou guardado, pois ao passo que a matéria orgânica é decomposta, aumenta-se a mineralização. Ademais, vale ressaltar que a amostra original não foi humedecida. Entretanto, esse fato pode estar simplesmente relacionado com a heterogeneidade das amostras.

- Azoto Nítrico e Azoto Amoniacal

Os resultados para os azotos nítrico e amoniacal das amostras T0, T10, T20 e T30 são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Azoto Nítrico e Azoto Amoniacal nas Amostras.

Amostra	Azoto Amoniacal (mg N-NH ₄ ⁺ /1000 g na m.s.)	Azoto Nítrico (mg N-NO ₃ ⁻ /1000 g na m.s.)
	Média±Desvio Padrão	Média±Desvio Padrão
T0	814,984 b*±27,590	98,109 a±7,498
T10	394,545 a±61,351	104,393 a±12,598
T20	441,851 a±101,483	104,778 a±6,284
T30	408,424 a±65,218	106,788 a±7,559

m.s. – valores referidos à matéria seca.

*as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$.

Como citado, um composto com alto teor de azoto amoniacal pode apresentar características de composto não maturado sendo uma delas a alta fitotoxicidade (Cunha-Queda, 1999; Morais, 2003). Por esta razão, é importante avaliar o teor de azoto amoniacal nos compostos verificando-se o grau de maturação em que estes se encontram. Durante o processo de compostagem ocorre a nitrificação, a conversão do azoto amoniacal em azoto nítrico. Com esta transformação espera-se que haja uma diminuição do azoto na forma NH_4^+ e aumento na forma NO_3^- (Hoang *et al.*, 2022). Como referido, a fase de nitrificação na compostagem é um sinal do alcance de maturação de um composto (Mahapatra *et al.*, 2022), sendo assim, alguns autores se baseiam em valores máximos permitidos, como o limite de 400 mg/kg de N- NH_4^+ aconselhado por Santos (1996), para se considerar um composto como maturado.

Em relação ao composto analisado, para T0 tem-se um valor bastante elevado de azoto amoniacal. Entretanto, de T0 para T10 há uma diminuição muito expressiva desse valor. Já ao se comparar T10, T20 e T30, apesar das médias variarem, os valores destas não diferem significativamente entre si ($\alpha= 0,05$). Além disso, ao se analisar as médias dos valores de azoto nítrico, percebe-se um ligeiro aumento de T0 até T30, mas esses valores não variam significativamente entre si ($\alpha= 0,05$).

Diante desses resultados, percebe-se que a expressiva diminuição no valor da média de NH_4^+ entre T0 e as demais amostras, deve estar relacionada com a volatilização do azoto amoniacal, fato favorecido pelo pH alcalino do composto e as altas temperaturas durante o teste de auto aquecimento, bem como com a assimilação desse azoto pelos microrganismos que continuaram ativos durante todo o tempo em que as amostras estiveram no laboratório. Além disso, parece que uma pequena parte do NH_4^+ também foi convertida em NO_3^- , com o valor do azoto nítrico aumentando ao longo do tempo, como mencionado. Para Brito (1994), essa taxa de nitrificação reduzida indica que o substrato orgânico não está estabilizado.

Ademais, ao se avaliar o grau de maturação para esse composto, nota-se que apenas o T10 ficou ligeiramente abaixo do valor de 400 mg N- NH_4^+ /kg na m.s., sendo assim, pode-se dizer, com mais precisão, que o composto em questão ainda precisa de mais tempo para ser considerado maturado e bioestabilizado.

Ao se comparar a amostra original com T0, percebe-se que os valores das médias tanto de azoto amoniacal quanto nítrico divergem entre si, o que possivelmente está relacionado com a heterogeneidade do composto estudado.

- AT4

A atividade respiratória ao fim de 4 dias (AT4) é um teste respirométrico que descreve a carência bioquímica de oxigênio de uma amostra sólida de composto durante um período de observação de 4 dias. Assim, quanto mais baixo for o valor, nomeadamente inferior a 10 mg O₂/g de matéria seca da amostra, menos atividade biológica existe, sendo por isso indicativo da estabilidade da matéria orgânica presente, como mencionado no 2nd Draft (DG ENV. A.2., 2001).

No Quadro 10, são apresentados os resultados da AT4 para as amostras T0, T10, T20 e T30.

Quadro 10 - Resultado da AT4 nas Amostras.

Amostra	AT4 (mg O₂/g de m.s.) Média±Desvio Padrão
T0	13,606 c*±0,162
T10	11,826 bc±1,066
T20	9,771 a±0,943
T30	9,883 ab±0,459

m.s. – valores referidos à matéria seca.

*as médias assinaladas com a mesma letra não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$.

Para as médias dos valores de AT4, em T0 há o maior consumo de oxigênio registado, entretanto, entre T0 e T10, mesmo havendo uma diminuição, as médias não variaram significativamente ($\alpha= 0,05$). Ao se comparar T10 com T20, percebe-se uma diminuição e variação significativa entre os resultados ($\alpha= 0,05$). Já entre T20 e T30, apesar de a média para T30 ser ligeiramente superior, para essas duas amostras os valores não variaram significativamente entre si ($\alpha= 0,05$).

