



Escola Superior Agrária de Coimbra

Instituto Politécnico de Coimbra

Giovane Moraes Toledo

AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DOMÉSTICA DE BIORRESÍDUOS

Orientadora: Prof.^a Daniela Santos

Coorientadora: Prof.^a Maria Filomena Miguens

Coimbra, 2022

Giovane Moraes Toledo

AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DOMÉSTICA DE BIORRESÍDUOS

Orientadora: Prof.^ª Daniela Santos
Coorientadora: Prof.^ª Maria Filomena Miguens

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre em Gestão Ambiental

Coimbra, 2022

Agradecimentos

Agradeço ao governo português por me possibilitar a estudar dentro das fronteiras da pátria-mãe brasileira, um país que aprendi a amar e que levarei sempre comigo em meu regresso ao Brasil.

À ESAC em nome de sua estrutura orgânica, corpo docente, funcionários e bolsistas que auxiliaram na realização deste projeto, em especial aos representantes dos Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra, dos Laboratórios de Solos e Fertilidade, de Análises Químicas, de Valorização de Recursos Endógenos e Naturais, nomeadamente à orientadora Prof.^ª Daniela Santos, coorientadora Prof.^ª Filomena Miguens, à Eng.^ª Leonor Pato, ao Eng.^º Fernando Santos, à Ana Sofia Santos, aos bolsistas do projeto BioComp, ao Eng.^º Nuno Ribeiro e à parceira do projeto, a empresa startup Mudatuga.

Também agradeço aos professores e a todos os meus familiares, colegas e amigos que me acompanharam e me estimularam nesta caminhada.

“A história da vida na Terra tem sido uma história de interação entre coisas vivas e seus ambientes” (CARSON, Rachel - 1962)

Resumo

O presente trabalho enquadra-se na unidade curricular “Estágio Profissionalizante” do mestrado em Gestão Ambiental da Escola Superior Agrária de Coimbra - ESAC. O tema do trabalho surge do desafio em avaliar o processo de compostagem doméstica através dos biorresíduos gerados na ESAC a partir da cantina, bar/cafeteria e jardim.

As metas de valorização dos biorresíduos e desvio dos aterros sanitários aponta para uma participação ainda maior do gerador do resíduo e de estratégias mais dinâmicas e integradas não só num tratamento mais sustentável, mas que seja economicamente viável na gestão dos resíduos. A compostagem necessita de um resíduo segregado e identificado na origem para que se produza um adubo com uma qualidade que possa ser utilizado no enriquecimento do solo. Este trabalho tem o desafio de propor métodos para o uso dos biorresíduos na compostagem, transpondo as áreas de alimentação e jardinagem da ESAC para o ambiente doméstico, recorrendo à principal refeição do dia, o almoço, e resíduos de jardim encontrado na maioria das residências.

Foram testadas as aproximações de compostagem termofílica realizada em pequenos compostores de dimensão doméstica e a pré-digestão dos resíduos alimentares com *bokashi* para posterior tratamento em compostores termofílicos e diretamente no solo.

Os resultados indicam que a compostagem doméstica causa impacto significativo no volume de biorresíduos a serem recolhidos e tratados pelas entidades gestoras de resíduos, sendo mais viável economicamente e mais ambientalmente adequada. Mesmo que o composto produzido não se adeque às certificações para comercialização, ainda pode ser usado pelos adeptos à compostagem doméstica de forma a contribuir para a recuperação da fertilidade do solo.

Palavras-chave: biorresíduos, *bokashi*, compostagem, compostagem termofílica, compostor doméstico, fermentação, valorização de resíduos.

Abstract

This work is part of the curricular unit “Professional Training” of the master’s degree in Environmental Management at the Escola Superior Agrária de Coimbra - ESAC. The theme of the essay arises from the challenge of evaluating the process of domestic composting through the bio-waste generated at ESAC from the canteen, bar/coffee shop and garden.

The goals of valuing bio-waste and diverting from sanitary landfills point to an even greater participation of the waste generator and more dynamic and integrated strategies not only in a more sustainable treatment, but that is economically viable in the management of waste. Composting requires a waste segregated and identified at source to produce a quality fertilizer that could use to enrich the soil. This work has the challenge of proposing methods for the use of biowaste in composting, transposing the ESAC food and gardening areas to the domestic environment, using the main meal of the day, lunch, and garden waste found in most homes.

Approximations of thermophilic composting conducted in small domestic-sized composters and the pre-digestion of food waste with *bokashi* for later treatment, both in thermophilic composters and directly in the soil, were evaluated in this research.

The results indicate that domestic composting has a significant impact on the volume of biowaste collected and treated by waste management entities, being more economically viable and more environmentally appropriate. Even if the compost produced does not comply with certifications for commercialization, domestic composting users can still use it to contribute to soil fertility.

Keywords: biowaste, *bokashi*, composting, domestic composter, fermentation, thermophilic composting, waste recovery.

Índice

1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica.....	2
3. Procedimentos para a recolha dos biorresíduos.....	9
3.1 Origem e recolha dos biorresíduos	11
3.2 Metodologia aplicada.....	14
3.3 Materiais e métodos de preparação dos biorresíduos	16
4. Materiais e métodos do processo de compostagem e amostragem	21
4.1 Compostor doméstico artesanal	24
4.2 Compostor <i>Bokashi</i> <i>ORGANKO</i>	26
4.3 Fase de pré-tratamento: fermentação.....	29
4.4 Fase de tratamento: compostagem aeróbia - grupo de controlo.....	30
4.5 Compostagem aeróbia – grupo pré-tratamento (fermentado)	32
4.6 Compostagem aeróbia - grupo de tratamento no solo.....	33
5. Resultados da monitorização da compostagem.....	34
5.1 Grupo de controlo.....	36
5.2 Tratamento com uso de fermentação prévia com farelo de <i>bokashi</i> seguido pela compostagem aeróbia em compostores domésticos	43
5.3 Tratamento no solo após fermentação com farelo de <i>Bokashi</i>	50
5.4 Produção de lixiviado	55
6. Ensaio de fitotoxicidade	61
7. Resultados	64
8. Conclusões.....	72
Referências bibliográficas	74
Anexo	80

Lista de tabelas, quadros, figuras e gráficos

Tabela 1: Quantificação de biorresíduos (peso e volume) por dia de recolha e destino para os compostores.	85
Tabela 2: Resultado das amostras iniciais de biorresíduos para humidade, N Kjeldahl, CO e C/N.	23
Tabela 3: Análise de humidade, C.E., pH, CO e MO das amostras do grupo de controlo.	60
Tabela 4: Análise de humidade, C.E., pH, CO e MO das amostras do grupo de pré-tratamento com <i>bokashi</i>	60
Tabela 5: Análise de humidade, C.E., pH, CO e MO das amostras do grupo de tratamento no solo.	60
Tabela 6: Teores de macro e micro nutrientes e metais pesados do composto produzido nos compostores aeróbios do grupo de controlo.	68
Tabela 7: Teores de macro e micronutrientes e metais pesados do composto produzido nos compostores aeróbios do grupo com pré-tratamento (B1, B2 e B3).	68
Tabela 8: Teores de macro e micronutrientes, bases e metais pesados do tratamento no solo (S1, S2 e S3).	69
Quadro 1: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos castanhos.	80
Quadro 2: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 1.	80
Quadro 3: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 2.	81
Quadro 4: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 3.	81
Quadro 5: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 4.	82
Quadro 6: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 5.	82
Quadro 7: Classificação dos teores de alguns parâmetros em solos (método de extração com água, na proporção solo: água = 1:5 p/v)	59
Quadro 8: Classificação dos teores de alguns parâmetros em substrato (método de extração com água, na proporção solo: água = 1:1,5 v/v)	59
Quadro 9: Classes de salinidade do solo e de substratos.	59
Quadro 10: Índice de germinação.	63
Quadro 11: Avaliação %G, %L e IG das amostras dos tratamentos.	64
Quadro 12: Classificações possíveis dos níveis de fitotoxicidade.	83
Quadro 13: Parâmetros analisados e metodologia utilizada para a caracterização dos solos utilizados no ensaio e das amostras solo e corretivo após conclusão do ensaio.	84
Quadro 14: Parâmetros analisados nas amostras recolhidas e metodologias utilizadas.	84
Quadro 15: Valores máximos admissíveis para os teores totais de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe (mg por kg de matéria seca).	66
Quadro 16: Características químicas indicadoras de solos não salinos, salinos, salinos-sódicos e sódicos.	69
Figura 1: Organograma do IPC com destaque para a Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) e Serviços da Ação Social do Politécnico de Coimbra (SASIPC).	10
Figura 2: Ementa semanal de almoço da cantina ESAC.	11
Figura 3: Comparação da distribuição percentual do consumo alimentar recomendado pela Roda dos Alimentos com as disponibilidades diárias per capita, segundo a Balança Alimentar Portuguesa (2016-2020).	11

Figura 4: Mapa do local de origem dos biorresíduos utilizados no estudo.	12
Figura 5: Registo em 30/05/2022 - disposição dos contentores segregados de resíduos sólidos da cozinha da cantina ESAC.	13
Figura 6: Registo em 30/05/2022 - contentor de resíduos orgânicos da cozinha da cantina ESAC.	13
Figura 7: Registo em 30/05/2022 - contentor de resíduos recicláveis (um de papel à esquerda e dois de plástico e metal à direita) da cozinha da cantina ESAC.	13
Figura 8: Biorresíduos de preparação do almoço.	14
Figura 9: Biorresíduos gerados pós consumo do almoço.	14
Figura 10: Materiais utilizados e local do procedimento de homogeneização e seleção dos resíduos.	17
Figura 11: Redução dos resíduos alimentares da preparação do almoço.	17
Figura 12: Diferença entre os resíduos alimentares da preparação e pós almoço.	18
Figura 13: Medição da altura dos resíduos pré (à esquerda) e pós (à direita) almoço para cálculo do volume.	18
Figura 14: Uso da cavadeira na redução da partícula dos resíduos.	19
Figura 15: Excesso de líquidos dos resíduos.	19
Figura 16: Proporções de resíduos pós almoço (nas extremidades), resíduos da preparação (no centro, acima) e borra de café (abaixo).	20
Figura 17: Após passar pelo processo de redução de partículas com a cavadeira no procedimento do dia 01/06.	20
Figura 18: Resíduos não biodegradáveis e excesso de guardanapo encontrados junto aos biorresíduos.	20
Figura 19: Mistura com a pá e início do quarteamento para seleção do volume a ser transferido para os compostores.	21
Figura 20: Seleção de 2/4 dos biorresíduos no processo de quarteamento.	21
Figura 21: Delineamento experimental dos ensaios com compostagem aeróbia termofílica (C), pré-fermentação com <i>bokashi</i> (pré-tratamento), compostagem aeróbia termofílica com pré-fermentado <i>bokashi</i> (B) e solo com pré-fermentado <i>bokashi</i> (S).	22
Figura 22: Programa de ensaios adaptado da norma EN 14899:2005.	24
Figura 23: Modelo de compostor doméstico caseiro.	26
Figura 24: Registo em 06/06 - Lixiviado para recolha e análise – grupo de controlo.	26
Figura 25: Registo em 27/06 - Recolha lixiviado - grupo de controlo.	26
Figura 26: Compostor <i>Bokashi</i> <i>ORGANKO</i> da fabricante Skaza.	27
Figura 27: Método de operação do compostor <i>Bokashi</i> <i>ORGANKO</i>	28
Figura 28: Farelo de <i>bokashi</i> disponibilizado pela empresa.	29
Figura 29: Medidor e quantidade de farelo introduzido.	29
Figura 30: Camada de farelo de <i>bokashi</i> no fundo do compostor.	30
Figura 31: Biorresíduos introduzidos no compostor <i>Bokashi</i> <i>ORGANKO</i> e medida para quantificar o volume.	30
Figura 32: Compressão dos biorresíduos com espátula.	30
Figura 33: Disposição dos compostores <i>Bokashi</i> <i>ORGANKO</i> e recolha de lixiviado.	30
Figura 34: Resíduo castanho utilizado na compostagem (relva e folhas de carvalho).	31
Figura 35: Homogeneização dos tipos de matéria seca e cálculo do volume a ser introduzido.	31
Figura 36: Introdução inicial da matéria seca castanha no fundo do balde.	31
Figura 37: Introdução dos resíduos alimentares, mistura com os resíduos castanhos e cobertura final da camada.	32
Figura 38: Transferência do fermentado para a compostagem aeróbia.	33

Figura 39: Local da recolha de amostra de solo.	34
Figura 40: Solo após passar pelo crivo.	34
Figura 41: Fermentado com cobertura de solo no compostor.	34
Figura 42: Sonda e medição central e lateral da temperatura e humidade do composto.	35
Figura 43: Medidor de pH (esquerda) e condutividade elétrica (direita).	36
Figura 44: Coloração castanha no dia 06/06/2022 e em destaque a matéria carbonada e colonização por fungos (A).	41
Figura 45: <i>Drosophila sp.</i> , registo dia 08/06 adulta (A) e estágio larval (B).	41
Figura 46: Revolvimento do composto em 13/06.	41
Figura 47: A. Mosca soldado (<i>H. illucens</i>); B. Estágio larval inicial (<i>H. illucens</i>); e C. pupa de <i>Drosophila sp.</i>	42
Figura 48: Registo 20/06 - (A) <i>H. illucens</i> - fase pré-pupa; (B) <i>M. domestica</i> - adulta; e (C) <i>Drosophila sp.</i> - adulta.	42
Figura 49: Registo 22/06 – em fase de pupa - (A) <i>H. illucens</i> ; (B); <i>M. domestica</i> ; e (C) <i>Drosophila sp.</i>	43
Figura 50: Registo aspeto visual do composto nas datas: 10 e 20 de junho, 10 de julho e 08 de agosto.	43
Figura 51: Registo em 11/07 - Mosca adulta e estágio de pupa.	48
Figura 52: Registo em 15/07 - Estágio larval de mosca soldado no lixiviado.	48
Figura 53: Registo em 16/07 - Ovos de mosca soldado próximo aos compostores.	48
Figura 54: Registo em 17/08 - (A) Exterior seco e (B) interior húmido.	49
Figura 55: Registo em 11/08/2022 - A. ácaros (Oribatida); B. colêmbolos (Entomobryomorpha).	49
Figura 56: Registo em 30/08 - Biorresíduos não decompostos e resíduos de plástico e metal.	49
Figura 57: Registo em 08/07-humidade e fungos nos compostores de solo.	53
Figura 58: Desenvolvimento de fungo no compostor S3.	53
Figura 59: Registo de germinação nos dias 03 e 05 de agosto, no compostor.	54
Figura 60: Registo em 17/08 - Fungos, e dípteros no solo. Furo da sonda em destaque.	54
Figura 61: Registo em 11/08 - Ácaros se alimentando de um díptero.	54
Figura 62: Registo em 17/08 – Recolha das amostras de solo com interior orgânico e presença de larvas de mosca soldado.	55
Figura 63: Registo em 27/06 - Coloração do lixiviado dos compostores C2, B2 e B3.	57
Figura 64: Registo em 05/06 - Recolha lixiviado do fermentado.	57
Figura 65: Registo em 20/07 - Recolha e leitura do lixiviado do compostor aeróbio.	57
Figura 66: Registo em 15/10 – Preparação do extrato a partir do composto seco a 30 °C e 60 °C.	61
Figura 67: Registo em 23/09 – Preparação teste de fitotoxicidade com seentes de agrião.	62
Figura 68: Registo em 15/10 - Placa com as diferentes concentrações do extrato e sementes de rabanete.	62
Figura 69: Registo em 18/10 - Placa com sementes germinadas e forma de medida da radícula (Paquímetro – <i>Electronic Digital Caliper: inch/mm.</i>)	62
Figura 70: Registo em 18/10 – Acima raiz danificada pelo extrato concentrado e abaixo zona pelúcida da radícula sem danos aparentes.	63
Figura 71: Moinhos de motor <i>Retsch</i> com crivo.	86
Figura 72: Moinho de corte modelo <i>Retsch SM 100</i>	86
Figura 73: Espectrômetro de Absorção Atômica <i>PinAAcle 900T</i> , marca <i>Perkin Elmer</i>	86
Figura 74: Espectrofotômetro visível <i>PYE UNICAM SP6-350</i> , marca <i>Philips</i>	86
Figura 75: Medidor de carbono <i>SC-144DR</i> , marca <i>LECO</i>	86

Figura 76: Análise de mercúrio AMA254, LECO.....	86
Figura 77: Estufa de germinação CASSEL.....	86
Figura 78: Digestor.....	86
Figura 79: Unidade de Destilação UDK 129 Kjeldahl.	86

Gráfico 1: Evolução da produção, em toneladas, de resíduos urbanos (RU) e capitação diária (kg/hab.dia) em Portugal Continental, entre 2008 e 2020.	3
Gráfico 2: Caracterização de resíduos incluindo os resíduos para utilização na compostagem e respetivos tipos de tratamento utilizados - conforme a portaria nº 851/2009 (Aprova as normas técnicas relativas à caracterização de resíduos urbanos).	4
Gráfico 3: Tipos de tratamento dos resíduos urbanos de 2014 a 2020.	8
Gráfico 4: Evolução da recolha de resíduos urbanos entre 2014 e 2020.	9
Gráfico 5: Temperaturas máximas e mínimas de Coimbra - junho a agosto de 2022.....	37
Gráfico 6: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de controlo C1 e temperatura média em Coimbra.....	37
Gráfico 7: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de controlo C2 e temperatura média em Coimbra.....	38
Gráfico 8: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de controlo C3 e temperatura média em Coimbra.....	38
Gráfico 9: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de controlo C1.	39
Gráfico 10: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de controlo C2.	40
Gráfico 11: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de controlo C3.	40
Gráfico 12: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B1 e temperatura média em Coimbra.....	44
Gráfico 13: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B2 e temperatura média em Coimbra.....	45
Gráfico 14: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B3 e temperatura média em Coimbra.....	45
Gráfico 15: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B1.....	46
Gráfico 16: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B2.....	47
Gráfico 17: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B3.....	47
Gráfico 18: Temperatura - Compostor de tratamento no solo S1 e temperatura média em Coimbra.....	50
Gráfico 19: Temperatura - Compostor de tratamento no solo S2 e temperatura média em Coimbra.....	51
Gráfico 20: Temperatura - Compostor de tratamento no solo S3 e temperatura média em Coimbra.....	51
Gráfico 21: Humidade - Compostor de tratamento no solo S1.	52
Gráfico 22: Humidade - Compostor de tratamento no solo S2.	52
Gráfico 23: Humidade - Compostor de tratamento no solo S3.	53
Gráfico 24: Volume (ml) de lixiviado recolhido - grupo de controlo (C1, C2 e C3).....	55
Gráfico 25: Volume (ml) de lixiviado recolhido - compostor anaeróbio: pré-tratamento com <i>bokashi</i> (1, 2 e 3).....	56
Gráfico 26: Volume (ml) de lixiviado recolhido - compostor aeróbio com pré-tratamento <i>bokashi</i> (B1, B2 e B3).....	56
Gráfico 27: Medida de pH do lixiviado - grupo de controlo.	58
Gráfico 28: Medida de pH do lixiviado - Compostagem anaeróbia seguida pela aeróbia.	58

Gráfico 29: Medida de C.E. (mS/cm) do lixiviado - grupo de controlo.....	58
Gráfico 30: Medida de C.E. (mS/cm) do lixiviado - Compostagem anaeróbia seguida pela aeróbia.	58

Abreviaturas e Acrónimos

APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ANR	Autoridade Nacional de Resíduos
BAAS	Bolsa de Atividades de Apoio Social
CE	Comissão Europeia
C.E.	Condutividade elétrica
CEN	Comité Europeu de Normalização
C/N	Relação carbono azoto
CO	Carbono orgânico
EM	Estados Membro
FER	Fim do Estatuto de Resíduo
ESAC	Escola Superior Agrária de Coimbra
IG	Índice de germinação
ISCAC	Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra
ISO	Internacional Organization for Standardization
LER	Lista Europeia de Resíduos
MO	Matéria Orgânica
ONU	Organização das Nações Unidas
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAYT	Pay As You Throw
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
pH	Potencial hidrogeniônico
PNPAS	Programa Nacional para a Promoção da Alimentação Saudável
PPRU	Programas de Prevenção de Resíduos Urbanos
RAYT	Receive As You Throw
RARU	Relatório Anual de Resíduos Urbanos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	Resíduos Urbanos
SAYT	Save As You Throw
SDDR	Sistemas de devolução, depósito e retorno

SASIPC	Serviços de Ação Social do Instituto Politécnico de Coimbra
SIR	Sistema da Indústria Responsável
UAN	Unidade de Alimentação e Nutrição
UE	União Europeia
UTMB	Unidade de Tratamento Mecânico e Biológico
UVB	Unidades de Valorização de Resíduos
VALOREN	Valorização de Recursos Endógenos e Naturais
VALORSUL	Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e do Oeste, S. A

1. Introdução

O atual regime geral de gestão de resíduos define resíduos como “qualquer substância ou objeto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer” [1] e especifica os resíduos alimentares como os resultantes dos gêneros alimentícios que se tornam biorresíduos descartados na forma de “qualquer substância ou produto, transformado, parcialmente transformado ou não transformado, destinado a ser ingerido pelo ser humano ou com razoáveis probabilidades de o ser” [2].

Os resíduos urbanos (RU) da recolha seletiva dos serviços de gestão definidos por biorresíduos tem como origem os jardins e parques, habitações, escritórios, restaurantes, grossistas, cantinas, unidades de *catering*, de retalho e das unidades de transformação de alimentos ou provenientes de outras origens que apresentem semelhanças, em sua natureza e composição, aos resíduos das habitações [1].

A matéria orgânica ao se degradar sem controlo causa impactos negativos e a mistura com outros tipos de resíduos de forma indiferenciada, contaminam os biorresíduos e dificultam ou mesmo impossibilitam a sua separação nas linhas de triagem e, acima de tudo, representam a perda de uma fonte importante de nutrientes, os quais poderiam ser direcionados para aumentar a fertilidade dos solos.

Os biorresíduos resultantes da recolha seletiva na sua fonte geradora são a matéria base para a produção de composto orgânico, que é um fertilizante rico em matéria orgânica estável (húmus) e em nutrientes, essenciais para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A gestão sustentável dos RU conta com um processo de recolha diferenciada e um tratamento da fração orgânica dos resíduos segregados na fonte geradora, de forma a mitigar os impactos negativos causados pela deterioração, sem controlo, desta fração orgânica, ou mesmo do passivo ambiental contido nos aterros sanitários. A *compostagem doméstica* pode ser uma técnica economicamente viável e ambientalmente adequada a ser empregada porque é um tratamento biológico que se baseia em processos naturais de decomposição, de forma passiva e sem gastos energéticos, realizado por micro e macro organismos em condições bem definidas de aerobiose.

Os biorresíduos tratados como matéria-prima serão reutilizados como um recurso dentro de uma abordagem de economia circular e, mais do que servir como um elemento no desenvolvimento de um fator de produção de alimentos, será uma forma de garantir uma proposta em que os geradores de resíduos, pré e pós consumo, estejam integrados num sistema ecologicamente responsável, economicamente viável e que garanta segurança e proteção ambiental.

Os biorresíduos deixarão de ser mais um desperdício, saindo do sistema linear arcaico de produção e descarte, tipicamente o *“cradle-to-grave”*, integrando uma transição para um sistema circular de produção, o *“cradle-to-cradle”*, que aposta na valorização dos recursos naturais do planeta, garantindo uma melhor qualidade de vida para as futuras gerações [3].

O objetivo geral do estágio curricular, no âmbito do projeto firmado entre a startup Mudatuga e a ESAC, foi o de avaliar o processo de compostagem doméstica abrangendo biorresíduos gerados na ESAC (cantina, bar/cafeteria e jardim), propondo vias alternativas a partir de pré-tratamento (pré-compostagem por fermentação).

Os objetivos específicos para realizar a avaliação consistem em recolher, triar, classificar, caracterizar e descrever os biorresíduos, bem como encaminhá-los para a compostagem e avaliar e descrever o processo e a técnica de tratamento utilizada e o valor do adubo produzido.

O relatório consta de oito capítulos, sendo que os resultados qualitativos e quantitativos são apresentados e discutidos em três capítulos, prévios ao último capítulo de conclusões.

2. Revisão Bibliográfica

Os resíduos sólidos, habitualmente tratados como lixo, além de trazerem graves impactos ambientais, ainda são um fator de problema social, de saúde pública e também causam grandes prejuízos económicos, não só pelas consequências causadas pela disposição inadequada destes resíduos, mas também pela falta de uma gestão eficiente na recolha, transporte, tratamento e os altos custos inerentes à dinâmica dos serviços de limpeza urbana municipais ou consorciados (planos multimunicipais, intermunicipais e municipais de ação - PAPERSU).

A maioria dos produtos que consumimos transformam-se em resíduos rapidamente, 99% dos produtos que compramos são jogados fora num prazo de seis meses e como não existe “fora”, tudo que utilizamos está dentro do planeta, a abranger as necessidades de consumo dos mais de 8 bilhões de habitante no mundo, a suprir o uso de recursos e a absorver o lixo gerado [4]. Conforme avaliação da *Global Footprint Network*, sobre o dia de sobrecarga da Terra, em 10 de maio de 2019, se todos os habitantes do mundo tivessem um consumo como o dos residentes médios da UE, seriam necessários 2,8 planetas para suprir as crescentes necessidades humanas e produção de resíduos, sendo que todos os anos o dia da sobrecarga é antecipado [5].

O Relatório Anual de Resíduos Urbanos apresenta para o ano de 2020 uma produção de cerca de 5 milhões de toneladas de resíduos em Portugal (valor acima da média Europeia), sendo correspondente a uma produção de 1,4 kg/dia por cada habitante (dados disponibilizados pela APA em 2021, Gráfico 1) [6].

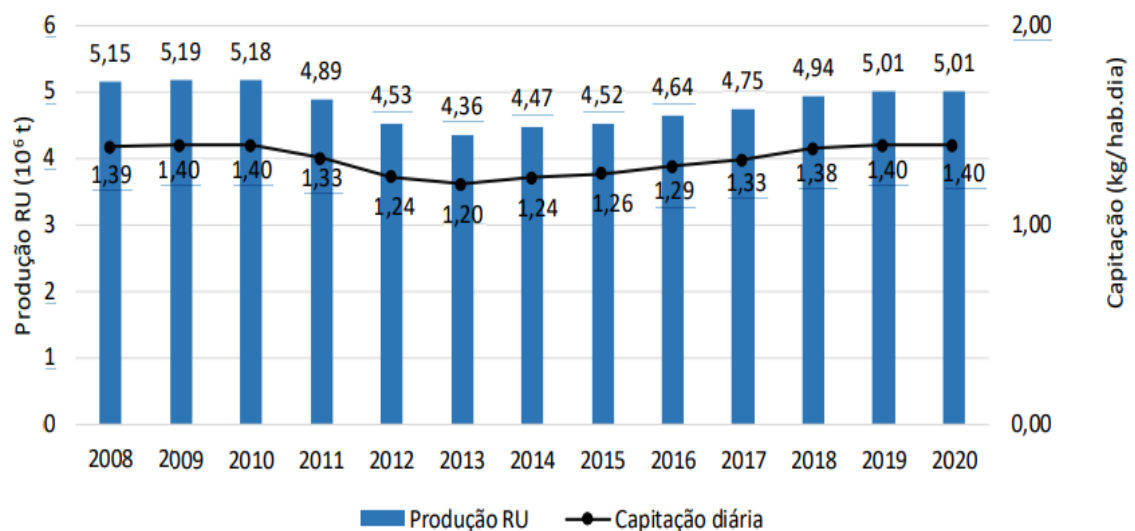


Gráfico 1: Evolução da produção, em toneladas, de resíduos urbanos (RU) e capitação diária (kg/hab.dia) em Portugal Continental, entre 2008 e 2020. Fonte: APA, 2021.

Cerca de 39% destes resíduos são constituídos por biorresíduos e passíveis, de forma regulamentar, de uma recolha diferenciada e de um tratamento com maior valorização, como é o caso da compostagem (Gráfico 2) [6].

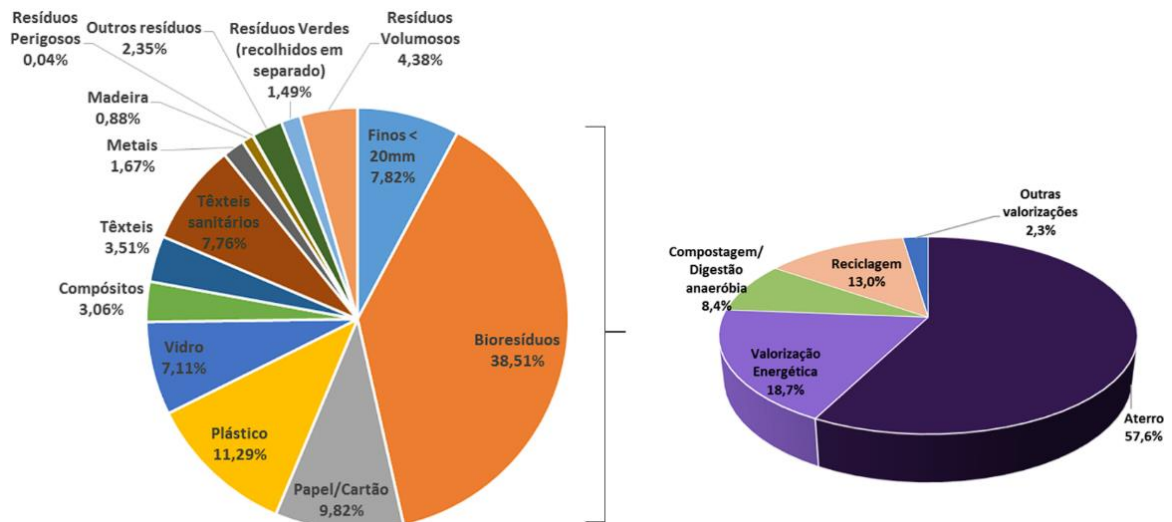


Gráfico 2: Caracterização de resíduos incluindo os resíduos para utilização na compostagem e respetivos tipos de tratamento utilizados - conforme a portaria nº 851/2009 (Aprova as normas técnicas relativas à caracterização de resíduos urbanos). Fonte: Adaptado da EUROSTAT (2020) e Sessão de Apresentação das Orientações Estratégia dos Biorresíduos. Sec Geral do Min. do Ambiente e da Ação Climática.

O regime geral de gestão de resíduos cria políticas de prevenção e valorização material, propõe uma taxa própria de gestão de resíduos e proporciona a criação de sistemas de descarte e recolha de resíduos como o PAYT ou RAYT/SAYT ou mesmo através de sistemas SDDR [1].

O novo decreto-lei também altera o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos e transpõe as Diretivas (UE) 2018/849, 2018/850, 2018/851 e 2018/852, estabelecendo em Portugal, a partir de 2023, a obrigatoriedade da recolha dedicada de biorresíduos, a revisão de suas metas de valorização em 2024 (incluindo a atividade industrial) e o aumento da reciclagem em 55%, do total de resíduos sólidos urbanos, em 2025 [1].

A conquista destas metas vinculativas segue a via de uma regulamentação adequada para a gestão eficiente de resíduos, mas também premeia a integração de todos os envolvidos na geração e no tratamento dos biorresíduos.

No âmbito da diretiva UE 2018/851, uma estratégia para o tratamento eficiente dos biorresíduos deve ser pautada em propostas de valorização e deve prever que os Estados Membros (EM) tomem as medidas necessárias para assegurar que os resíduos sejam objeto de preparação para a reutilização, reciclagem ou outras operações de valorização [7].

Em ordem cronológica, a diretiva colocou também o prazo de 31 de dezembro de 2021 para que os EM apresentassem à Comissão um relatório sobre os RU e

biorresíduos, incluindo o âmbito material e geográfico abrangidos pela recolha seletiva e as derrogações sobre a necessidade da recolha indiferenciada e possível viabilidade da recolha seletiva [7].

O realinhamento do Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU 2020+), elaborado pelo grupo de trabalho [8], ajustou o prazo de recolha seletiva dos biorresíduos para 31 de dezembro de 2023 e estabelece a fixação de metas de preparação para a reutilização de RU e a reciclagem [7].

Define também regras para calcular o cumprimento das metas e afim de assegurar condições uniformes para sua aplicação, sendo que a partir de 1º de janeiro de 2027, os EM só podem contabilizar como reciclados os biorresíduos que entram no tratamento aeróbio ou anaeróbio se tiverem sido objeto de recolha seletiva ou de separação na fonte geradora [1].

A nível comunitário, o auxílio da separação dos RU na fonte geradora e a gestão da recolha diferenciada é o enquadramento legal desta recolha seletiva. A valorização dos biorresíduos no tratamento nas UVBs, faz parte da “Estratégia Temática para a Prevenção e Reciclagem de Resíduos”, presente desde o disposto na Diretiva Quadro Resíduos 2008/98, a qual estabelece a necessidade da criação de programas de prevenção de resíduos, constituindo-se assim como uma prioridade nas políticas ambientais em Portugal [9].

Mesmo a nova alteração da diretiva 2018/851, continua a evidenciar o dever dos EM em descrever medidas de prevenção de resíduos integrados nos planos de gestão de resíduos ou noutros programas de política ambiental (art. 29). Estas estratégias seguem o caminho de políticas públicas voltadas à prevenção de desperdícios alimentares, na produção e no consumo e, de fato, os biorresíduos devem ser encarados como qualquer coisa que não deve ser gerada ou que deve ser minimizada a sua quantidade, seguindo o princípio da prevenção. Desta forma a nova diretiva traz metas mais audaciosas no artigo 9º.

Artigo 9º, 1. g) Reduzir a produção de resíduos alimentares na produção primária, na transformação e no fabrico, na venda a retalho e outra distribuição de alimentos, nos restaurantes e serviços de alimentação, bem como nas habitações, como contributo para o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas de, até 2030, reduzir em 50% os resíduos alimentares globais per capita, a

nível de retalho e do consumidor e reduzir o desperdício alimentar ao longo das cadeias de produção e de abastecimento; [7]

Nota-se que mesmo com as reduções na geração de resíduos alimentares e formas de redistribuição e reutilização de alimentos, perecem rapidamente, ou mesmo, o próprio preparo do alimento gera resíduos, mas não precisam ser destinados de forma indiferenciada para os aterros. A rejeição de tipos de resíduos também deve ser gerida de forma preventiva, a garantir que certos resíduos orgânicos entrem numa nova cadeia de produção.

Quando se emprega a redução na produção de resíduos que não se enquadram na reutilização ou reciclagem, admite-se que os resíduos alimentares devem ser valorizados antes mesmo que entrem em contato com outros tipos de resíduos [7].

Medidas de prevenção de resíduos no âmbito da valorização e diferenciação dos resíduos alimentares são abordadas no regime geral de resíduos, sendo que a ANR estabelece prazo para níveis de qualidade para a entrega de biorresíduos nas instalações (UVBs). Estabelece especificações técnicas para o correto tratamento, para a instalação de equipamentos de compostagem doméstica e comunitária e outras soluções locais de reciclagem, uma atividade que não se encontra sujeita a licenciamento e ainda que:

“os requisitos de informação necessários para calcular a contribuição da compostagem doméstica e comunitária e das outras soluções locais de reciclagem para os objetivos de preparação para a reutilização e reciclagem segundo a metodologia comunitária são estabelecidos pela ANR.” [1]

Além dos resíduos alimentares (também chamados de resíduos verdes), os resíduos castanhos (relvas e folhas secas), gerados nas áreas urbanas, em podas e aparas de jardins, são uma importante matéria carbonada valorizada na compostagem e faz parte da limpeza das cidades, principalmente em épocas que este resíduo oferece risco à população. A gestão de combustíveis promovida pelos concelhos, com redução de material vegetal e lenhoso, evita a ignição e dificulta a propagação do fogo nas épocas mais quentes e secas [10].

A participação de toda a cadeia de geração dos resíduos, recolha e tratamento está aliada com a estratégia de prevenção e valorização de resíduos proposta e deve estar dentro dos planeamentos regionais e municipais previstos em PPRU, bem como no investimento necessário ao cumprimento das metas de desvio dos biorresíduos dos

aterros sanitários para tratamentos mais viáveis economicamente, ambientalmente adequado e com maior valor agregado.

Na indústria de transformação de alimentos, similares e agrícolas, os biorresíduos gerados podem entrar num novo processo produtivo como um fator de produção, definido através de mecanismos de desclassificação de resíduos, institucionalizado pelo “fim do estatuto do resíduo” [1], atrelado ao SIR e que promove um regime de prevenção, produção e gestão de resíduos [11].

Não é de hoje que a compostagem em pequena escala, mas a recolha diferenciada e uma maior valorização no tratamento dos resíduos orgânicos são previstos, a segunda versão do plano, o PERSU II (2007, item 4.21) já apresentava soluções de maior valorização, com a preocupação em desviar resíduos do aterro sanitário nas diretrizes da “Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros” (ENRRUBDA):

“i. Redução na Fonte — intervenção ao nível dos processos de fabrico e compostagem em pequena escala; ii. Recolha Selectiva de matéria orgânica e de papel/cartão — “porta-a-porta”, em ecopontos/ecocentros, com pré-tratamento mecânico; iii. Valorização Orgânica — por processos aeróbios, processos anaeróbios e com pré-tratamento mecânico.” [12]

Outro documento regulatório que estabeleceu regras para a reciclagem de biorresíduos foi o PERSU 2020, parte de um programa oficial português, institucionalizado a partir da antiga Diretiva n.º 2008/98/CE e do Decreto-lei n.º 178/2006, definindo um planeamento da gestão de resíduos e as metas de redução no âmbito de uma gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, o qual foi revisado pelo PERSU 2020+ e que também se encontra em processo de revisão.

O atual planeamento estratégico (PERSU 2020+), aprovado pela Portaria n.º 241-B/2019 visa alcançar metas ainda mais exigentes com 65% de reciclagem para os RU e uma disposição máxima em aterro de 10% em 2035, determinado na atual Diretiva Aterros. Define também que até 2023 todos os resíduos orgânicos biodegradáveis deverão ser sujeitos a recolha diferenciada, assim como ocorre com os recicláveis não orgânicos [13].

Os biorresíduos recolhidos de forma indiferenciada, juntamente com outros resíduos descartados indiscriminadamente pelos usuários do serviço de limpeza pública,

indústrias agroalimentares e afins, não agregam uma valorização adequada, dificultam e encarecem a segregação e tratamento posterior, gerando um passivo ambiental com ônus econômicos e para a saúde em geral.

Após a mistura dos diferentes tipos de resíduos, o tratamento mais utilizado, entre 2014 e 2020, foi a disposição em aterros (Gráfico 3), encarecendo ou inviabilizando a posterior valorização do biorresíduo [6].

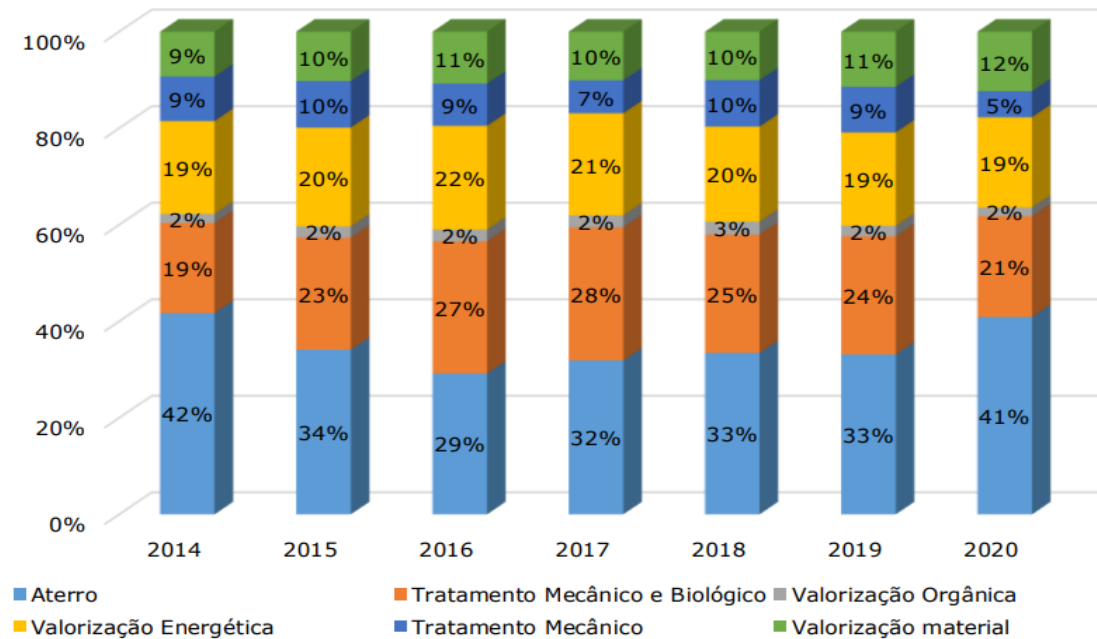


Gráfico 3: Tipos de tratamento dos resíduos urbanos de 2014 a 2020. Fonte: APA, 2021.