Para o composto analisado, tanto T0 quanto T10 tem a média dos valores superior ao indicado para se considerar um composto bioestabilizado. No entanto, no tempo T20 e T30 as médias dos valores para AT4 são ligeiramente inferiores ao valor de referência. Com isso, percebe-se que ocorreu um consumo de oxigênio mais acentuado, causado pela presença de microrganismos ativos, nos primeiros 10 dias de estudo. O que já era esperado, visto que, a humidade corrigida para 35%, o revolver das amostras ao serem preparadas para o teste de auto aquecimento e o aumento da temperatura ajudaram a ativar essa atividade da microbiota presente no composto. Sendo assim, como o pico de temperatura máxima ocorre até os primeiros 10 dias, o consumo de oxigênio é maior em T0 e T10, onde há uma menor estabilização da matéria orgânica. Ao passo que, ao decorrer dos dias a atividade dos

microrganismos vai cessando, a respiração diminui e o composto pode ser considerado menos biodegradável e mais estável do que em T0.

- Azoto Total, Carbono Orgânico Total e Razão C/N

No Quadro 11 são apresentados os resultados para o carbono orgânico, azoto total e razão C/N para as amostras estudadas.

Quadro 11 - Resultados de Carbono Orgânico, Azoto Total e Razão C/N para as Amostras.

Amostra	Carbono Orgânico (% na m.s.)	Azoto Total (% na m.s.)	C/N
	Média±Desvio Padrão	Média±Desvio Padrão	Média±Desvio Padrão
T0	30,605 b*±3,478	3,040 a±0,142	10,083 c±0,481
T10	21,695 a±2,045	2,947 a±0,130	7,372 a±0,327
T20	28,130 b±1,292	3,043 a±0,018	9,244 b±0,055
T30	28,128 b±1,496	3,078 a±0,057	9,141 b±0,167

m.s. – valores referidos à matéria seca.

*as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$.

Tanto em T0, quanto em T10, T20 e T30 as médias relativas aos valores de azoto total não variaram significativamente entre si ($\alpha= 0,05$). Entretanto, percebe-se que o menor valor ocorre em T10, a seguir ao aumento de temperatura no teste de auto aquecimento. O que está de acordo com o esperado, visto que o mesmo acontece em T10 para o azoto amoniacal.

Com relação ao carbono orgânico total, ao se comparar T0, T20 e T30, nota-se que a média dos valores diminuiu com o tempo, entretanto essa diminuição não foi significativa ($\alpha= 0,05$). Já a média dos valores para a amostra T10 apresentou uma oscilação inesperada, pois variou significativamente ($\alpha= 0,05$) das demais amostras, tendo o menor valor de Corg. Esse resultado pode estar relacionado com o fato de o composto apresentar heterogeneidade, bem como por causa de a amostra T10 ter sido analisada a seguir ao aumento da temperatura no teste de auto aquecimento.

Ao se comparar os valores para azoto total e carbono orgânico entre a amostra original e T0, percebe-se que na amostra original, os valores são ligeiramente superiores. Isso, possivelmente, se deve ao fato de a decomposição da matéria orgânica não ter cessado entre o período de tempo que decorreu as análises, como já foi mencionado, havendo assimilação de azoto e carbono por parte dos microrganismos ativos.

Por fim, a razão C/N é um parâmetro utilizado para avaliar o grau de maturação de um composto e definir a sua qualidade agronômica, pois a disponibilidade de azoto no composto depende dessa razão, ou seja, quanto menor for esta razão, maior será a mineralização do azoto e conseqüentemente maior a disponibilidade desse elemento para as plantas

(Gonçalves, 1999). Muitos autores referem que uma razão C/N inferior a 20 é indicativa de um grau de maturação aceitável (Poincelot, 1974 e 1975; Cárdenas e Wang, 1980; Golueke, 1981), entretanto Juste (1980), Morel *et al.* (1985) e Bernal *et al.* (2009) relatam que é preferível que essa razão seja inferior a 15. Já Mathur (1991) afirma que o valor ideal é de cerca de 10 para ser considerado um composto possivelmente maturado.

Ao se analisar o composto em estudo, nota-se que o maior valor entre as médias da razão C/N encontra-se em T0, tendo essa amostra variado significativamente ($\alpha= 0,05$) se comparada às demais. Para T10, a média também variou significativamente ($\alpha= 0,05$) das outras, tendo o menor valor da razão. Entre T20 e T30 a média dos valores da razão C/N não diferiu significativamente ($\alpha= 0,05$) entre si. Ademais, pode-se perceber que a razão C/N teve uma evolução concordante com os resultados encontrados para os valores de azoto total e de carbono orgânico total em todas as amostras.

Sobre o grau de maturação, a razão C/N está de acordo com um composto possivelmente maturado, entretanto, é importante salientar que ela não constitui por si só um indicador absoluto para avaliar a maturação, pois depende da origem/características da biomassa utilizada.