Os demais tipos de tratamento de resíduos que apresentam uma maior valorização, além de inexpressivos, não tendem a apresentar uma melhoria. Do total de resíduos recolhidos, a valorização orgânica representou praticamente 2% no período de 2014 a 2020 e o tratamento mecânico biológico, em média, representou 24% [6].

Com um crescimento de 1% ao ano (2018 a 2020 – Gráfico 4) de uma recolha diferenciada do resíduo urbano (seletiva e outras recolhas) e a valorização de apenas 23% desta parcela de resíduos orgânicos segregados (tratamento mecânico e biológico e valorização orgânica – Gráfico 3), dificilmente as metas de desvio dos biorresíduos, estipuladas pelo PERSU 2020+, serão alcançadas.

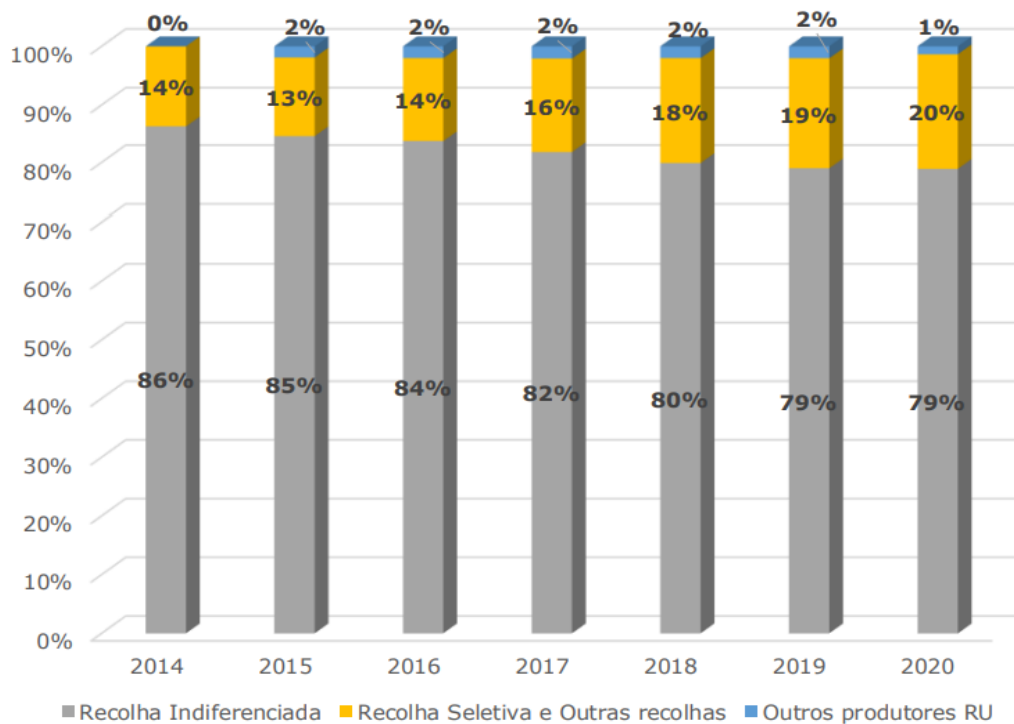


Gráfico 4: Evolução da recolha de resíduos urbanos entre 2014 e 2020. Fonte: APA, 2021.

Faria [14] destaca que medidas para uma nova política de preservação ambiental, são importantes para consagrar o princípio do desenvolvimento sustentável no país. Entretanto, a solução para a problemática dos resíduos sólidos na UE passa pela implementação de políticas públicas eficientes e colaborativas, investimentos em campanhas de educação ambiental e o amparo de instrumentos de legislação coerentes alinhados com as metas vinculativas atualizadas do PERSU.

3. Procedimentos para a recolha dos biorresíduos

A Escola Superior Agrária de Coimbra - ESAC é uma das escolas que integram o Instituto Politécnico de Coimbra desde 1995, ministrando Cursos Técnicos Superiores Profissionais, Licenciaturas, Pós-graduações e Mestrados.

A escola funciona em período integral, e por isso conta com a cantina ESAC/ISCAC para o fornecimento de alimentação para os estudantes e funcionários. É parte integrante da UAN, gerida pelos SASIPC (Figura 1), que oferece almoço e jantar. Também possui um bar/cafeteria privado para atender lanches rápidos, café e refeições para os estudantes, docentes e funcionários, cujo horário de funcionamento acompanha, em regra, o período das atividades escolares.

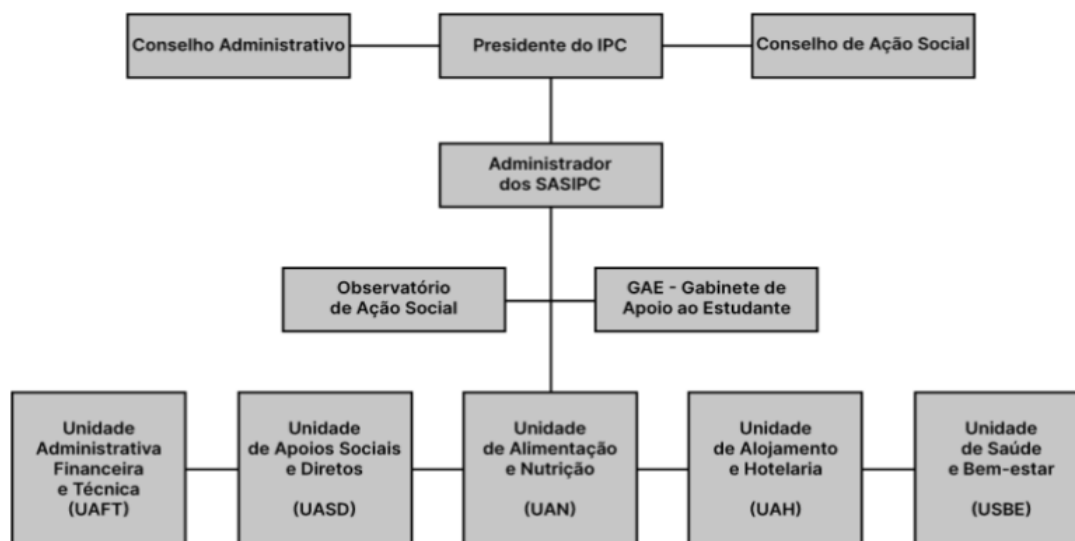


Figura 1: Organograma do IPC com destaque para a Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) e Serviços da Ação Social do Politécnico de Coimbra (SASIPC).

Os SASIPC dispõem de 5 cantinas (quatro em Coimbra e uma em Oliveira do Hospital), com um total superior a 900 lugares sentados, para fornecer ao seu público refeições qualitativamente equilibradas e a preços acessíveis.

As refeições seguem uma ementa pré-estabelecida (Figura 2) e são compostas essencialmente por sopa, prato de peixe, carne e vegetariano restrito, acompanhamento de batata, cereais e/ou leguminosas, legumes cozidos ou crus e ainda, sobremesa [15]. Relativamente à distribuição percentual das necessidades energéticas diárias por refeição, considerou-se 30% do valor calórico total ingerido (660 kcal), quer para a refeição do almoço, quer para a refeição do jantar [16].

No que diz respeito à determinação do valor energético e respetiva quantidade de macronutrientes, para a refeição do almoço e jantar, seguiu-se as recomendações da OMS acerca da distribuição percentual dos macronutrientes, aplicada a um dia alimentar [17].

As necessidades nutricionais estabelecidas correspondem ao valor energético considerado pelo guia alimentar para a população portuguesa através da roda dos alimentos (Figura 3), um guia que ajuda a escolher e a combinar os alimentos que devem fazer parte da alimentação diária e que agrupam alimentos com características semelhantes quanto à sua composição nutricional. Este valor teve por base as necessidades diárias de 2200 kcal e estão divididos em 7 grupos de alimentos [18].

EMENTA – Almoço		
30 de maio a 3 de junho de 2022		
DIA	PRATO	
2ª FEIRA	Sopa	Couve-flor.
	Peixe	Salada de feijão-frade e atum ensalsada. Acompanha com salada mista.*
	Carne	Caril de peito de frango. Acompanha com massa espaguete e salada mista.*
	Vegetariano	Bolonhesa de soja. Acompanha com massa espaguete e salada mista.*
	Sobremesa	1 peça de fruta ou doce
3ª FEIRA	Sopa	Grão de bico e espinafres.
	Peixe	Maruca estufada. Acompanha com arroz de pimento e salada mista.*
	Carne	Alheira assada e ovo. Acompanha com arroz branco e salada mista.*
	Vegetariano	Chilli de feijão frade (pimento, curgete e milho). Acompanha com arroz branco e salada mista.*
	Sobremesa	1 peça de fruta ou doce.
4ª FEIRA	Sopa	Creme de abóbora.
	Peixe	Carapau frito. Acompanha com arroz de tomate e salada mista.*
	Carne	Rancho de carne de porco com enchidos. Acompanha com salada mista.*
	Vegetariano	Salada de cuscuz, feijão-vermelho e pimento. Acompanha com salada mista.*
	Sobremesa	1 peça de fruta ou doce.
5ª FEIRA	Sopa	Alface
	Peixe	Pescada à Gomes de Sá (batata e ovo). Acompanha com couve salteada.
	Carne	Carne de vaca guisada com cenoura. Acompanha com massa espaguete e couve salteada.
	Vegetariano	Grãos a Gomes de Sá (batata). Acompanha com couve salteada.
	Sobremesa	1 peça de fruta ou doce
6ª FEIRA	Sopa	Creme de cenoura.
	Peixe	Dourada grelhada. Acompanha com batata cozida e brócolos cozido.
	Carne	Arroz de frango com enchidos. Acompanha com brócolos cozido.
	Vegetariano	Lasanha de legumes e ervilha (curgete, cenoura e alho francês). Acompanha com brócolos cozido.
	Sobremesa	1 peça de fruta ou doce.

Nota: AS ementas poderão sofrer alterações em qualquer momento, por motivo de alteração no fornecimento de produtos e/ou por não estarem sujeitas a marcação prévia.
* Salada com 3 elementos dos seguintes alface/ tomate/ couve de roxa/ beterraba/ pepino/ cenoura/ cebola/ milho/ mizuna
O menu social é composto por sopa, pão, prato principal, (carne ou peixe ou vegetariano) e uma sobremesa.

Modelo 701
SISTEMA INTERNO DE GARANTIA DA QUALIDADE

Figura 2: Ementa semanal de almoço da cantina ESAC.

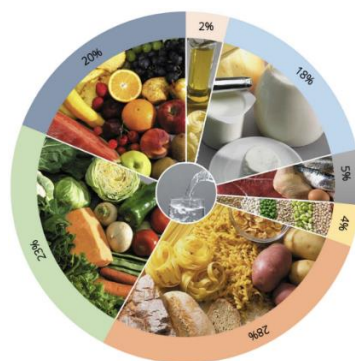


Figura 3: Comparação da distribuição percentual do consumo alimentar recomendado pela Roda dos Alimentos com as disponibilidades diárias per capita, segundo a Balança Alimentar Portuguesa (2016-2020). Fonte: PNPAS, 2020.

3.1 Origem e recolha dos biorresíduos

Os biorresíduos utilizados neste estudo foram selecionados conforme os resíduos habitualmente gerados nas moradias das cidades em geral e teve como origem as sobras do preparo do almoço da cantina da ESAC e os resíduos gerados após o seu consumo, realizado durante a semana de 30 de maio a 3 de junho de 2022 e com características relacionadas à preparação e consumo das refeições da ementa, além da adição de borra de café gerada no bar e cafeteria privada da Escola Agrária e de folhas de carvalho e relva secas, adquiridas junto ao jardim.

A borra de café foi adquirida com a segregação individualizada do resíduo do estabelecimento (bar e cafeteria), recolhido conforme gerado na semana e armazenada em recipiente próprio. Os resíduos do jardim, reunidos na própria área de jardinagem pela equipa de limpeza da ESAC, antes de serem encaminhados para o seu destino no aterro sanitário, foram desviados e serviram como a parcela de resíduos castanhos da compostagem [19].

Esta biomassa seca foi recolhida diretamente no jardim, retiradas as impurezas encontradas e armazenada para serem direcionados aos demais biorresíduos no momento da homogeneização e encaminhamento para a fermentação e o tratamento nos compostores domésticos, conforme a prática difundida.

A origem dos biorresíduos abrangem os locais referidos e estão evidenciados no mapa da Figura 4, em áreas próximas ao laboratório de solos do bloco B para facilitar a recolha e o tratamento na fonte geradora do resíduo.



Figura 4: Mapa do local de origem dos biorresíduos utilizados no estudo.

O contato com a cantina foi através da Unidade de Alimentação e Nutrição - UAN em março de 2022, através da Coordenadora da UAN SAS IPC, a qual encaminhou o pedido para as responsáveis pelo preparo das refeições da cantina ESAC. Foi realizado um levantamento das informações relevantes sobre a dinâmica da preparação dos alimentos, nutrição, campanha de desperdício de alimentos e a gestão de resíduos da cozinha, especificamente a forma de segregação, armazenamento e descarte.

O armazenamento temporário dos resíduos é realizado pela recolha e disposição diária em contentores internos e descarte em contentores externos, segregados conforme a recolha urbana, entre recicláveis e indiferenciados. A forma de acondicionamento dos resíduos, segregação dos orgânicos com os recicláveis e nível de

conhecimento geral da gestão de resíduos é de conhecimento de toda a equipa da cantina e dos bolsistas da BAAS.

Os resíduos são segregados e geridos na cantina por meio das orientações dos responsáveis da cantina (Figuras 5 a 7), sendo realizadas pelas cozinheiras e auxiliares e pelos estagiários da BAAS, tanto na preparação das refeições quanto na limpeza da cozinha.



Figura 5: Registo em 30/05/2022 - disposição dos contentores segregados de resíduos sólidos da cozinha da cantina ESAC.



Figura 6: Registo em 30/05/2022 - contentor de resíduos orgânicos da cozinha da cantina ESAC.



Figura 7: Registo em 30/05/2022 - contentor de resíduos recicláveis (um de papel à esquerda e dois de plástico e metal à direita) da cozinha da cantina ESAC.

As recolhas dos resíduos foram pré-agendadas junto à responsável indicada pela UAN, realizadas em dois períodos: pela manhã, com a recolha dos resíduos gerados na preparação do almoço (constituído principalmente por cascas e sobras de vegetais, legumes e frutas – Figura 8) e no período pós-almoço (Figura 9), por volta das 15h, com a recolha dos biorresíduos dos contentores segregados gerados na limpeza, das sobras das refeições dos estudantes e eventuais sobras de preparação final da refeição.



Figura 8: Biorresíduos de preparação do almoço.



Figura 9: Biorresíduos gerados pós consumo do almoço.

3.2 Metodologia aplicada

O tipo de resíduo a ser valorizado deve ser identificado e classificado previamente conforme a Lista Europeia de Resíduos (LER) do Guia de Classificação de Resíduos [20]. Antes mesmo de serem encaminhados para qualquer tipo de tratamento, são segregados na fonte geradora e a sua composição é determinada através de uma avaliação realizada por meio de um plano de amostragem.

Uma amostragem parte de um modelo de método científico a seguir dentro de um conjunto de normas básicas para que as amostras utilizadas nos ensaios confirmem rigor científico ao estudo de caso único e comunitário, ao método descritivo [21] e que confirmem representatividade qualitativa e quantitativa das características dos resíduos gerados dentro de um processo de consumo e descarte de materiais biodegradáveis.

O Programa de Assessoria (*Advisory Assistance Programme - AAP*) da Agência Ambiental da Alemanha, no âmbito da UE apresenta as normas padrão para o desenvolvimento de uma amostragem fidedigna de resíduos, dentre elas a EN 14899 “Caracterização de resíduos - Amostragem de materiais residuais - Quadro para a preparação e aplicação de um Plano de Amostragem” e a CEN/TR 15310-5 “Orientação sobre o processo de definição do plano de amostragem”, as quais atendem aos tipos de resíduos utilizados neste estudo e orientam uma metodologia para a caracterização dos resíduos sólidos urbanos [22].

A norma europeia de caracterização e amostragem de resíduos, aponta para a inerente heterogeneidade dos resíduos e, portanto, a necessidade de especificar no programa de testes a quantidade de material para o qual as características de interesse precisam ser definidas, o número necessário de amostras, o tamanho dessas amostras e se devem ser amostras pontuais ou compostas. Ainda relata que o teste de resíduos

permite tomar decisões informadas sobre como os resíduos devem ser tratados, recuperados ou descartados e para realizar testes válidos, é necessária alguma amostragem dos resíduos caracterizados [23].

No âmbito do regime geral da gestão de resíduos [1], no seu Anexo II, parte A, o qual trata dos “processos de determinação da admissibilidade e critérios de admissão de resíduos em aterro” refere como nível 1 a forma de caracterização básica dos resíduos sólidos urbanos, a ser realizada antes da sua recolha, numa primeira entrega ou série de entregas de um mesmo tipo de resíduo gerado num mesmo processo produtivo.

A caracterização básica, tem como uma de suas finalidades “reunir a informação necessária para se conhecer as características do resíduo” e pontua as características a serem levantadas “quanto à origem, composição físico-química, perigosidade, lixiviabilidade e outras informações relevantes para o efeito” e que estes dados ainda devem estar atualizados com os parâmetros constantes da Tabela n.º 5 da Parte B do Anexo II do decreto, a qual apresenta os valores limite de COT, BTEX, PCB, óleo mineral e HAP para aterros de resíduos não perigosos [1].

O item 1.2 do Anexo II, a que se referem os artigos 13.º e 14.º do regime geral de resíduos [1], estabelece a obrigatoriedade da comprovação documental dos dados sobre os resíduos gerados, condicionado à licença ambiental da atividade, e deve conter as seguintes informações:

- “a) Fonte e origem do resíduo;*
- b) Descrição do processo que deu origem ao resíduo e identificação e caracterização das matérias-primas e produtos envolvidos no processo produtivo;*
- c) Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física);*
(...)
- f) Código do resíduo, de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER)” [1]*

O certificado de aceitação é emitido pela entidade licenciadora após a comprovação do nível 1 e tem a duração de um ano, podendo ser requerido o nível 2 através da verificação de conformidade.

A obtenção do certificado de aceitação não é relevante neste estudo, entretanto, o plano de amostragem aplicado levantou os dados referidos nas alíneas “a, b, c” e “f”, os quais abordam as características mais relevantes dos resíduos biodegradáveis para o estudo e pertinentes ao processo de compostagem [1].

As fichas utilizadas para qualificar e quantificar as amostras de biorresíduos da cantina, bar e cafeteria e jardim seguem os critérios que são apresentados no Anexo (Quadros 1 a 6). As fichas foram realizadas diariamente e por tipo de resíduo identificado pelo código LER, compostas por características qualitativas relevantes, número de refeições realizadas, processo produtivo, fonte e origem de geração do resíduo, peso e volume.

Os biorresíduos amostrados, recolhidos e armazenados em baldes, foram direcionados para o processo de compostagem em compostores, conforme o regulamento que estabelece as regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes na UE. As orientações seguem a partir da “decomposição controlada de materiais biodegradáveis, num ambiente predominantemente aeróbio, onde as temperaturas adequadas ao desenvolvimento de bactérias termófilas são atingidas, devido à produção de calor de origem biológica” [24]. Ainda prioriza o revolvimento do material e a aeração forçada “de modo a assegurar a correta higienização e homogeneidade do material” e estar sujeito a temperaturas maiores ou iguais a 70 °C em pelo menos três dias, 65 °C em cinco dias, ou 55 °C em não menos que 14 dias.

3.3 Materiais e métodos de preparação dos biorresíduos

O fluxo específico dos resíduos sólidos, cuja proveniência é transversal a 3 origens distintas, são segregados na fonte geradora, em contentores diferenciados entre os resíduos alimentares da restauração (cantina), os de borra de café (bar e cafeteria) e os de biomassa seca de jardim (resíduos castanhos), disponibilizados nas áreas ajardinadas.

Os biorresíduos castanhos (relvas e folhas secas de jardim), foram recolhidos previamente e estocados, na quantidade necessária para garantir um volume suficiente na mistura proposta na compostagem doméstica aeróbia.

Os procedimentos realizados seguiram adaptações dos habitualmente utilizados em manuais de práticas domésticas de compostagem, indicando proporções iguais [25] entre resíduos verdes (resíduos alimentares) e castanhos, ou na proporção de 2 volumes

de castanhos para 1 de verde [26], importando estar sempre coberto com resíduos castanhos.

Posteriormente, as recolhas de borra de café e dos resíduos da restauração, com periodicidade diária, abrangeram uma relação da quantidade de resíduos alimentares gerados por número de refeições, numa semana regular de almoço na cantina. A borra de café foi relacionada com a quantidade gerada na produção de um café curto (volume médio de 17 ml) por cliente, proporcional ao número de refeições. O ensaio foi realizado durante o período de 1 semana de funcionamento da cantina apenas no horário do almoço, de 2ª feira à 6ª feira.

Os biorresíduos, além de identificados e caracterizados, foram pesados e verificado seu volume pelo espaço ocupado no recipiente utilizado, por meio da medida de sua altura contida no balde, pelo método geométrico da cubicagem.

Os resíduos alimentares passaram então por processo de redução de suas partículas, mistura e homogeneização com os demais tipos de resíduos selecionados. O procedimento de quarteamento e seleção é responsável pela obtenção de volumes menores representativos do total gerado no dia, conforme indicações do laboratório de solos e fertilidade - ESAC [27]. Desta forma é mais adequado de se obter uma amostra homogênea e com características representativas de sua composição para a disposição diária em cada compostor.

Os materiais utilizados para a realização do plano de amostragem dos biorresíduos da cantina são compostos por ferramentas e materiais de apoio para auxiliar o manuseio, sendo composto por: pá, cavadeira, faca, contentor de 100 litros com rodas, balde para cálculo do volume (cubicagem), 2 baldes de apoio de 20 litros, fita métrica, balança digital de mão, lona, luvas e bota de borracha, rodo de limpeza, mangueira de jardim com pistola de jato, sacos de lixo de 100 litros e caderno para anotações (Figura 10).



Figura 10: Materiais utilizados e local do procedimento de homogeneização e seleção dos resíduos.



Figura 11: Redução dos resíduos alimentares da preparação do almoço.

Num primeiro momento as folhas, cascas, partes descartadas de legumes, tubérculos e similares, presentes nos resíduos da preparação do almoço, recolhidos pela manhã, foram cortados em tamanho aproximado de 5 cm (Figura 11) e colocados no balde para cálculo do volume e posterior pesagem (Figura 12 e 13). Após a anotação dos dados foram tapados e armazenados para aguardar a recolha dos resíduos gerados após o almoço.

Os resíduos pós almoço foram recolhidos diretamente do contentor de orgânicos, contendo os restos dos pratos dos consumidores, das panelas e demais sobras da preparação do almoço, juntamente com o restante da sobremesa (doces ou frutas), pão e os guardanapos utilizados pelos usuários. Em seguida foram transferidos para o balde de cálculo de volume e realização da pesagem.



Figura 12: Diferença entre os resíduos alimentares da preparação e pós almoço.



Figura 13: Medição da altura dos resíduos pré (à esquerda) e pós (à direita) almoço para cálculo do volume.



O volume foi calculado pela medida da altura dos resíduos depositados no balde, por meio de uma fita métrica, do fundo até a marca alcançada pelo resíduo, o qual era disposto no balde sem qualquer ação de compressão, através da própria acomodação do resíduo, e em seguida, realizada a medição.

As relações do volume e peso, após serem feitas as conversões, se encontram no Anexo (Tabela 1). Indicam também o número de refeições realizadas na cantina, a quantidade de material de cobertura (resíduos castanhos e solo) e biorresíduos utilizados, a quantidade direcionada para os compostores e a quantidade de material de saída dos compostores por tratamento.

Os baldes foram previamente indicados para esta função e medidos para a obtenção de um volume médio. Estes baldes foram utilizados para a medida do volume dos resíduos pré e pós almoço, da matéria seca, café e para a transferência dos resíduos misturados para os compostores.

Os baldes apresentam uma pequena redução da área da base com a área superior da tampa, contudo o cálculo final do volume foi baseado na média entre a menor medida (da base) e a maior medida (da tampa), formando um cilindro regular reto, para facilitar o procedimento de levantamento do volume gerado. Foi então realizado a conversão da medida da altura de preenchimento dos biorresíduos no balde para o volume através da fórmula: $\text{volume} = \pi \times \text{raio}^2 \times \text{altura}$.

Na preparação das amostras, os resíduos alimentares foram dispostos numa lona para não haver contato direto com o solo, evitar contaminações e auxiliar no processo de mistura e homogeneização, retirada de contaminantes (eventuais resíduos não orgânicos) e redução das partículas de resíduos que porventura ainda estejam maiores do que 5 cm.

Foi utilizada a cavadeira para auxiliar na redução das partículas e uma pá para realizar a homogeneização dos tipos de resíduos (Figura 14). Escolheu-se um local com algum declive para auxiliar na drenagem do excesso de líquidos dos resíduos (Figura 15), também se procurou estar próximo de uma canaleta de drenagem e um ponto de água para auxiliar na posterior limpeza do local.



Figura 14: Uso da cavadeira na redução da partícula dos resíduos.



Figura 15: Excesso de líquidos dos resíduos.

A partir do número de refeições do dia foi quantificada a borra de café, estimando-se o consumo de um café por refeição e considerando que cada café curto consumido gera 18,75 g de borra. Foi calculado o volume de borra de café pelo peso da borra extraída por cada café no bar e cafeteria.

Os biorresíduos diários da cantina (preparação e pós almoço) foram dispostos junto com a quantidade de borra de café (Figura 16), feito o espalhamento, redução das partículas (Figura 17), retirada de resíduos contaminantes e homogeneização dos biorresíduos.



Figura 16: Proporções de resíduos pós almoço (nas extremidades), resíduos da preparação (no centro, acima) e borra de café (abaixo).



Figura 17: Após passar pelo processo de redução de partículas com a cavadeira no procedimento do dia 01/06.

Durante a fase de disposição dos resíduos na lona, posterior espalhamento e mistura, foram recolhidos e descartados outros tipos de resíduos, os que não são biodegradáveis (como os plásticos e metais) ou resíduos como ossos de grande tamanho, sementes, excesso de guardanapo e todos aqueles que eram identificados como prejudiciais ao manejo do processo doméstico de compostagem (Figura 18) e que prejudiquem a aeração do composto ou a drenagem do lixiviado.



Figura 18: Resíduos não biodegradáveis e excesso de guardanapo encontrados junto aos biorresíduos.

Foi verificado um excesso de líquidos, frutas e alimentos ácidos, molhos e caldos, além de óleo do preparo dos alimentos, sendo visualmente perceptível durante o manejo dos resíduos. Nesta fase não foi possível eliminar todos os elementos prejudiciais ao processo de compostagem, como excesso de sal ou outros

contaminantes provenientes do preparo da refeição ou da gestão dos resíduos na cantina.

Após a mistura e homogeneização com o auxílio da pá foi realizado o processo de quarteamento adaptado da norma de recolha de amostras de resíduos orgânicos do Laboratório de Solos e Fertilidade (IPC/ESAC - Departamento de Ambiente), o qual consiste num processo de homogeneização e de divisão da mistura de resíduos em quatro partes iguais, selecionando aleatoriamente duas partes opostas para formar uma nova amostra e descartando as outras partes (Figuras 19 e 20) [27]. Também de acordo com o proposto pela “*Waste classification, sampling and analysis*” da Agência Federal do Meio Ambiente (*Umweltbundesamt, UBA*) e norma brasileira ABNT NBR 10007:2004.



Figura 19: Mistura com a pá e início do quarteamento para seleção do volume a ser transferido para os compostores.



Figura 20: Seleção de 2/4 dos biorresíduos no processo de quarteamento.

A nova amostra formada pelas duas partes selecionadas foi misturada novamente e o processo de quarteamento, repetido até chegar ao volume de 19,2 litros de resíduos a serem destinados para os três compostores aeróbios do grupo de controlo e para os outros três compostores anaeróbios da fermentação prévia.

Este procedimento foi realizado diariamente, durante a semana de funcionamento da cantina. Os cinco dias foram suficientes para a obtenção da quantidade necessária de biorresíduos para completar o volume total dos compostores.

4. Materiais e métodos do processo de compostagem e amostragem

A proposta deste estudo foi o de avaliar o tratamento de biorresíduos por meio da **compostagem termofílica em compostores domésticos** e avaliar a utilização de um

pré-tratamento a partir da fermentação, num tipo de compostor disponibilizado no mercado pela *startup* Mudatuga, de marca eslovaca Skaza *Bokashi* *ORGANKO*, o qual utiliza um fermento biológico chamado “farelo de *Bokashi*”, de acordo com o delineamento experimental da Figura 21.

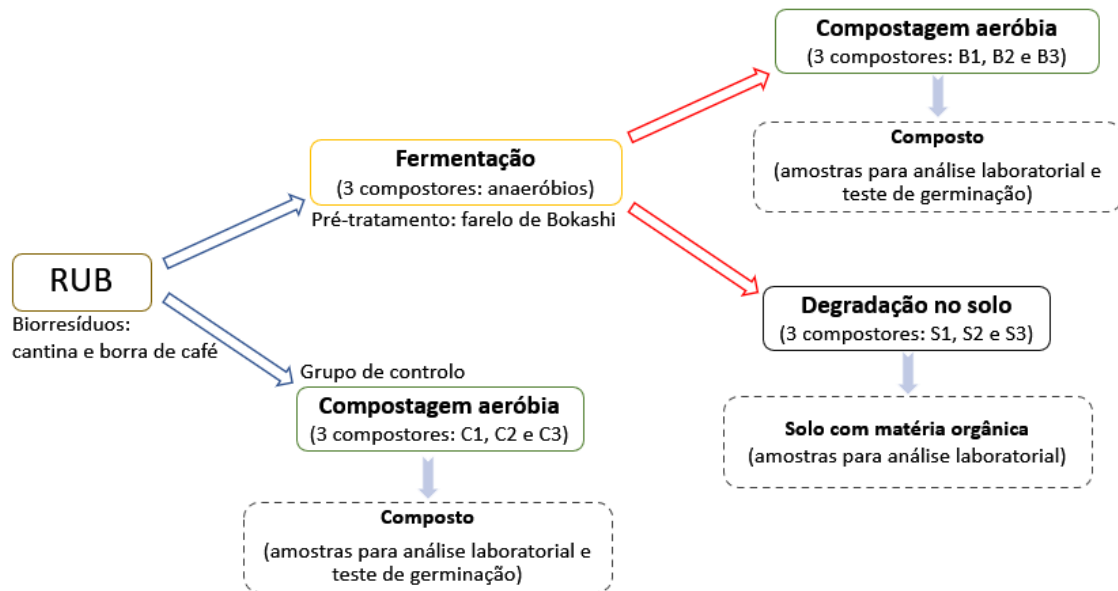


Figura 21: Delineamento experimental dos ensaios com compostagem aeróbica termofílica (C), pré-fermentação com bokashi (pré-tratamento), compostagem aeróbica termofílica com pré-fermentado bokashi (B) e solo com pré-fermentado bokashi (S).

Cada compostor recebeu o volume diário de 3,2 litros de resíduos alimentares, até ficarem completos com um total de 16 L, dispostos em três **compostores aeróbios do grupo de controlo** (designados por C), juntamente com os resíduos castanhos de jardim (matéria seca carbonada), e em outros três **compostores do tipo bokashi** (pré-tratamento), sem os resíduos castanhos, para o processo de fermentação. Após a obtenção do fermentado, o volume total dos três compostores *bokashi* foi dividido em três compostores aeróbios (designados por B) para completar o tratamento, adicionando os resíduos castanhos, e em outros **três recipientes com solo** (designados por S), cobrindo o fermentado com o solo, para simular o efeito dos resíduos fermentados com o *bokashi* quando são aplicados diretamente ao solo, sem passar pela compostagem termofílica aeróbia.

Todos os procedimentos com o farelo *bokashi* respeitaram as orientações do manual de usuário do fabricante do compostor *ORGANKO*.

Tanto os compostores aeróbios, quanto os anaeróbios foram alimentados diariamente com esta mistura homogênea de resíduos de cerca de 5 cm de altura, na

mesma quantidade, até completar o volume total do compostor. Foram encerrados na sexta-feira, ao final do quinto dia de recolha e disposição dos resíduos nestes compostores.

As amostras dos resíduos castanhos de jardim, dos biorresíduos da cantina e da mistura dos resíduos, foram recolhidas e secas em estufa a 60 °C por 72 horas, crivadas e armazenadas para a determinação da matéria orgânica e relação C/N (Tabela 2).

Tabela 2: Resultado das amostras iniciais de biorresíduos para humidade, N Kjeldahl, CO e C/N.

Amostras	Humidade	N Kjeldahl	CO (590 °C)	C/N
Resíduos verdes (cantina e borra de café)	75,51	4,54	48,53	10,68
Mistura (verdes e castanhos)	69,67	3,60	49,04	13,64
Resíduos castanhos	14,33	1,88	47,20	25,11

Os compostores aeróbios e anaeróbios receberam a mesma mistura de biorresíduos da cantina com adição da borra de café. No entanto, nos compostores aeróbios foi adicionada a matéria carbonada do jardim, na relação C/N determinada de 3 volumes de resíduos castanhos para 1 volume de resíduos alimentares (verdes), enquanto a compostagem anaeróbia não recebeu a matéria carbonada, mas sim o volume de 60 ml de farelo de *bokashi* por camada de resíduos alimentares disposta num volume total de 300 ml por compostor.

As amostras finais foram feitas a partir do composto aparentemente estabilizado, recolhidas no encerramento do período de compostagem definido e os resultados laboratoriais serão discutidos no capítulo 7.

O procedimento de recolha, crivagem e armazenamento destas amostras passaram pelos mesmos procedimentos das amostras prévias: biorresíduos do jardim, da cantina com a borra de café e a mistura de ambas. Entretanto, as amostras foram secas a 30 °C e a 60 °C de modo a poder-se avaliar o efeito da degradação e volatilização da amônia em diferentes temperaturas de secagem.

O amoníaco foi evidenciado nos compostores do grupo de controlo (C1, C2 e C3) e dos compostores aeróbios que passaram pela fermentação (B1, B2 e B3) e sua presença foi identificada pelo forte odor característico, durante a monitorização da compostagem.

Foram realizados os procedimentos conforme o plano de amostragem apresentado, e de acordo com as orientações técnicas sobre a classificação de resíduos

da Comissão Europeia (CE) 2018 [28], a qual refere a aplicação do programa de ensaios adaptado da norma EN 14899:2005 (Figura 22).

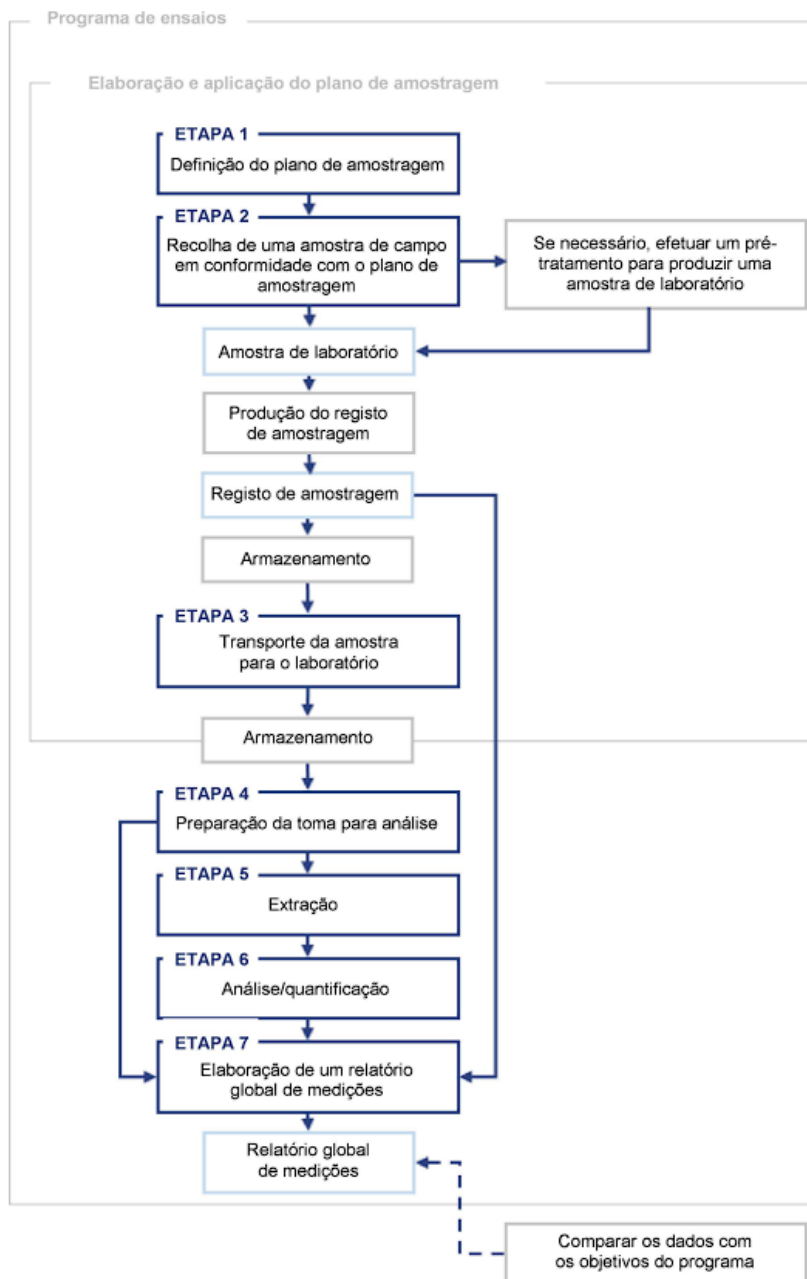


Figura 22: Programa de ensaios adaptado da norma EN 14899:2005 (CE, 2018).

4.1 Compostor doméstico artesanal

Existem vários modelos de compostores no mercado, assim como os fornecidos pelas entidades gestoras de resíduos ou mesmo pelas câmaras municipais, além de outros compostores domésticos fabricados de forma artesanal com a finalidade de

promover a transformação arejada dos resíduos orgânicos, embora com arquitetura e *design* diferentes. Geralmente são formados por recipientes plásticos onde são depositados os biorresíduos pela parte superior e fechados com tampa, ocasionalmente chamados de reatores, os quais proporcionam a decomposição controlada da matéria orgânica para obtenção de matérias fertilizantes para utilização nos solos.

Os compostores utilizados foram baseados nos tipos convencionais de compostores aeróbios domésticos que precisam cumprir com princípios básicos: garantir o arejamento dos biorresíduos a serem degradados, a drenagem do lixiviado formado durante o processo de decomposição da matéria orgânica e a contenção dos biorresíduos para que o compostor possa ser manejado pelo usuário, dentro de sua morada, sem maiores problemas.

A forma de operar estes compostores também seguem uma lógica comum a todos, depositando resíduos diariamente, intercalando camadas de 5 a 10 cm dos chamados resíduos verdes (ricos em azoto e húmidos) e os castanhos (ricos em carbono e secos).