- Actividades Enzimáticas e Açúcares Redutores

No quadro 12 são apresentados os resultados das actividades enzimáticas e dos açúcares redutores para as amostras estudadas.

Quadro 12 - Resultados das Actividades Enzimáticas e Açúcares Redutores das Amostras.

Amostra	Fosfatases Alcalinas (PNF $\mu\text{mole/g m.s. h}$) Média\pmDesvio Padrão	β-Glucosidase (PNF $\mu\text{mole/g m.s. h}$) Média\pmDesvio Padrão	Açúcares Redutores (mg C / kg m.s.) Média\pmDesvio Padrão
T0	6,036 a* \pm 0,144	2,629 b \pm 0,059	2216,95 b \pm 490,070
T10	16,349 c \pm 0,731	2,207 a \pm 0,083	1431,86 a \pm 38,346
T20	14,871 bc \pm 0,876	2,16 a \pm 0,201	1189,98 a \pm 44,411
T30	14,479 b \pm 0,623	2,730 b \pm 0,030	1465,14 a \pm 123,896

m.s. – valores referidos à matéria seca.

*as médias assinaladas com a mesma letra para cada parâmetro não apresentam diferenças significativas entre si para $\alpha=0,05$.

A β -glucosidase desempenha um papel chave na fase final da degradação da celulose catalisando a hidrólise de grandes moléculas de hidratos de carbono produzindo açúcares mais simples como a glucose, uma fonte de energia para os microrganismos (Alvarenga *et al.*, 2008). Para Nannipieri *et al.* (1990), a sua importância não está restrita ao processo de compostagem, mas a sua ação também é importante no produto obtido (composto), já que sendo um dos possíveis destinos a sua aplicação aos solos, essas enzimas possuem um importante papel na fertilidade bioquímica desses.

Em relação ao composto estudado, nota-se que as médias dos valores para a β -glucosidase referentes as amostras T0 e T30 não variaram significativamente entre si ($\alpha= 0,05$). O mesmo ocorre entre as amostras T10 e T20. Já ao se analisar as médias dos valores dos resultados para os açúcares redutores, em T0 observa-se o maior valor e o único que difere significativamente ($\alpha= 0,05$) entre as 4 amostras analisadas. Esse fato pode estar relacionado com a questão do composto se encontrar mais estável ao passar do tempo do que estava em T0, tendo menos moléculas de hidratos de carbono disponíveis para serem hidrolisadas, o que implica em uma quantidade menor de produção de glucose mesmo o composto contendo as enzimas responsáveis pelo processo. Além disso, verifica-se que em T20 a menor média referente aos valores de β -glucosidase implica no menor valor de glucose encontrado.

Já as fosfatases alcalinas são essenciais no ciclo do fósforo, pois catalisam as reações de hidrólise dos componentes orgânicos fosfatados (Ayuso *et al.*, 1996) e são referidas como indicadores da atividade microbiana (Speir e Ross, 1978). Godden *et al.* (1986), referem que valores elevados e constantes de atividade das fosfatases alcalinas durante a compostagem parecem estar correlacionados com compostos maturados; valores baixos, mas crescentes de atividade destas enzimas, corresponderão a compostos quase maturados; e valores de atividade baixos, mas constantes e/ou decrescentes, corresponderão a compostos provenientes de processos de compostagem mal-conduzidos.

Para o composto em estudo, em T0, a média dos valores das fosfatases alcalinas varia significativamente ($\alpha= 0,05$) se comparada com as das demais amostras. Entre T10 e T20, apesar de haver um decréscimo na média, não diferem significativamente ($\alpha= 0,05$) e o mesmo ocorre entre T20 e T30.

Além disso, a amostra T0 tem a menor média correspondente as fosfatases alcalinas, o que corresponde a um composto menos maturado. Entretanto, após o pico de temperatura no teste de auto aquecimento, o tempo T10 alcançou a maior média para esta enzima. Este resultado pode estar relacionado com o fato de o aumento de temperatura ajudar na ativação da atividade dos microrganismos que produzem esse tipo de enzimas e as excretam para o meio. De T10 até T30 as médias sofrem um leve decréscimo correspondente ao fato de a atividade microbiana diminuir, já que as amostras se encontram menos biodegradáveis e mais estabilizadas, como foi verificado, também, pela análise do AT4.

5. Conclusões

Em termos ambientais, os benefícios da compostagem resultam do fato de proporcionar uma crescente diminuição do descarte dos resíduos sólidos orgânicos biodegradáveis em aterro, prevenindo-se, assim, de problemas para o meio ambiente.

A qualidade dos produtos provenientes da compostagem depende do material inicial que é utilizado como biomassa, do processo pelo qual é produzido e, ainda, da composição da população microbiana ativa durante todo esse processo. Um composto dito de qualidade deve ser rico em matéria orgânica, ser capaz de fornecer às plantas nutrientes primários (azoto, fósforo e potássio) bem como microelementos, além de ser considerado higienizado, homogêneo, estável e maturado. Ademais, esse composto não pode ser nocivo para o ambiente, nem para o ser humano e restantes espécies.