De acordo com o guia de compostagem da Valorsul, 2022 (“Compostar – Outra forma de reciclar”), disponibilizado no seu *site*, é indicado ter a maior diversidade de resíduos possível indicados, utilizando como resíduos castanhos: as folhas secas, resto de relva cortada seca, palha ou feno, resíduos de cortes e podas, aparas de madeira e serradura, agulhas de pinheiros e casca de batata. Como resíduos verdes indica-se: folhas verdes; ervas daninhas sem sementes, restos de vegetais e frutas, borras de café (incluindo filtros), cascas de ovos (esmagadas), flores, folhas de saquetas de chá e aparas de relva frescas [29].

Também foi verificada a utilização de resíduos verdes como o arroz e massas, indicado no “Manual de compostagem doméstica” do Laboratório de Paisagem de Guimarães [26] ou restos de comida sem gordura do guia “Compostagem é Reciclar e Reutilizar”, dos Serviços Municipalizados de Sintra, 2021 [25].

Na confecção dos compostores aeróbios foram reutilizados baldes empregados na indústria alimentar com a altura de 33 cm, diâmetro superior de 30 cm e inferior a 27 cm. O balde superior é utilizado para o tratamento dos biorresíduos e o inferior para armazenar o lixiviado. Os furos de drenagem para o escoamento do lixiviado foram feitos com broca de 5 mm no balde superior, na área correspondente ao corte feito na

tampa do balde inferior. Foram realizados furos de ventilação de 5 mm na tampa do balde superior, bem como nas laterais dos dois baldes para auxiliar na aeração (Figura 23).



Figura 23: Modelo de compostor doméstico caseiro.

Os líquidos dos baldes inferiores dos compostores (Figuras 24 e 25) foram recolhidos para a determinação do potencial hidrogeniônico (pH) e da condutividade elétrica (C.E.) durante o processo de fermentação e compostagem. Os resultados do pH e da C.E. serão apresentados no capítulo 5.



Figura 24: Registro em 06/06 - Líquido para coleta e análise - grupo de controle.



Figura 25: Registro em 27/06 - Recolha de líquido - grupo de controle.

4.2 Compostor *Bokashi* ORGANKO

Fabricado pela empresa SKAZA para realizar o pré-tratamento dos biorresíduos por meio da fermentação promovida pela introdução do *Bokashi*, uma mistura de farelo e melado, enriquecido com microrganismos benéficos (bactérias do ácido láctico,

leveduras, organismos fotossintéticos, actinobactérias e fungos enzimaticamente ativos) que iniciam o processo de fermentação e evitam a putrefação dos resíduos.

De acordo com a empresa, após o processo de fermentação os resíduos biológicos terão retido todos os nutrientes essenciais (principalmente azoto) que seriam perdidos em caso de decomposição ou apodrecimento livre, ou mesmo em compostagem aeróbia.

A fermentação é realizada num recipiente plástico de 16L, hermeticamente fechado para evitar a entrada de ar, com um fundo falso e uma torneira para a drenagem do lixiviado. A proposta da marca é a de ser prática, podendo ser manuseado em pequenos espaços, como num pequeno apartamento. Além do recipiente, a empresa disponibiliza um pacote de 2 kg de farelo *Bokashi*, um fundo falso (separação fase sólida e líquida) na forma de coador, uma espátula (amassador), uma colher graduada doseadora de farelo, um copo coletor de lixiviado e um manual de instruções (Figura 26).

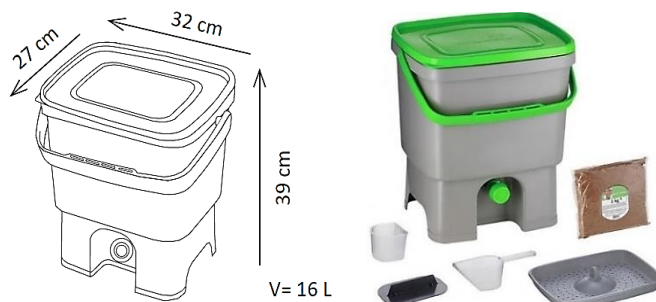


Figura 26: Compostor Bokashi ORGANKO da fabricante Skaza.

Conforme o manual de instruções, antes do primeiro uso é necessário verificar se a válvula da torneira está fechada para evitar futuros vazamentos de lixiviado. Deve-se inserir o coador no fundo do compostor e seguir as seguintes diretrizes (Figura 27):

1. Antes de colocar qualquer resíduo no balde, espalhe no fundo 1 colher de farelo de *bokashi* (60 ml), uniformemente no filtro coador do recipiente.
2. Corte grandes pedaços de biorresíduos em pedaços menores antes de colocá-los no recipiente.
3. Transfira os biorresíduos.
4. Use a espátula amassadora para pressionar os resíduos.
5. A cada camada de biorresíduos, espalhe 1 porção (60 ml) do farelo sobre o resíduo.

6. Cubra o balde com a tampa, certificando-se de que está bem vedado. O balde deve permanecer sempre fechado. Só deve ser aberto para colocar mais biorresíduos até completar os 16 litros.
7. Drene o líquido de fermentação (lixiviado) a cada 3-5 dias e, se for usado como adubo líquido pela primeira vez, o líquido de fermentação formar-se-á após 14 dias.
8. Caso queira dispensar os biorresíduos, jogue-os num contentor de resíduos orgânicos.
9. Espalhe 2 colheres de farelo de *bokashi* no biorresíduo depois de encher o recipiente completamente.
10. Feche quando estiver cheio e não abra por 14 dias.
11. Continue a drenar o líquido de fermentação a cada 3-5 dias.
12. Ao completar o período de fermentação, enterre a massa de resíduos no solo ou transfira para uma compostagem aeróbia.

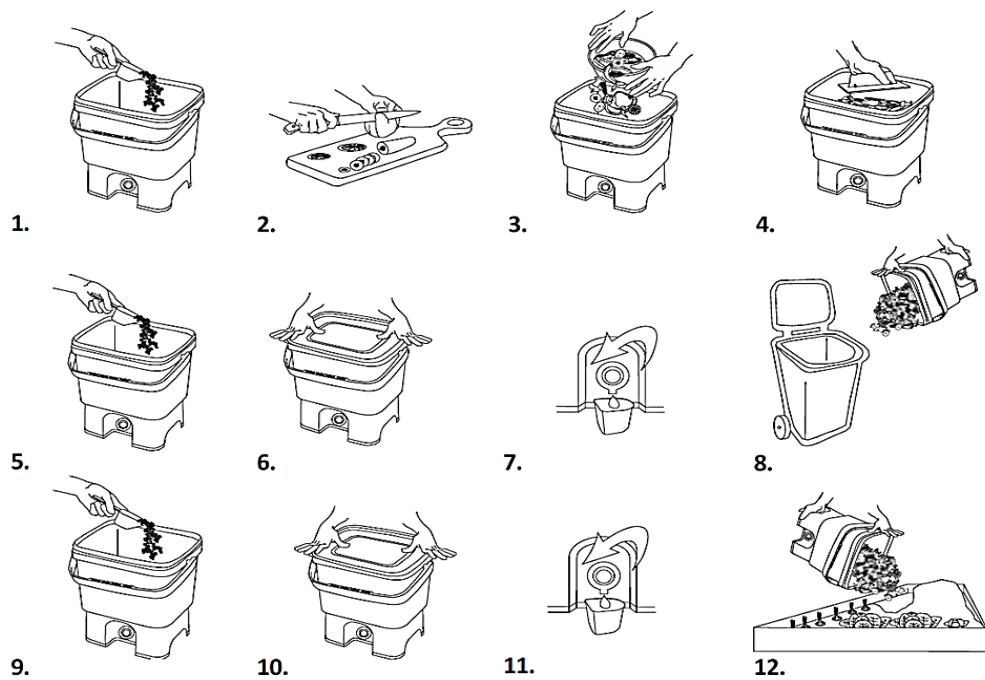


Figura 27: Método de operação do compostor Bokashi ORGANKO.

A empresa indica como adequado para se colocar no compostor os seguintes resíduos: frutas e legumes, cascas de frutas cítricas e de banana, comida cozida, carne cozida e crua, queijo, peixe, iogurte, ovos, ossos menores, pão, borra de café, sacos de filtro de chá, flores murchas e desidratadas, pequena quantidade de papel, toalhas ou guardanapos de papel.

Já os resíduos inadequados para compostagem são os fluidos (vinagre, sumo, leite, óleo e água), ossos grandes, cinzas, fezes de animais e papel. Não é recomendado também manter o compostor ao ar livre pela possibilidade de se danificar com fenómenos extremos do clima e grandes amplitudes térmicas, ou com outros fatores externos, além de prejuízos pela exposição à luz solar direta.

4.3 Fase de pré-tratamento: fermentação

A fase de alimentação dos compostores teve início a 30 de maio de 2022 e foi finalizada no dia 03 de junho de 2022 ao completar o volume total de 16 litros, acompanhando a semana de refeições (almoço) da cantina da ESAC. Os biorresíduos seguiram a metodologia de recolha, homogeneização e seleção, conforme descrito, antes de serem encaminhados para o recipiente de tratamento.

Foram seguidas as instruções do fabricante, adicionando o farelo de *bokashi* ao fundo do compostor onde se encontrava o coador antes da introdução dos biorresíduos e continuar a adicionar por cada camada (Figuras 28 e 29).



Figura 28: Farelo de bokashi disponibilizado pela empresa



Figura 29: Medidor e quantidade de farelo introduzido.

A cada dia foi adicionado 3,2 litros de material (resíduos alimentares), sendo o volume calculado pela altura de preenchimento dos resíduos no recipiente, seguindo seu formato trapezoidal, com altura de cerca de 5 cm. Em seguida foi adicionado mais uma camada de farelo de *bokashi* e utilizada a espátula para realizar a compressão dos resíduos, retirando o ar e espaços vazios que possa haver entre as partículas (Figuras 30 a 32).



Figura 30: Camada de farelo de bokashi no fundo do compostor.



Figura 31: Biorresíduos introduzidos no compostor Bokashi ORGANKO e medida para quantificar o volume.



Figura 32: Compressão dos biorresíduos com espátula.

Ao completar-se, no final do 5º dia, o volume de 16 litros em cada um dos 3 compostores, intercalando camadas de resíduos alimentares e farelo de *Bokashi*, os compostores foram fechados definitivamente no dia 3 de junho de 2022 e acondicionados em local sombreado e fechados, em cima da banca da sala do laboratório de solos da ESAC, até ao encerramento do procedimento.

A recolha do lixiviado (Figura 33) foi realizada a cada 3-5 dias, conforme orientações do fabricante. Em cada recolha foi verificado o volume de lixiviado produzido, a leitura da C.E. e do pH. De seguida, as amostras foram identificadas e levadas ao frigorífico.



Figura 33: Disposição dos compostores Bokashi ORGANKO e recolha de lixiviado.

4.4 Fase de tratamento: compostagem aeróbia - grupo de controlo

A matéria seca recolhida próximo à biblioteca (bloco J), composta por folhas de carvalhos e relva seca da área ajardinada da escola (Figura 34), tendo sido aparada em dias anteriores e dispostas diretamente no solo, foram estocadas para a utilização na compostagem aeróbia.



Figura 34: Resíduo castanho utilizado na compostagem (relva e folhas de carvalho).

A matéria seca estocada, foi então homogeneizada em quantidades proporcionais e quantificado o volume a ser utilizado numa proporção três vezes maior do que os de resíduos alimentares, garantindo que haja carbono suficiente não só para o metabolismo dos microrganismos no processo de compostagem, mas também para auxiliar na aeração e drenagem (Figuras 35 e 36).



Figura 35: Homogeneização dos tipos de matéria seca e cálculo do volume a ser introduzido.



Figura 36: Introdução inicial da matéria seca castanha no fundo do balde.

Inicialmente foi introduzido uma camada de resíduos castanhos ao fundo do balde, antes de serem adicionados os resíduos alimentares. Os resíduos alimentares foram adicionados em seguida, sendo introduzida mais matéria seca carbonada, tanto para se fazer uma mistura equilibrada com os resíduos alimentares, aumentando a superfície de contato entre resíduos castanhos e verdes, como para servir de cobertura para estes biorresíduos e servir de base para receber uma nova camada no dia seguinte (Figura 37).



Figura 37: Introdução dos resíduos alimentares, mistura com os resíduos castanhos e cobertura final da camada.

As demais camadas foram realizadas com o mesmo procedimento nos dias seguintes até completar o volume de 16 litros de resíduos alimentares que juntamente com resíduos castanhos chegaram ao volume total de 20 litros. Após ser completado o volume nos 3 baldes, os compostores permaneceram fechados, sendo realizado ajustes recorrentes para a adequação do processo, como o revolvimento dos biorresíduos e a abertura das tampas, para auxiliar no desenvolvimento do processo de compostagem.

Foram realizadas medições periódicas da temperatura e da humidade dos biorresíduos para avaliar a progressão das fases de transformação da matéria orgânica em composto. Durante este período foram efetuadas recolhas regulares do lixiviado, de acordo com a quantidade produzida, sendo feita, em seguida, a análise do pH e da C.E. das amostras, posteriormente encaminhadas para conservação em frigorífico.

De modo complementar, foram verificadas as características físicas das alterações dos biorresíduos no processo de compostagem através da monitorização do aspeto visual, odor e presença de meso e macrofauna edáfica.

4.5 Compostagem aeróbia – grupo pré-tratamento (fermentado)

Após o pré-tratamento nos 3 compostores *Bokashi ORGANKO*, o fermentado produzido de cada compostor foi retirado separadamente, homogeneizado e dividido em duas partes iguais. Metade foi distribuído por 3 compostores termofílicos aeróbios (Figura 38) de constituição equivalente aos compostores do grupo de controlo e a outra metade foi colocada em 3 recipientes com solo, seguindo as instruções de uso do fabricante (fase 12 da Figura 27).



Figura 38: Transferência do fermentado para a compostagem aeróbia.

Os resíduos castanhos estocados foram acrescentados ao fermentado, na mesma proporção (3 partes de resíduos castanhos para cada parte de fermentado), homogeneizado isoladamente, sendo dispostos em camadas em cada um dos 3 compostores do mesmo modelo que os do grupo de controlo. No entanto, os compostores foram enchidos no mesmo dia, completados no volume do balde de 20 litros.

4.6 Compostagem aeróbia - grupo de tratamento no solo

De acordo com as instruções técnicas do fabricante, além de ser encaminhado para uma compostagem aeróbia, o fermentado pode também ser enterrado diretamente no solo após ser retirado do compostor *Bokashi ORGANKO*.

A metade do fermentado que não foi destinada para os compostores aeróbios, foram então para o tratamento final com solo nos recipientes. Cada metade dos 3 compostores *Bokashi ORGANKO*, foi direcionada isoladamente para os compostores de balde, sendo acrescentado solo numa proporção de 2 partes de solo para 1 parte de fermentado.

O solo utilizado foi do tipo cambissolo, recolhido no dia 05/07/2022, na Freguesia de Eiras e São Paulo de Frades (coordenadas: 40°13'13.18"N 8°26'12.82"O) e levado ao laboratório de solos ESAC, onde foi passado pelo crivo para a retirada de pedras e material mais grosseiro (Figuras 39 a 41).



Figura 39: Local da recolha de amostra de solo.



Figura 40: Solo após passar pelo crivo.



Figura 41: Fermentado com cobertura de solo no compostor.

No intuito de reproduzir o tratamento no solo, o compostor doméstico recebeu uma porção de solo ao fundo do balde, em seguida foi disposto o fermentado ao centro e colocado mais solo na circunjangência e para cobrir o fermentado, havendo solo em contato com todo o material, reproduzindo o enterro direto no solo.

A monitorização foi como a da compostagem aeróbia, realizada através de medições periódicas de temperatura e humidade e verificações das características físicas do processo como o aspeto visual, odor e a presença de meso e macrofauna edáfica.

5. Resultados da monitorização da compostagem

O processo de compostagem é proposto por dois estágios e caracteriza-se por um período de rápido aumento da temperatura que inclui o período de platô inicial, definido de composto ativo, e o estágio de maturação e cura, incluindo a maior parte do período de platô que se sucede e estende até e além do período de declínio da temperatura [33].

A monitorização foi iniciada no dia 03 de junho e concluída no dia 17 de agosto de 2022, durante 72 dias, com uma periodicidade de 3 vezes por semana, sendo realizado avaliações qualitativas, de humidade e temperatura do composto, apenas nos compostores aeróbios, bem como a recolha e quantificação do lixiviado produzido e posterior determinação da C.E. e pH, realizado em todos os compostores.

Na quantificação do teor de humidade e temperatura do composto foi utilizado um termo-higrômetro da marca *Schaller*, um dispositivo com lança para a medição em

profundidade, do modelo *humimeter* FL2 (Figura 42). Foram feitas medições a 5 cm do fundo do compostor (altura onde se localiza a sonda na lança), sendo realizada uma medição no centro e outras duas medições próximas às paredes laterais opostas (apresentadas nos gráficos de temperatura e humidade como Centro, L1 e L2 respectivamente).



Figura 42: Sonda e medição central e lateral da temperatura e humidade do composto.

As medições de temperatura e humidade apresentam um mínimo de altura para registos fiáveis, uma limitação de altura máxima de 5 cm, a mesma da altura da sonda na ponta da lança.

A partir do momento em que o composto reduziu o volume a ponto de não chegar à altura da sonda, as leituras deixaram de ser consideradas, foram realizadas apenas como forma de comprovar a estabilização da temperatura do composto, na tentativa de se efetuar uma medição com a lança na perpendicular introduzindo a sonda no volume remanescente. Foram realizadas estratégias para se conseguir leituras fidedignas. Desta forma, as últimas 2 medições realizadas nos compostores B1, B2, B3, S1, S2 e S3 (11 e 17 de agosto) e as 2 últimas realizadas nos compostores C1, C2 e C3 (20 de julho e 17 de agosto) não serão consideradas graficamente. As medidas foram para averiguar se havia alguma subida significativa de temperatura, mas não registado.

É importante descrever a sequência de eventos para um melhor entendimento dos princípios envolvidos no desenvolvimento de um programa de monitoramento adequado de compostagem. Duas sequências óbvias são a ascensão e queda de temperatura e a mudança sequencial na aparência do composto [31].

Na determinação do pH em laboratório foi utilizado um medidor modelo 3310 da marca *Jenway* e da condutividade elétrica (C.E.) um medidor modelo Cond 3110 da marca WTW, ambos calibrados, seguindo as normas e tempo de estabilização da análise, segundo os manuais de instrução e técnica laboratorial (Figura 43).



Figura 43: Medidor de pH (esquerda) e condutividade elétrica (direita).

As análises quantitativas estão evidenciadas nos gráficos de pH e C.E. e a seguir é apresentada a avaliação das características qualitativas do composto nos compostores aeróbios, sem o pré-tratamento (grupo de controlo: C1, C2 e C3), e outros pela fermentação com o farelo de *Bokashi* (grupo de pré-tratamento: B1, B2 e B3), a monitorizar o aumento e queda de temperatura, mudança de odor e aparência, mudança na textura e destruição de sólidos voláteis durante os estágios de composto ativo, maturação e cura.

5.1 Grupo de controlo

O grupo de controlo foi realizado para se comparar os efeitos da utilização do farelo de *bokashi* com o de pré-tratamento. Desta forma, os biorresíduos são encaminhados diretamente para os compostores domésticos artesanais (Figura 25).

Os biorresíduos triados e selecionados da cantina e do jardim foram inicialmente encaminhados no dia 30 de maio para os 3 compostores nomeados por C1, C2 e C3 e preenchidos seus volumes máximos no dia 03 de junho, no início do monitoramento e após o quinto dia de arrancada da compostagem.

Temperatura e humidade

As temperaturas nos compostores foram monitorizadas em simultâneo com as temperaturas de Coimbra verificadas no Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P. (IPMA, I. P. – Gráfico 5).

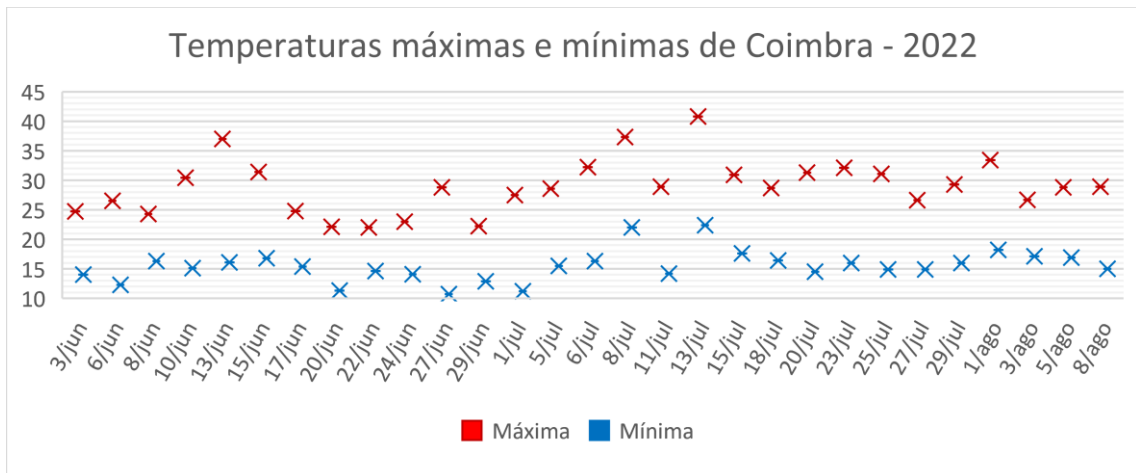


Gráfico 5: Temperaturas máximas e mínimas de Coimbra - junho a agosto de 2022. Fonte: IPMA, 2022.

As medições verificadas no centro e pontos periféricos dos compostores tiveram variações significativas (máximo de 6 °C no compostor C3) ao fim da segunda semana inicial, com pico de temperatura de 44,5 °C e evidenciando um pequeno platô, como o estágio de composto ativo, no indicativo do início de uma atividade termofílica (35–65 °C) do centro para as extremidades do compostor (Gráficos 6 a 8).

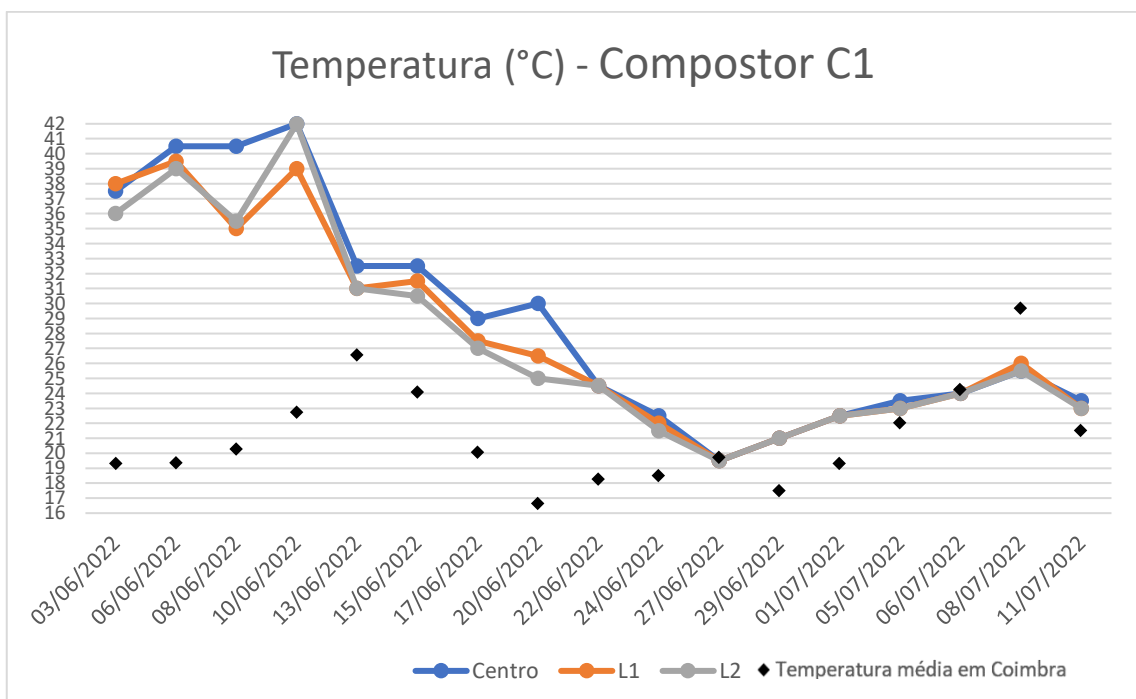


Gráfico 6: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de controlo C1 e temperatura média em Coimbra.

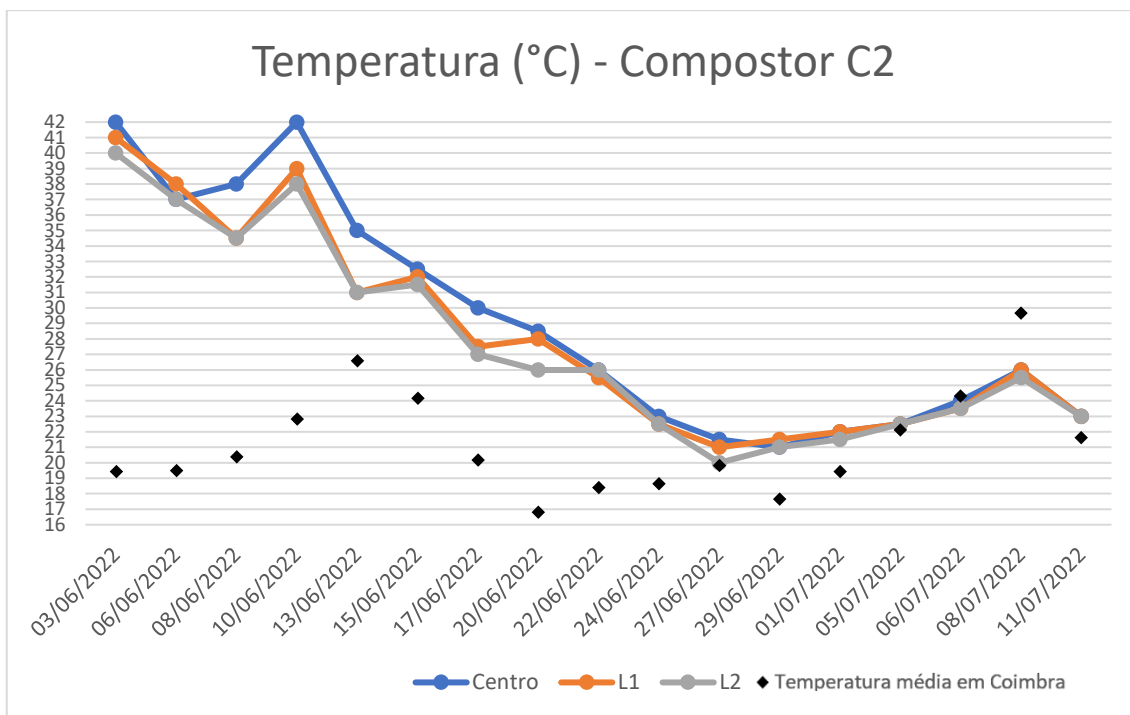


Gráfico 7: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de controlo C2 e temperatura média em Coimbra.

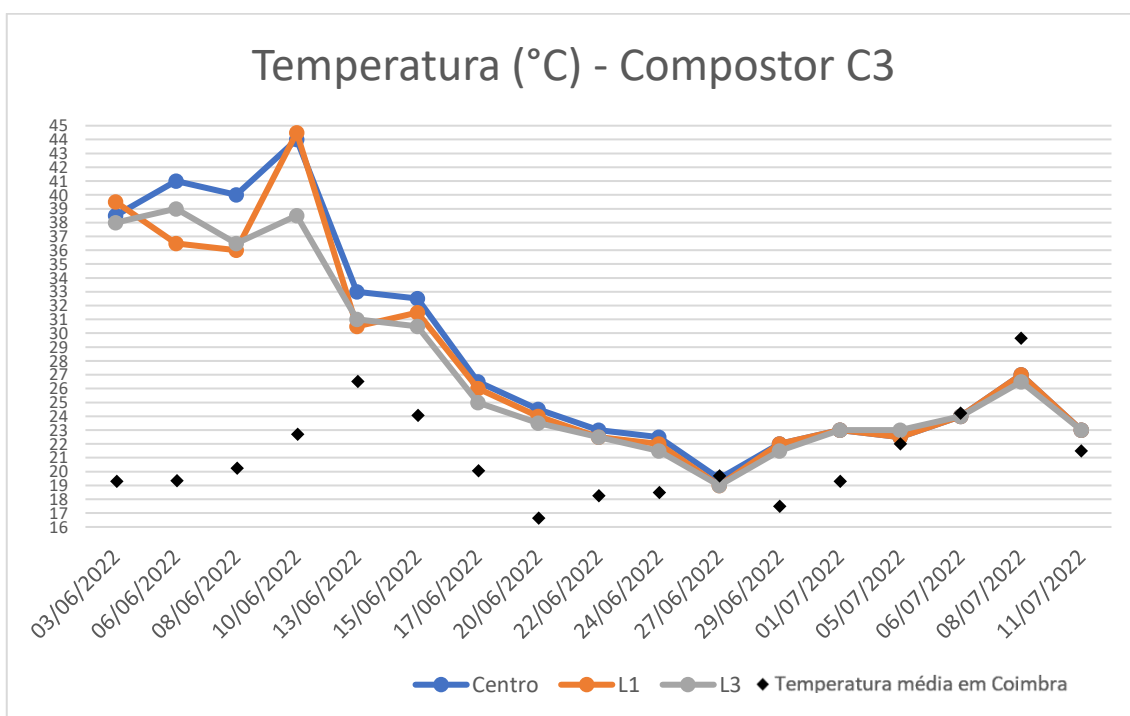


Gráfico 8: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de controlo C3 e temperatura média em Coimbra.

No dia 22 de junho as temperaturas da extremidade e do centro do compostor se estabilizaram, na média de 24 °C, permanecendo praticamente constantes, evidenciando uma fase mesofílica (25-40 °C) que obteve sua menor temperatura na semana seguinte, no dia 27, com uma média de 20 °C, coincidindo com a temperatura mínima medida no mês de junho no concelho de Coimbra, segundo os dados levantados do clima.

As temperaturas voltaram a elevar-se de seguida e chegaram a um valor máximo médio de 26 °C em 08 de julho, voltando a cair para uma temperatura média de 23 °C no dia 11, acompanhando a variação de temperatura mínima e máxima entre 16,5 °C e 31,9 °C de Coimbra [30], indicando entrar numa fase de bioestabilização e cura do composto.

Durante o período de monitorização houve a realização de intervenções, com o objetivo de aumentar a aeração e a drenagem, para reduzir a humidade interna, desagregando as partículas no sistema. Os revolvimentos ocorreram a 08, 13 e 24 de junho e 06 de julho e abertura da tampa por três dias a 20 e 24 de junho e 08 de julho.

Estas intervenções não proporcionaram melhoras significativas no aumento da temperatura ou diminuição da humidade. A melhora deu-se na maior dispersão dos odores e melhora na homogeneização da biomassa e da humidade do compostado.

A humidade do composto indicou não ter variações do centro para as medições periféricas que possam ser consideradas, estando por volta do 67%, de forma homogênea em todo o composto.

Houve uma escalada na humidade, chegando a atingir cerca de 80% no dia 27 de junho, um pico de humidade no dia de menor temperatura registrada nos compostores (Gráficos 9 a 11).

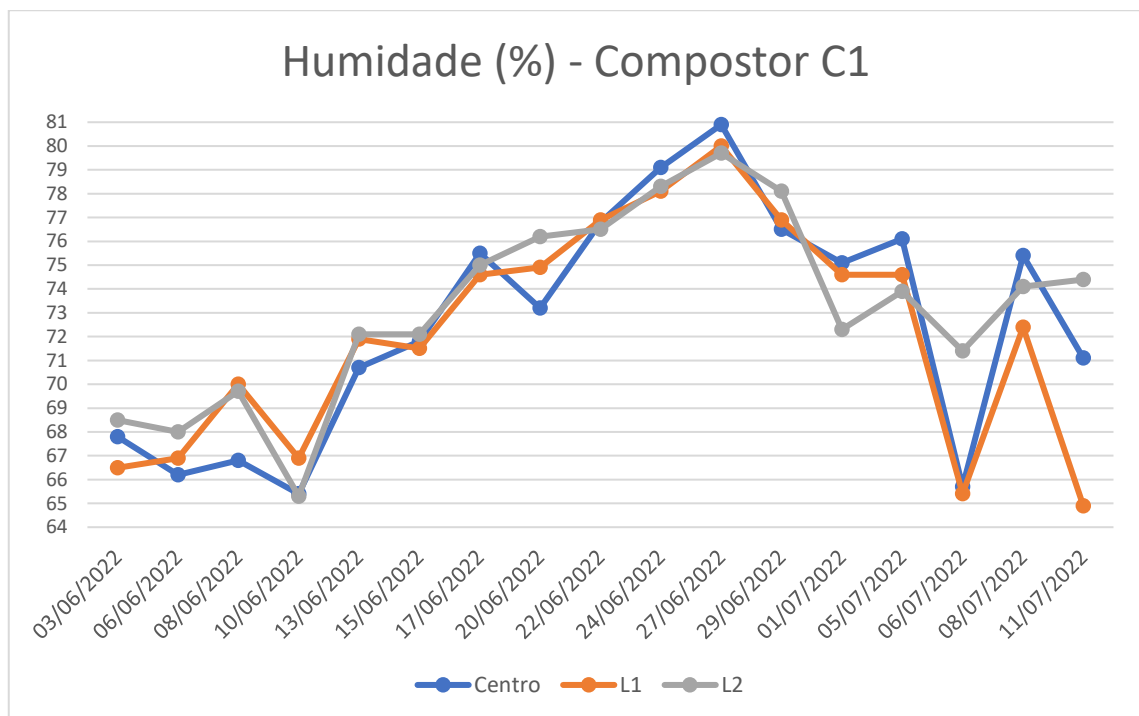


Gráfico 9: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de controlo C1.

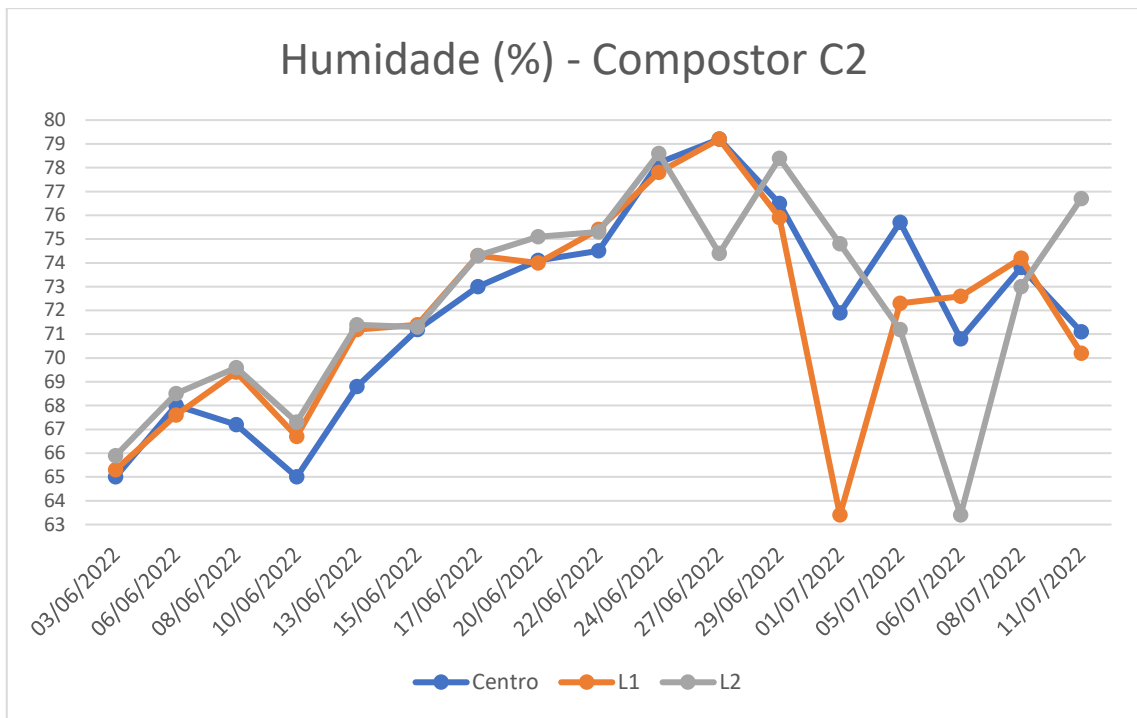


Gráfico 10: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de controlo C2.

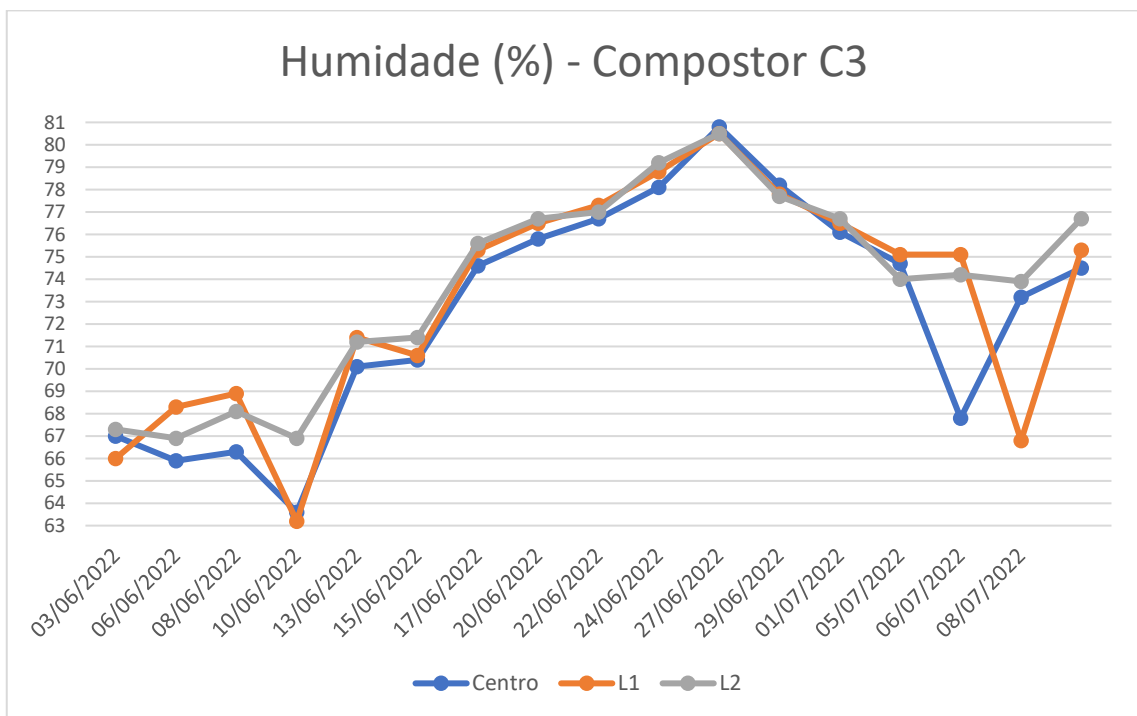


Gráfico 11: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de controlo C3.

A humidade excessiva tende a obstruir os poros e a impedir as trocas gasosas, favorece o processo de anaerobiose. As sondagens de humidade mensuradas nos compostores mantiveram-se altas durante todo o processo, encerrando com uma média superior a 70%, propiciando uma maturação mais lenta e um produto de baixa qualidade [33].

Características qualitativas

No dia 08 de junho observou-se uma mudança visual do composto para um aspecto mais grumoso e húmido, um odor pútrido e característico do amoníaco. Verificou-se a presença de adultos de *Drosophila sp.* (A) e larvas de mosca soldado (B) no compostor C1 (Figuras 44 e 45).



Figura 44: Coloração castanha no dia 06/06/2022 e em destaque a matéria carbonada e colonização por fungos (A).