Analisando e comparando os resultados obtidos para as amostras original, T0, T10, T20 e T30 do composto estudado, em relação à estabilização da matéria orgânica, verificou-se através dos parâmetros analisados, do teste de auto aquecimento e da AT4 que esse composto ainda não se encontra bioestabilizado, o que significa que, provavelmente, ele precisaria de mais tempo para se tornar menos biodegradável e mais estável. O mesmo notou-se com relação a maturação, ou seja, o composto ainda não está maturado. Portanto, com relação a qualidade do composto, este encontra-se menos homogêneo, estável e maturado do que deveria ser para ser considerado um composto de alta qualidade apesar dos teores em inertes e metais pesados indicarem ser Classe I, a mais elevada.

Com relação ao teste de auto aquecimento, verificou-se que, realmente, a temperatura máxima alcançada ocorreu nos primeiros 10 dias, como referido por diversos autores. Ou seja, mesmo para as amostras que ficaram por 20 dias e 30 dias nos frascos Dewar, após o 10º dia não ocorreu nova elevação da temperatura, com esta mantendo uma tendência decrescente até se aproximar da temperatura ambiente (20°C) e se estabilizar. Ademais, alguns parâmetros como as fosfatases alcalinas apresentaram valores mais elevados na amostra recolhida no T10 e a β -glucosidase e os açúcares redutores aumentaram na amostra T30 relativamente às amostras T10 e T20, provavelmente como resultado da actividade microbiana que ocorreu mais intensamente até ao T10.

Outro resultado muito importante diz respeito à diferença nos valores do teste do auto-aquecimento que foi observada para as amostras triplicadas que foram obtidas a partir duma amostra global. Com efeito, apesar da homogeneização que foi feita verificaram-se diferenças para os valores máximos de temperatura alcançados no teste. Este resultado mostra que a classificação do grau de estabilidade apenas com base numa amostra pode ser limitativa e

consequentemente ter impacto na classificação do composto a nível da sua classe de estabilidade.

Por fim, ao terminar este trabalho, gostaria de indicar um aspecto que considero importante para a continuidade deste estudo:

- A confirmação, por meio de um maior número de amostras de compostos de diferentes origens, da não elevação da temperatura após o 10º dia no teste de auto aquecimento.
- A confirmação, por meio de um maior número de amostras de compostos de diferentes origens, do grau de estabilidade para diferentes amostras obtidas a partir duma amostra global.

6. Referências Bibliográficas

- Adani, F., Genevini, P. L., Gasperi, F. & Zorzi G. (1997) Organic Matter Evolution Index (OMEI) as a Measure of Composting Efficiency, *Compost Science & Utilization*, 5:2, 53-62. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Adani, F., Gigliotti, G., Valentini, F. & Laraia, R. (2003). Respiration Index Determination: A Comparative Study of Different Methods. *Compost. Sci. Util.*, 11, 144-151.
- Agricultura Urbana. (s.d.). Manual Clube do Jardim. Compostagem. Consultado em agosto de 2022. Disponível em https://www.agriculturaurbana.org.br/textos/manual_de_compostagem.pdf.
- Alvarenga, P., Palma, P., Goncalves, A. P., Baião, N., Fernandes, R. M., Varennes, A., Vallini, G., Duarte, E. & Cunha-Queda, A. C. (2008). Assessment of Chemical, Biochemical and Ecotoxicological Aspects in a mine Soil Amended with Sludge of either Urban or Industrial Origin. *Chemosphere*, 72, 1774–1781.
- APA. (2022). Agência Portuguesa do Ambiente - Dados sobre Resíduos Urbanos. Consultado em agosto 2022. Disponível em <https://apambiente.pt/residuos/dados-sobre-residuos-urbanos>.
- Associação Caatinga. (2020). Entenda o que é e como Funciona a Compostagem. Consultado em agosto 2022. Disponível em <https://www.acaatinga.org.br/entenda-o-que-e-e-como-funciona-a-compostagem-2/>
- Ayuso, M., Hernández, T., García, C. & Pascual, J. A. (1996). Biochemical and Chemical-structura Characterization of Different Organic Materials used as Manures. *Bioresour. Technol.*, 57:2, 201-207. (Cit. Pereira, 2016).
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S. & Thami Alami, I. (2018). Composting Parameters and Compost Quality: a Literature Review. *Org. Arg.*, 8, 141-158. DOI 10.1007/s13165-017-0180-z.
- Barberis, R. & P. Nappi. (1996). Evaluation of Compost Stability. In: *The Science of Composting* (M. de Bertoldi et al., editors), Blackie Academic and Professional, 176-183. Glasgow, Scotland. (Cit. Lopes, 2008).
- Batista, J. & Batista, E. (2007). *Compostagem: Utilização de Compostos em Horticultura*. Universidade dos Açores. Centro de Investigação de Tecnologias Agrárias, 252pp.
- Bernal, M. P., Albuquerque, J. A. & Moral, R. (2009). Composting of Animal Manures and Chemical Criteria of Compost Maturity Assessment. *A rev. Bioresour. Technol.*, 100, 5444-5453.
- Brito, L. M. C. M. (2005). *Manual de Compostagem Escola Superior Agrária de Ponte de Lima*, Instituto Superior de Viana do Castelo.
- Brito, M. (1994). *Organics Composts as Soil Amendments to Agricultural Land; Quantitative Studies on their Effects on Crop Production*. A thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the Department of Horticulture, University of Reading. (Cit. Lopes, 2008).
- Cárdenas, R. R. & Wang, L. K. (1980). Composting Process. In: *Handbook of Environmental Engineering*, The Human Press, New York, 2, 269-327. (Cit. Oliveira, 2010).
- Chrometza, P. (1968). Determination de la Consommation d'oxigène des Composts em Voie de Maturation. *Bull. Inf, GIROM.*, 33, 253-256. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Ciavatta, C., Govi, M., Passoti, L. & Sequi, P. (1993). Changes in organic Matter during Stabilization of Compost from Municipal Solid Wastes. *Bioresour. Techol.*, 43, 141-145. (Cit Cunha-Queda, 1999)
- Cintra, G. D. C. (2003). *Compostagem de Diferentes Materiais. Monitorização e Comparação de Pilhas com Razões Carbono-azoto Diferentes*. Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Alimentar, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