Figura 45: *Drosophila sp.*, registo dia 08/06 adulta (A) e estágio larval (B).

Na tentativa de conseguir um maior arejamento do composto foi realizado o revolvimento manual (Figura 46), desfazendo os grumos para se diminuir as zonas de anaerobiose do processo e promover o melhor contato das zonas mais húmidas e nitrogenadas com a massa carbonada dos resíduos castanhos ainda muito presentes.



Figura 46: Revolvimento do composto em 13/06.

No dia 10 de junho constatou-se forte odor pútrido, a presença de moscas soldado, *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae), exemplares adultos (A) e em estado larval (B), além de uma maior contaminação por *Drosophilas* encontradas aderidas nas paredes dos compostores, em fase de pupa (C) (Figura 47). Foi realizada uma tentativa

de retirada dos dípteros encontrados nas tampas e laterais dos baldes e junto ao lixiviado para proporcionar uma diminuição da infestação.

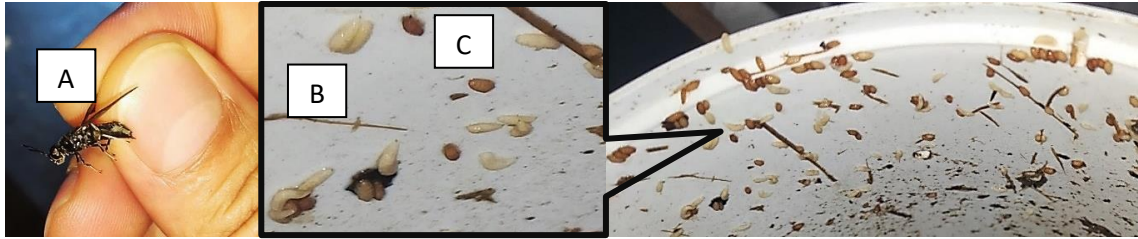


Figura 47: A. Mosca soldado (*H. illucens*); B. Estágio larval inicial (*H. illucens*); e C. pupa de *Drosophila sp.*

O monitoramento do dia 13 de junho encontrou grande quantidade de larvas e moscas soldados adultas próximas dos compostores. Verificou-se uma coloração mais escura e a diminuição de odor pútrido, estando o odor de amoníaco ainda acentuado, mesmo notando-se muita matéria carbonada não degradada. Foi realizado mais um revolvimento e retirada de dípteros notando a queda do odor de amoníaco e a diminuição da presença de larvas no dia 15 de junho.

Larvas da mosca soldado começaram a ser encontradas pelo chão no dia 17 de junho e mais evidenciadas na monitorização do dia 20, bem como a presença de outros dípteros adultos dentro dos compostores (Figura 48).

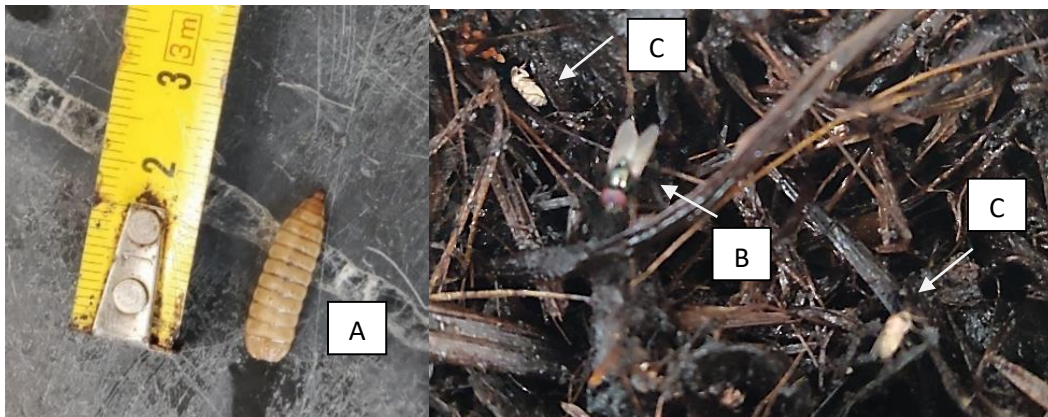


Figura 48: Registo 20/06 - (A) *H. illucens* - fase pré-pupa; (B) *M. domestica* - adulta; e (C) *Drosophila sp.* - adulta.

Como as primeiras evidências das larvas de mosca soldado se deram no dia 06 de junho, passaram-se 14 dias, tempo para a larva encaminhar-se para a fase de pré-pupa, saindo dos compostores para ficarem ao abrigo da luz e completarem o seu ciclo para a fase adulta. No dia 22 de junho foram encontrados pupa de mosca soldado - *H. illucens* (A), *Musca domestica* (B) e *Drosophila sp.* (C) (Figura 49).

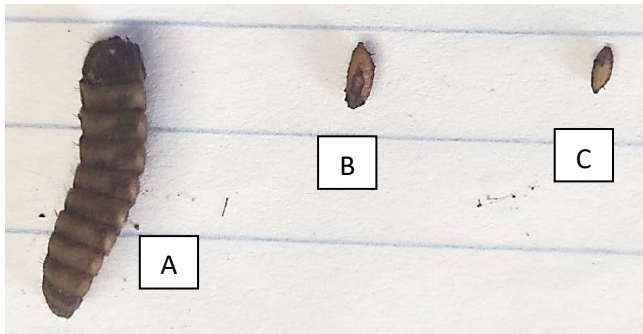


Figura 49: Registo 22/06 – em fase de pupa - (A) *H. illucens*; (B); *M. domestica*; e (C) *Drosophila sp.*

A infestação por dípteros decorreu por vários ciclos reprodutivos destes animais num ambiente favorável e propício ao desenvolvimento. O composto tornou-se mais enegrecido (Figura 50) e retendo humidade nos grumos que se vão formando com a degradação do resíduo e a colmatção dos poros de aeração, formando zonas de anaerobiose e propiciando a atração dos insetos. Apesar dos furos nos compostores e dos revolvimentos realizados e retirada da tampa superior para aumentar a ventilação do sistema, ainda assim a humidade continuou elevada, o que ajudou a entrada das moscas.

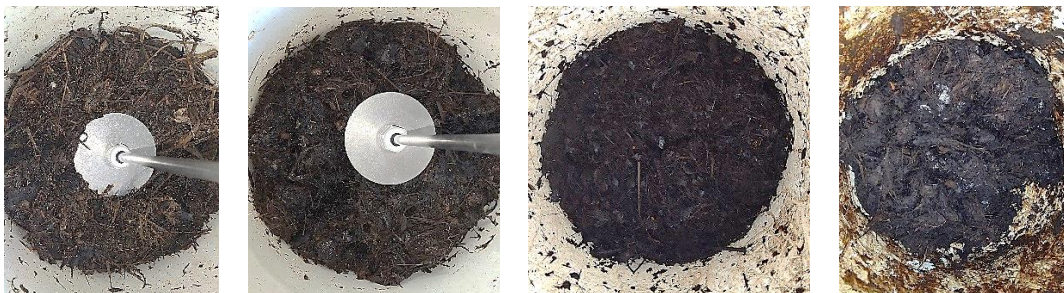


Figura 50: Registo aspeto visual do composto nas datas: 10 e 20 de junho, 10 de julho e 08 de agosto.

A coloração progrediu do castanho, com as cores predominantes de relva e folhas seca, para uma coloração cada vez mais escura e característica mais pastosa e húmida no interior e seca e quebradiça no exterior. Os revolvimentos (Figura 46) produziram uma maior homogeneização da biomassa e incorporação da massa carbonada no composto mesmo assim ainda se notava a presença relva seca.

5.2 Tratamento com uso de fermentação prévia com farelo de *bokashi* seguido pela compostagem aeróbia em compostores domésticos

A biomassa fermentada retirada dos compostores anaeróbios e misturados nas mesmas proporções de massa carbonada (3:1) que os do grupo de controlo, começaram

a ser monitorizadas no dia 06 de julho, com subida muito rápida da temperatura logo no primeiro dia de compostagem.

Temperatura e humidade

As temperaturas entre as medições do centro e periferia (L1 e L2) acompanharam as tendências de variações como as verificadas nos compostores do grupo de controlo, mas subiram rapidamente, em média 16 °C, nos 2 primeiros dias, chegando à fase mais reativa, com pico de temperatura de 46,5 °C no compostor B3 (Gráficos 12 a 14). A temperatura começa a decrescer nas medições seguintes, chegando ao fim de duas semanas a patamares mínimos de 21 °C (compostor B3) (Gráfico 14).

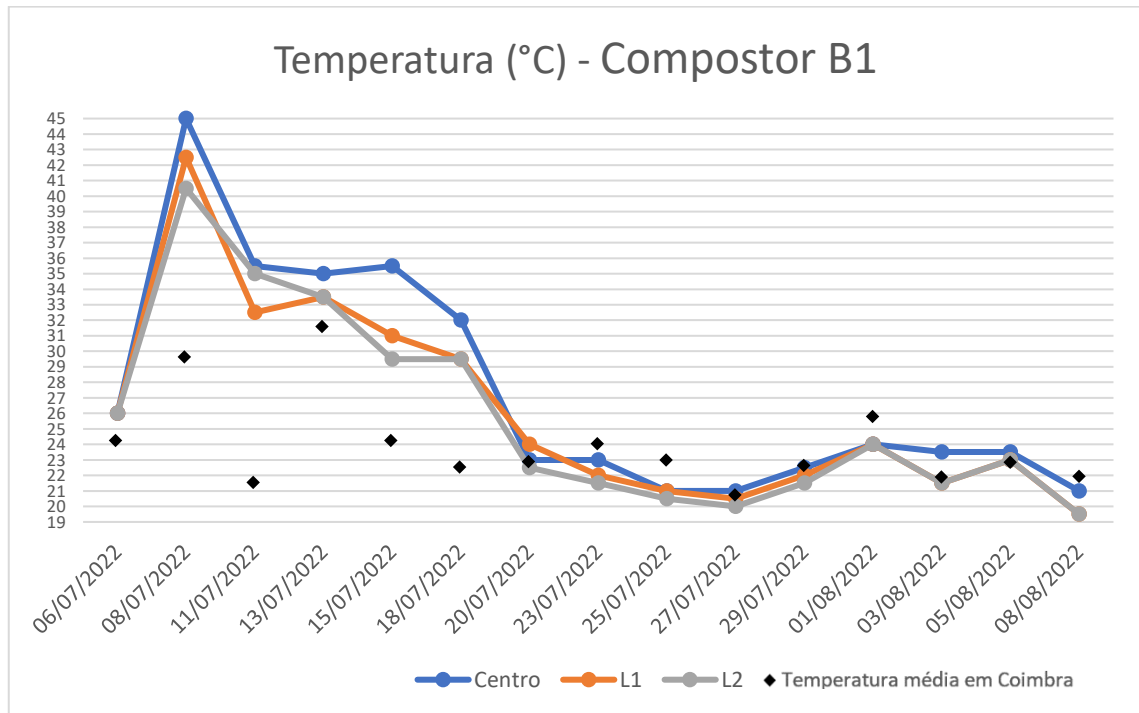


Gráfico 12: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B1 e temperatura média em Coimbra.

Seguiram para uma fase de temperaturas estáveis, compatíveis com a maturação e cura. Após o decréscimo das temperaturas, que estavam na média da temperatura ambiente, caracterizando um platô numa fase mesofílica, como o verificado em 08 de agosto, com temperaturas médias de 20 °C, dentro da margem de temperatura ambiente mínimas e máximas para o dia registrado em Coimbra.

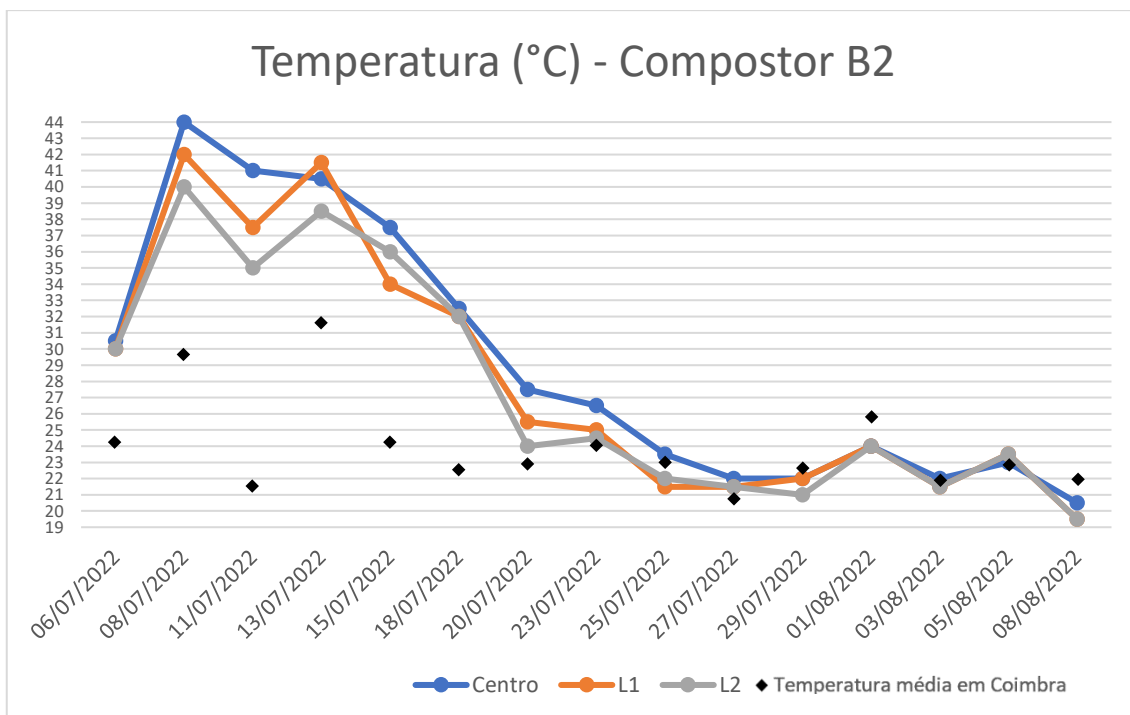


Gráfico 13: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B2 e temperatura média em Coimbra.

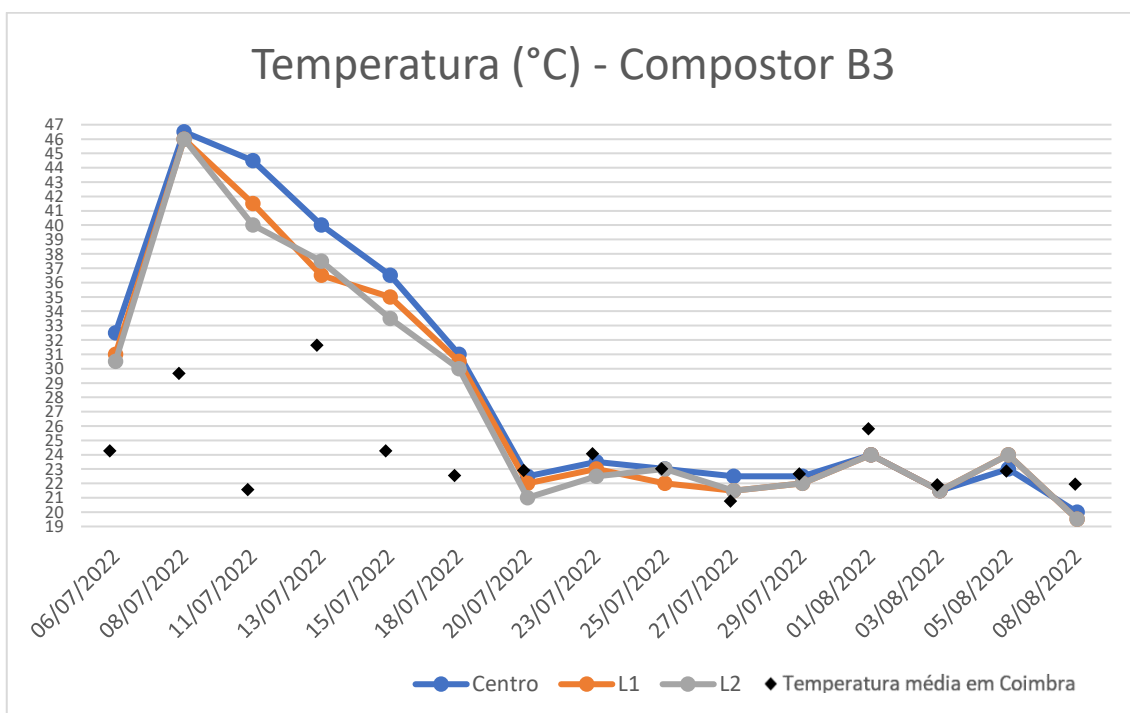


Gráfico 14: Temperatura - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B3 e temperatura média em Coimbra.

Altas taxas de biodegradação e uma diversidade microbiana máxima ocorrem em temperaturas que variam entre 30 e 45 °C [33]. Nota-se que mesmo com a queda de temperatura dos compostores, acompanhando a queda de mínima e máxima de Coimbra, no dia 11 de julho, os compostores ainda se mantiveram acima de 15 °C de diferença da temperatura máxima do clima ambiente.

As temperaturas e humidade nos compostores anaeróbios não foram medidas durante a fase de fermentação com o farelo de *bokashi* pela impossibilidade de se abrir o compostor e interromper a anaerobiose.

As medições de temperatura e humidade só foram realizadas após o encaminhamento da biomassa fermentada e drenada para os compostores aeróbios. Durante esta fase a humidade manteve-se alta durante todo o período, acima de 70% (Gráficos 15 a 17), e registrou o máximo de 78,7% no compostor B3 (Gráfico 17). Os valores discrepantes nos gráficos 15 (dias 3, 5 e 8/08 - Centro) e 16 (dia 03/08 - Centro) foram desconsiderados pela limitação da sonda em efetuar a medição correta e não serão representados.

Verificou-se pouca variação da humidade, o que indica que o lixiviado recolhido durante a fase de fermentação, fez com que a fase líquida remanescente se mantivesse estável, através da própria recirculação da humidade interna do compostor, como indica a relação com as maiores temperaturas e maior perda de humidade do composto.

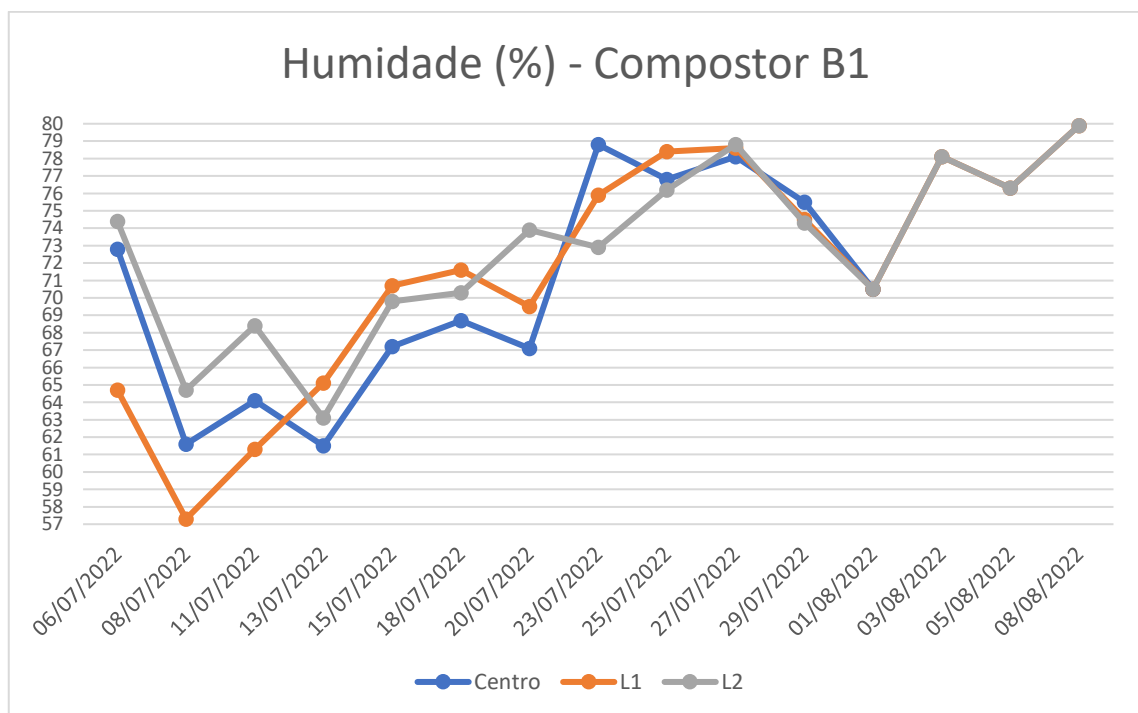


Gráfico 15: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B1.