- Cordeiro, N. M. (2010). Compostagem de Resíduos Verdes e Avaliação da Qualidade Dos Compostos Obtidos - Caso de Estudo da Algar S.A. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais. ISA, UTL - Lisboa.
- Cunha-Queda, A. C. F. C. (1999). Dinâmica do Azoto durante a Compostagem de Materiais Biológicos Putrescíveis. Dissertação de doutoramento em Engenharia Agro-Industrial, ISA, UTL, Lisboa.
- Cunha-Queda, A. C., Vallini, G., Agnolucci, M., Coelho, C. A., Campos, L. & Bruno de Sousa, A R. (2002). Microbiological and Chemical Characterisation of Composts at Different Levels of Maturity, with Evaluation of Phytotoxicity and Enzymatic activities. In: Microbiology of Composting, Ed. Insam, H., Riddech, N., Klammer, S., Springer-Verlag, Berlin, 345-355. (Cit. Cordeiro, 2010).
- Cunha-Queda, C. & Ferreira, J. (2021). Compostagem de Sobrantes Agrícolas, Agroindustriais e Pecuários. In: Agricultura Biológica - Boas Práticas Agrícolas para o Solo e para o Clima. Ed. AGROBOOK, 66-190. ISBN: 9789899017511.
- DG ENV. A.2. 2nd draft - Working Document. (2001). European Commission Directorate- General Environment Directorate A Sustainable Development and Policy Support, & ENV.A.2 - Sustainable Resources. Biological Treatment of Biowaste - .
- EMBRAPA. (2022). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Hortaliça Não é só Salada. Compostagem. Consultado em agosto 2022. Disponível em <https://www.embrapa.br/hortaliça-nao-e-so-salada/secoes/compostagem>.
- EN 13037. (1999). Soil Improvers and Growing Media. Determination of pH.
- EN 13038. (1999). Soil Improvers and Growing Media. Determination of Electrical Conductivity.
- EN 13039. (1999). Soil Improvers and Growing Media – Determination of Organic Matter Content and Ash. European Committee for Standardization.
- EN 13040. (1999). Soil Improvers and Growing Media. Sample Preparation for Chemical and Physical Tests, Determination of Dry Matter Content, Moisture Content and Laboratory Compacted Bulk Density.
- EN 13650. (2001). Soil Improvers and Growing Media – Extraction of Aqua Regia Soluble Elements. European Committee for Standardization.
- EN 13652. (2001). Soil Improvers and Growing Media. Extraction of Water Soluble Nutrients and Elements.
- EN 13654-1. (2001). Soil Improvers and Growing Media. Determination of Nitrogen. Modified Kjeldahl Method.
- Epstein, E. (2011). Industrial Composting: Environmental Engineering and Facilities Management. CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC. USA. 318pp.
- Fernandes, P. A. L. (1999). Estudo Comparativo e Avaliação de Diferentes Sistemas de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Coimbra, Coimbra, 113 pp. (Cit. Cordeiro, 2010).
- Fong, M. Wong, J. W. C. & Wong, M. H. (1999). Review on Evaluation of Compost Maturity and Stability of Solid Waste. Shanghai Environ. Sci., 18, 91-93. (Cit. Valente *et al.*, 2009).
- Godden, B. Penninckx, M. J. & Castille, C. (1986). On the Use of Biological and Chemical Indexes for Determining Agricultural Compost Maturity: Extension to the Field Scale. Agric. Wastes, 15, 169-178. (Cit. Pereira, 2016).
- Golueke, C.G. (1981). Principles of Biological Resource Recovery. BioCycle, 22:4, 36-40. (Cit. Cunha Queda, 1999).
- Gonçalves, M. J. S. (1999). Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Sua Valorização para fins Agrícolas pelo Método de Compostagem. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Agronómica. ISA, UTL, Lisboa.

- Gorgati, C. Q. (2001). Resíduos Sólidos Urbanos em Áreas de Proteção aos Mananciais - Município de São Lourenço da Serra - SP: Compostagem e Impacto Ambiental. Dissertação para obtenção do grau de doutor em Agronomia. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu. 70 pp.
- Graça, V. F. (2015). Plano de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos - Uma Proposta para a Cidade de Porto Novo, Ilha de Santo Antão, Cabo Verde. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. ISA, ULisboa.
- Graves, R. E. & Hattemer, G. M. (2000) Composting. In: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Environmental Engineering - National Engineering Handbook. Washington, 88pp.
- Guo, X., Liu, H. & Wu, S. (2019). Humic Substances Developed During Organic Waste Composting: Formation Mechanisms, Structural Properties and Agronomic Functions. *Science of the Total Environment*. 662, 501–510.
- Haug, R. T. (1980) Compost Engineering: Principles and Practice. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Hoang, H. G., Thuy, B. T. P., Lin, C., Vo, D. N., Tran, H. T., Bahari, M. B., Le, V. G. & Vu, C. T. (2022). The Nitrogen Cycle and Mitigation Strategies for Nitrogen Loss During Organic Waste Composting: A Review. *Chemosphere*, 300, 134514.
- Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T. & Nagar, B. B. (2004). Effect of C/N on Composting of Pig Manure with Sawdust. *Waste Manage.*, 24, 805-813.
- ISO 11885. (1998). Water Quality - Determination of Selected Elements by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).
- Jodice, R. (1989). Parametri Chimici e Biologici per la Valutazione della Qualità del Compost. In: Proceedings of the Compost Production and Use International Symposium, S. Michelle all'Adige, 20-23 June: 363- 384. (Cit. Silva, 2009).
- Juste, C. (1980). Avantages et Inconvenients de l'utilisation des Composts d'ordures Ménagères comme Amendement Organique des sols ou Supports de Cultur. International Conference on Compost, 22-26 January, Madrid, Spain. (Cit. Lopes, 2008).
- Kader, N. A. E., Robin, P., Paillat, J. & Leterme, P. (2007). Turning, Compacting and the Addition of Water as Factors Affecting Gaseous Emissions in Farm Manure Composting. *Bioresource Technol.*, 98, 2619-2628.
- Kiehl, E. J. (1985). Fertilizantes Orgânicos. Editora Agronômica Ceres Ltda. Piracicaba. 492 pp. (Cit. Valente *et al.*, 2009).
- Kiehl, E. J. (2004). Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba. 173 pp. (Cit. Valente *et al.*, 2009).
- LAGA-MERKBLATT M10. (1995) Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost. Müll-Handbuch Lfg. 5/95, Kennziffer 6856, Ed. Erich Schmidt Verlag, Berlin. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Lau, A. K., Lo, K. V., Liao, P. H. & Yu, J. C. (1992). Aeration Experiments for Swine Waste Composting. *Bioresource Technol.*, 41, 145-152. (Cit. Valente *et al.*, 2009).
- Li, X., Zhang, R. & Pang, Y. (2008). Characteristics of Dairy Manure Composting with Rice Straw. *Bioresource Technol.* 99, 359-367.
- Lima, C. C. (2006). Caracterização Química de Resíduos da Produção de Biodiesel Compostados com Adição Mineral. Tese de Doutorado em Ciências. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 167 pp.
- Lopes, J. I. F. (2008). Valorização Agrícola e Avaliação da Qualidade de Matérias Orgânicas Fertilizantes. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ecologia da Paisagem e Conservação da Natureza. Faculdade de Ciências, Universidade do Porto.
- Lopez-Real, J. (1994). Composting Through the Ages. Conferência Down to Earth Composting. Dundee. (Cit. Valente *et al.*, 2009).

- Mahapatra, S., Hibzur, Md. & Samal, K. (2022). Assessment of Compost Maturity-stability Indices and Recent Development of Composting Bin. *Energy Nexus.*, 6, 100062.
- Mari, I., Ehaliotis, C., Kotsou, M., Balis, C. & Georgakakis, D. (2003). Respiration Profiles in Monitoring the Composting of by-products from the Olive Oil Agro-industry. *Bioresource Technol.*, 87, 331-336.
- Martinho, M. G. M & Gonçalves, M. G. P. (2000). Valorização e Tratamento de Resíduos. In: *Gestão de Resíduos*. Universidade Aberta, Lisboa.125-184. (Cit. Oliveira, 2011).
- Mathur, S. P. (1991). Composting Processes. In: *Bioconversion of Waste Materials to industrial Products*. A.M. Martin (Ed) Elsevier Applied Science. (Cit. Oliveira, 2010).
- Merkel. (1981) Composting In: *Managing Livestock Wastes*. Ed. por AVI.: 306-322. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Morais, M. C. (2003). Evolução da Estabilidade e da Maturação durante o Armazenamento de Produtos Obtidos a partir da Compostagem da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos. Trabalho final de curso de Licenciatura em Engenharia Agro-industrial. UTL - ISA, Lisboa.
- Morel, J. L., Colin, F., Germon, J. C., Godin, P. & Juste, C. (1985). Methods for the Evaluation of the Maturity of Municipal Refuse Compost J.K.R. Gasser (Ed.), *Composting of Agricultural and other Wastes*, Elsevier, Applied Science Publications, Barking, Essex, 56-72. (Cit. Raj *et al.*, 2011).
- Mustin, M. (1987). *Le compost Gestion de la Matière Organique*. Édition François Dubusc, 954 pp. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Nannipieri, P., Grego, S. & Ceccanti, B. (1990). Ecological Significance of the Biological Activity in Soil. In: *Soil biochemistry*. Ed. Boolag, J.m. e Stotzky, G., Marcel Dekker, New York, 6, 293-355. (Cit. Pereira, 2016).
- Neto, J. T. P., Stentiford, E. I. & Mara, D. D. (1987) Comparative Survival of Pathogenic Indicators in Windrow and Static pile. In: *Compost: Production, Quality and Use*. Ed. De Bertoldi, M., Ferrenti, M.P., L'Hermite, P., Zucconi, F., Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Essex: 276-295. (Cit. Sequeira, 2013).
- Oliveira, A. M. G., Aquino, A. M. & Neto, M. T. C. (2005). *Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico*. EMBRAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cruz das Almas/BA – Brasil.
- Oliveira, C. R. (2011). *Avaliação da Qualidade de Compostos de Borrás de Café na Produção de Plantas Aromáticas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais. ISA, UTL, Lisboa.
- Oliveira, R. V. (2010). *Testes de Maturação Aplicados a Matrizes Bioestabilizadas*. Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior de Agrinomia, Universidade de Lisboa.
- Paiva, E. C. R., Matos, A. T., Costa, T. D. R., Justino, E. A. & Paula, H. M. (2010). Comportamento do pH e da Temperatura do Material durante a Compostagem de Carça de Frango com Diferentes Materiais Orgânicos. I Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Bauru/SP.
- Pasquale Trotta (2011). *A Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal*. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão (ISSN 1984-9354).
- Peixoto, R. T. (1988). *Compostagem: Opção para o Manejo Orgânico do solo*. IAPAR. Londrina. 46 pp. (Cit. Valente *et al.*, 2009).
- Pereira Neto, J. T. (2004). *Compostagem: Fundamentos e Métodos*. 1º Simpósio Sobre Compostagem: Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista– FCA - GEMFER.
- Pereira Neto, J. T. (2007). *Manual de Compostagem: Processo de Baixo Custo*. UFV. Viçosa. 81 pp.
- Pereira, A. L. S. (2016). *Valorização de Resíduos Agropecuários, Agroflorestais e Alimentares através do Processo de Compostagem – Caso de Estudo Tapada da Ajuda*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. ISA, ULisboa.

- Poincelot, R. P. (1974). A Scientific Examination of the Principles and Practice of Composting. *Compost Science*, 15, 24-31. (Cit. Cunha Queda, 1999).
- Poincelot, R. P. (1975) The Biochemistry and Methodology of Composting. The Connecticut Agricultural Experimental Station, New Haven, Bull. 754, September. (Cit. Cunha Queda, 1999).
- Portaria n.º 185/2022 de 21 julho. Diário da República, 1.ª série n.º 140. (2022). *Economia e Mar, Ambiente e Ação Climática e Agricultura e Alimentação*. Consultado em outubro 2022. Disponível em https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/185-2022-186429710?_ts=1664807553706.
- Proposta de Norma. (2001). Proposta de Regulamentação sobre Qualidade do Composto para Utilização na Agricultura. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa. 14 pp.
- Raj, D. & Antil, R. S. (2011). Evaluation of Maturity and Stability Parameters of Composts Prepared from Agro-industrial Wastes. *Bioresource Technol.*, 102:3, 2868-2873.
- Ramos, N. F. L. (2016). Avaliação da Fitotoxicidade de Correctivos Orgânicos. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. ISA, ULisboa.
- Richard, T., Trautmann, N., Krasny, M., Fredenburg, S. & Stuart, C. (2002). The Science and Engineering of Composting. The Cornell Composting Website, Cornell University. (Cit. Valente *et al.*, 2009)
- Rodrigues, M. S., Silva, F. C., Barreira, L. & Kovacs, A. (2006) Compostagem: Reciclagem de Resíduos Sólidos Orgânicos. In: Spadotto, C. A.; Ribeiro, W. *Gestão de Resíduos na Agricultura e Agroindústria*. FEPAF: Botucatu, 63-94.
- Russo, M. A. T. (2004). Introdução à Compostagem de Resíduos Sólidos. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo, 81 pp. (Cit. Cordeiro, 2010).
- Santos, J. Q. (2012). Fertilização, Fundamentos da Utilização dos Adubos e Corretivos, 4ª Edição das Publicações Europa-América.
- Santos, J. Q., (1996). Fertilização. Fundamentos da Utilização dos Adubos e Correctivos, 2.ª Edição. Publicações Europa-América, Mem Martins, 441 pp. (Cit. Lopes, 2008).
- Sequeira, L. L. (2013). Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos E Avaliação da Qualidade dos Produtos Obtidos – Caso de Estudo Amarsul S.A. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais. ISA, UTL, Lisboa.
- Silva, F. A. M. (2009). Transformação da Matéria Orgânica em Substâncias Húmicas durante a Compostagem de Resíduos Vegetais. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 4:1, 59-66 (ISSN: 1980-9735).
- Silva, V. M., Ribeiro, P. H., Texeira, A. F. R. & Souza, J. L. (2013). Qualidade de Compostos Orgânicos Preparados com Diferentes Proporções de Ramos de Gliricídia (*Gliricidia sepium*). *Revista Brasileira de Agroecologia*. Rev. Bras. de Agroecologia. 8:1, 187-198 (ISSN: 1980-9735).
- Snell, J. R. (1991). Role of Temperature in Garbage Composting. In: *The Biocycle Guide to the Art & Science of Composting*. J.G. Press. Emmaus. 224-256. (Cit. Valente *et al.*, 2009).
- Speir, T. W. & Ross, D.F. (1978). Soil Phosphatases and Sulfatases. In: *Soil Enzymes*. Academic Press, New York: 198-235. (Cit. Pereira, 2016).
- Stoffella, P. J. & Kahn, B. A. (2004). Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola Edicions Mundi-prensa. (Cit. Oliveira, 2011).
- Tang, J. C., Kanamori, T., Inoue, Y., Yasuta, T., Yoshida, S. & Katayama, A. (2004). Changes in the Microbial Community Structure during Thermophilic Composting of Manure as Detected by Quinone Profile Method. *Process Biochem*. 39, 1999-2006.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. (1993). *Integrated solid waste management, engineering principles and management issues*. New York: McGrawHill, 978pp. (Cit. Silva *et al.*, 2013).

- Teodoro, A. I. M. (2006). Obtenção de Produtos Compostados de Elevada Qualidade para Utilização em Agricultura Biológica. Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Engenharia do Ambiente Ramo Gestão e Recuperação Ambiental, ISA, Lisboa.
- Tiquia, S. M. (2005). Microbiological Parameters as Indicators of Compost Maturity. *J. Appl. Microbiol.* 99, 816-828.
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. & Hodgkiss, I. J. (1997). Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter. *Bioresource Technol.*, 62, 37-42.
- Trautmann, N., Krasny, M. (1997). Composting in the Classroom. *Scientific Inquiry for High School Students*. Ed. Cornell University. (Cit. Ramos, 2016).
- Tuomela, M., Vikman, M. & Hatakka, A. (2000). Biodegradation of Lignin in a Compost Environment: a review. *Bioresource Technol.*, 72, 169-183.
- UCS (s.d.). Cartilha para Agricultores. Compostagem. Produção de Fertilizantes a Partir de Resíduos Orgânicos. Universidade de Caxias do Sul – RS/Brasil. Consultado em agosto 2022. Disponível em <https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/cartilha-agricultores-compostagem.pdf>.
- Valente, B. S., Xavier, E. G., Morselli, T. B. G. A., Jahnke, D. S., Brum Jr., B. de S., Cabrera, B. R., Moraes, P. de O. & Lopes, D. C. N. (2009). Fatores que Afetam o Desenvolvimento da Compostagem de Resíduos Orgânicos. *Archivos de Zootecnia*, 58:R, 60-85.
- Vallini, G. (1995a). Compost. In: *Dizionario dell'ambiente*, ed. Gamba, G., Martignetti, G., ISEDI, UTET Libreria, Torino, 173-174. (Cit. Pereira, 2016).
- Vallini, G. (1995b). Il Compostaggio. In: *La Protezione dell'ambiente in Itália*. Ed. Bertini, I., Cipollini, R., Tundo, P. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Società Chimica Italiana e Consorzio Interuniversitario Chimica per l'Ambiente. Bologna. 83-134. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Vinneras, B., Bjorklund, A. & Jonsson, H. (2003). Thermal Composting of Faecal Matter as Treatment and Possible Disinfection Method - Laboratory Scale and Pilot-scale Studies. *Bioresource Technol.*, 84, 275-282.
- Zucconi, F. & De Bertoldi, M. (1986). Organic Waste Stabilization Throughout Composting and its Compatibility with Agricultural Uses. In: Wise, D.L. *Global bioconversions*. CRC Press. Boca Raton. 109-137. (Cit. Valente *et al.*, 2009).
- Zucconi, F. & De Bertoldi, M. (1987). Compost Specifications for the Production and Characterization of Compost from Municipal Solid Waste. In: *Compost: production, quality and use*. Ed. De Bertoldi, M., Ferranti, M. P., L'Hermite, P., Zucconi, F., Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Essex, 30-50. (Cit. Cunha-Queda, 1999).
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. & De Bertoldi, M. (1981). Evaluation Toxicity of Immature Compost Maturity. *BioCycle*, 22(2): 54-57. (Cit. Cunha-Queda, 1999).