Durante o período de monitorização houve a realização de intervenções, como as do grupo de controlo, para aumentar a aeração e a drenagem, otimizando a distribuição da humidade interna, das zonas de anaerobiose, com o exterior seco e quebradiço, facilitando a desagregação das partículas do composto.

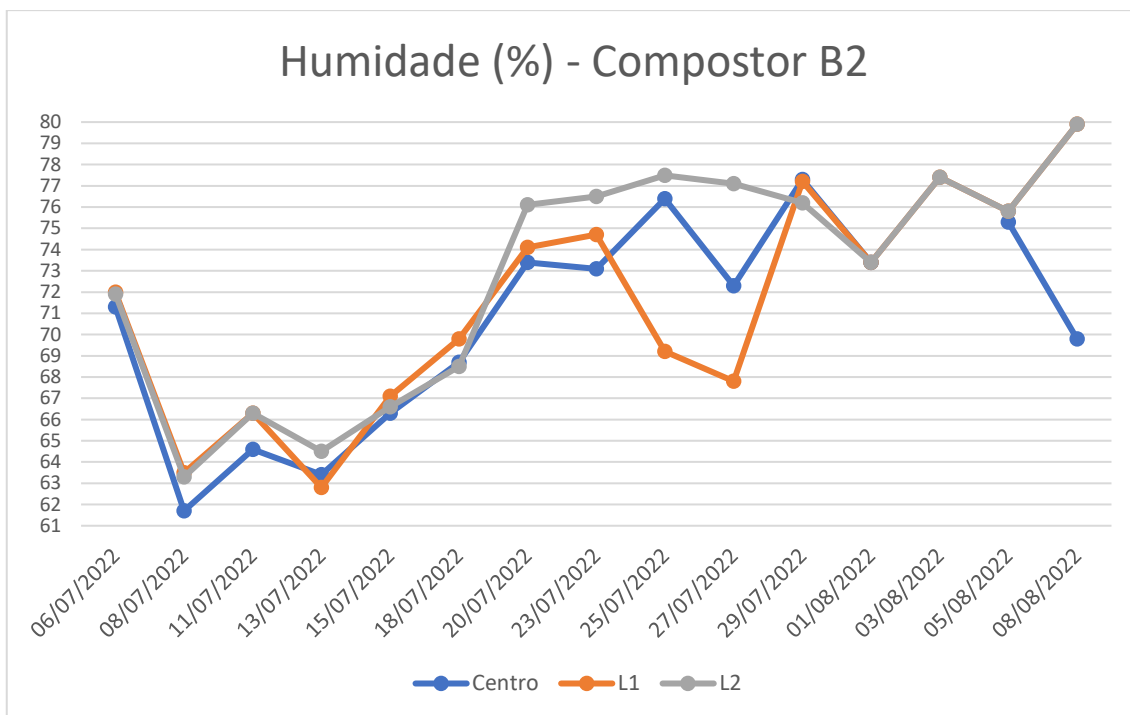


Gráfico 16: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B2.

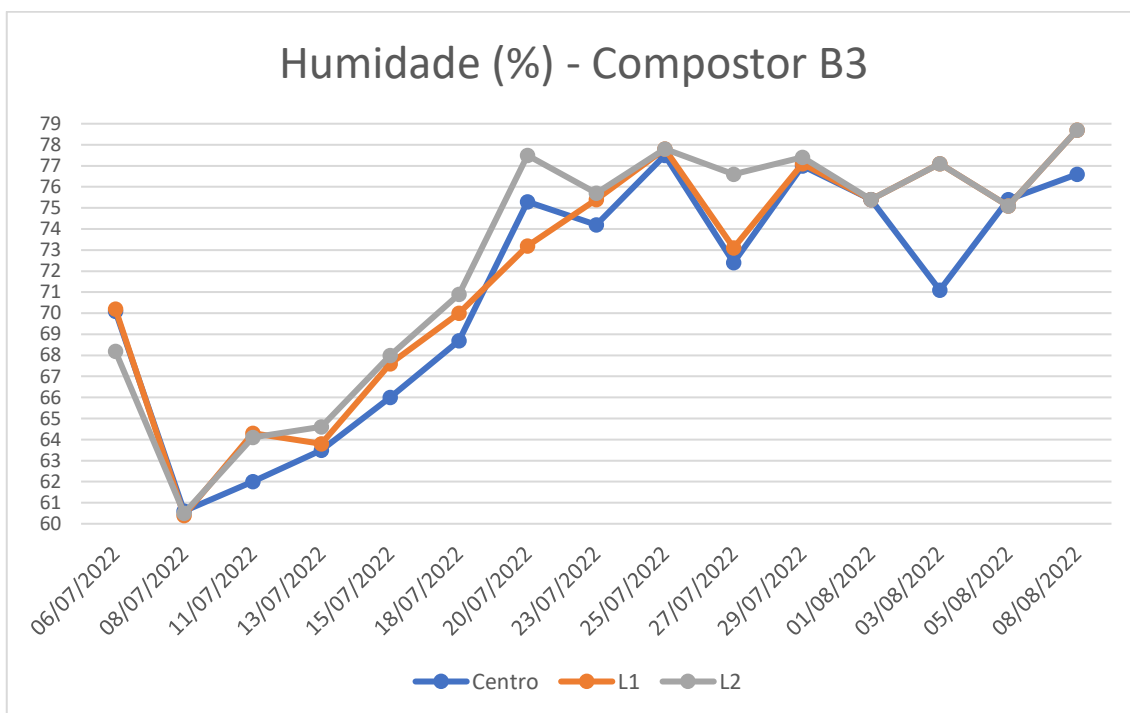


Gráfico 17: Humidade - Compostor aeróbio do grupo de pré-tratamento B3.

Os revolvimentos ocorreram em 13, 23 e 27 de julho, 03, 05, 11 e 17 de agosto. Abertura da tampa por dois dias em 08, 27 de julho e 01 de agosto. Em todos os casos, as intervenções auxiliaram na dispersão dos odores, e desagregação das partículas com humidade aderida.

Características qualitativas

Nos compostores aeróbios, mesmo passando pela fase de pré-tratamento com o *bokashi*, tiveram infestações de moscas soldado na fase de tratamento aeróbia.

Houve grandes possibilidades de contaminação cruzada entre os compostores pela proximidade com os do grupo de controlo e pela mistura de biorresíduos se mostrar atrativa para o desenvolvimento de dípteros. Os furos de aeração dos compostores contribuíram para a entrada de larvas logo após a eclosão dos ovos, para saída das larvas na fase de pré-pupa, o desenvolvimento de moscas dentro do próprio laboratório e as seguintes contaminações recorrentes, em novos ciclos, nos demais compostores (Figuras 51, 52 e 53).



Figura 51: Registo em 11/07 - Mosca adulta e estágio de pupa.



Figura 52: Registo em 15/07 - Estágio larval de mosca soldado no líquido.



Figura 53: Registo em 16/07 - Ovos de mosca soldado próximo aos compostores.

A humidade verificada nos três compostores manteve-se entre 70% e 80%, variando de forma inversamente proporcional às temperaturas registadas, alterando entre dias de maiores temperaturas, com maior perda de humidade e dias com menores temperaturas e valores maiores de retenção de humidade dentro dos compostores.

O volume de biomassa diminuiu para menos de 1/3 do volume inicial, com diminuição considerável da altura do composto no compostor, além das formações de grandes grumos com maior retenção da humidade no interior e superfície mais seca no exterior (Figura 54).

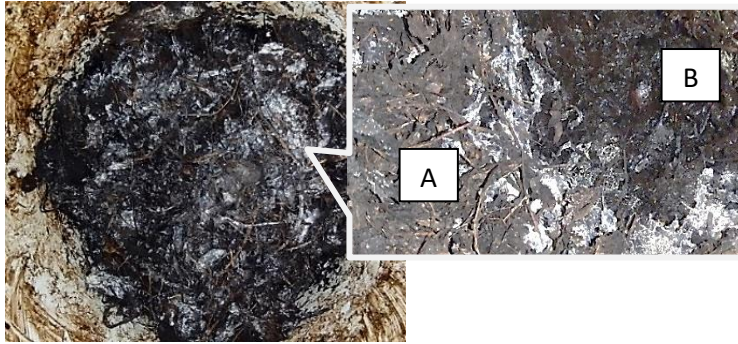


Figura 54: Registo em 17/08 - (A) Exterior seco e (B) interior húmido.

As grandes variações de humidade nas medições finais se dão pelas limitações de profundidade da sonda na altura do composto maturado no compostor, assim como foi verificado nos compostores do grupo de controlo.

Além da presença de dípteros em ambos os tipos de tratamento, foi registado no dia 11 de agosto (Figura 55), apenas nos compostores do grupo de pré-tratamento, a presença de numerosos ácaros orbatídeos e colêmbolos no composto, contudo, no dia 15 de agosto já não havia nenhum sinal desta mesofauna.

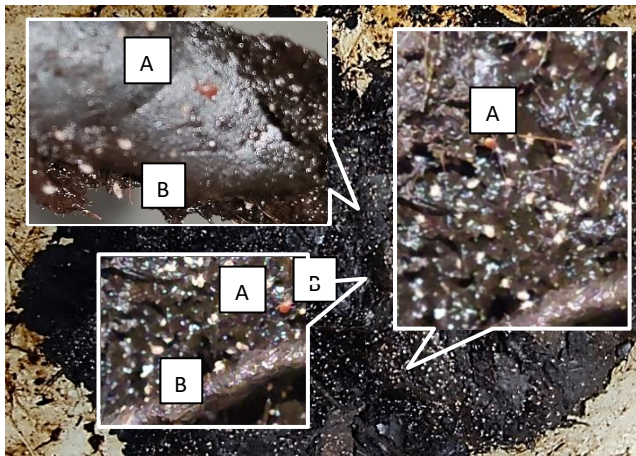


Figura 55: Registo em 11/08/2022 - A. ácaros (Oribatida); B. colêmbolos (Entomobryomorpha).



Figura 56: Registo em 30/08 - Biorresíduos não decompostos e resíduos de plástico e metal.

O exterior do composto apresentou aspecto mais seco e interior grumoso e com humidade aderida, a coloração verificada foi a mesma do grupo de controlo, de uma predominância dos resíduos castanhos, mais claro para uma cor mais enegrecida com característica mais pastosa e húmida. Também se verificou a presença de relva seca e pequenos galhos aderidos, além de resíduos que não se decomposeram, como ossos, sementes de cereja e contaminantes das embalagens dos alimentos industrializados utilizados no preparo do almoço (Figura 56).

5.3 Tratamento no solo após fermentação com farelo de *Bokashi*

Temperatura e humidade

As medições realizadas no solo seguiram também um aumento rápido de temperatura (Gráficos 18 a 20), a maior elevação em 14 °C (32,5 °C – 46,5°C), observado no centro do compostor S1 (Gráfico 18). Mantiveram-se no primeiro platô, por cerca de 2 semanas, com quedas maiores que 7 °C, apresentadas no dia 20 de julho, a menor temperatura medida na periferia (L2), de 23 °C, medida no compostor S2 (Gráfico 19), chegando à média de temperatura ambiente de Coimbra para o dia. O segundo platô acompanha as máximas temperaturas registradas dentro do intervalo de temperaturas médias registadas em Coimbra, numa fase mesofílica, encaminhando-se para a maturação.

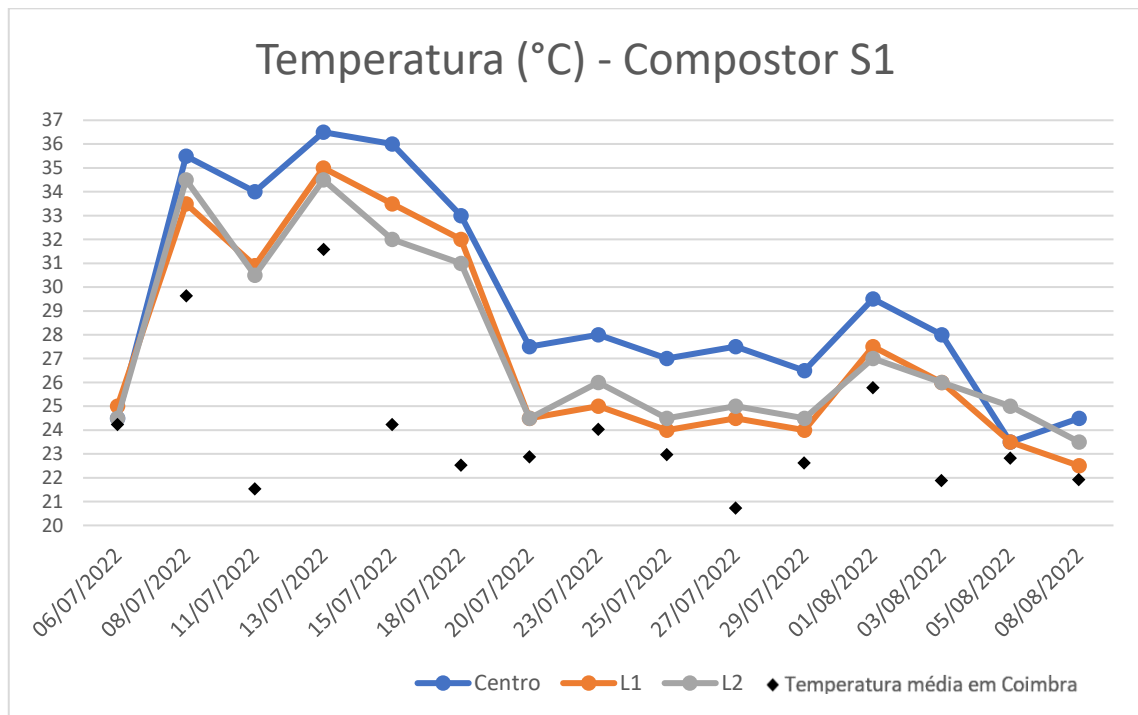


Gráfico 18: Temperatura - Compostor de tratamento no solo S1 e temperatura média em Coimbra.

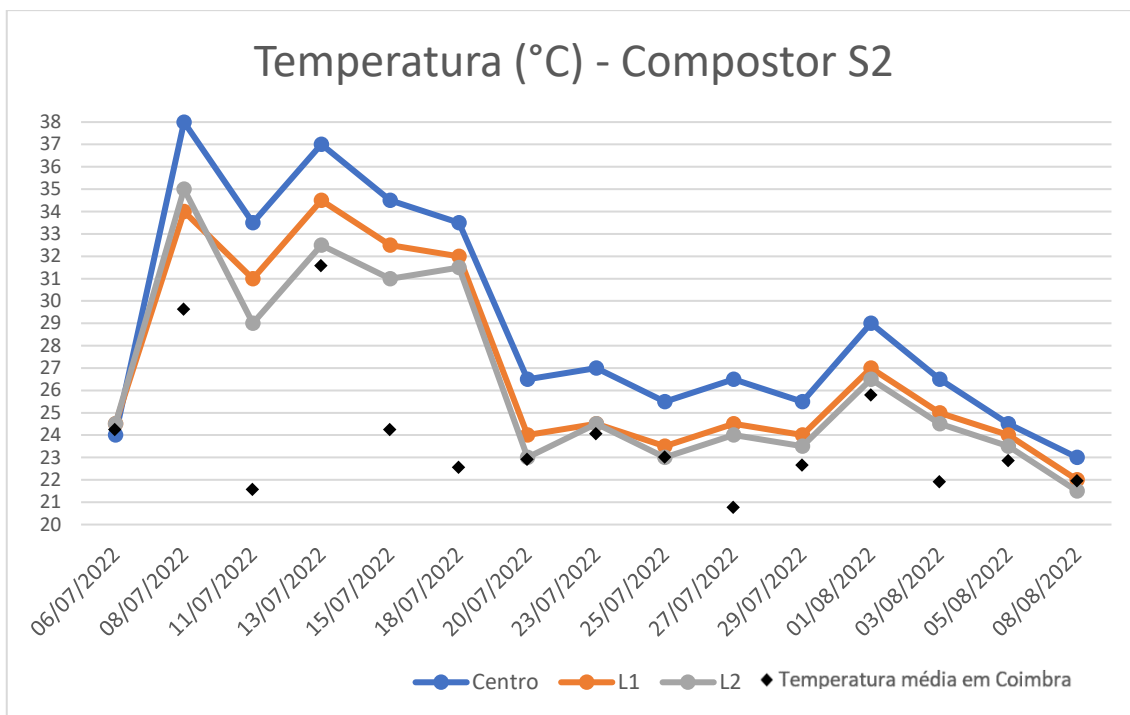


Gráfico 19: Temperatura - Compostor de tratamento no solo S2 e temperatura média em Coimbra.

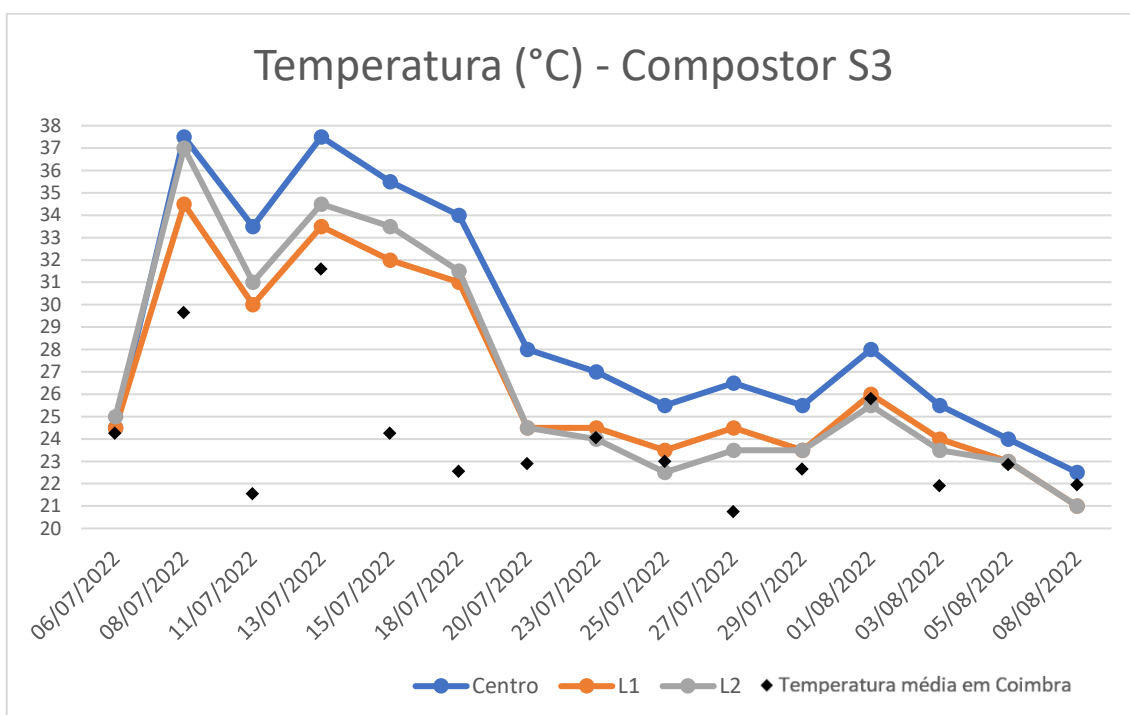


Gráfico 20: Temperatura - Compostor de tratamento no solo S3 e temperatura média em Coimbra.

Os registos da humidade foram sempre elevados durante todo o processo, mantendo-se entre os 60% e 80%, com todos os compostores a finalizarem o processo com humidade superior a inicial, mas sem haver produção de lixiviado (Gráficos 21 a 23).

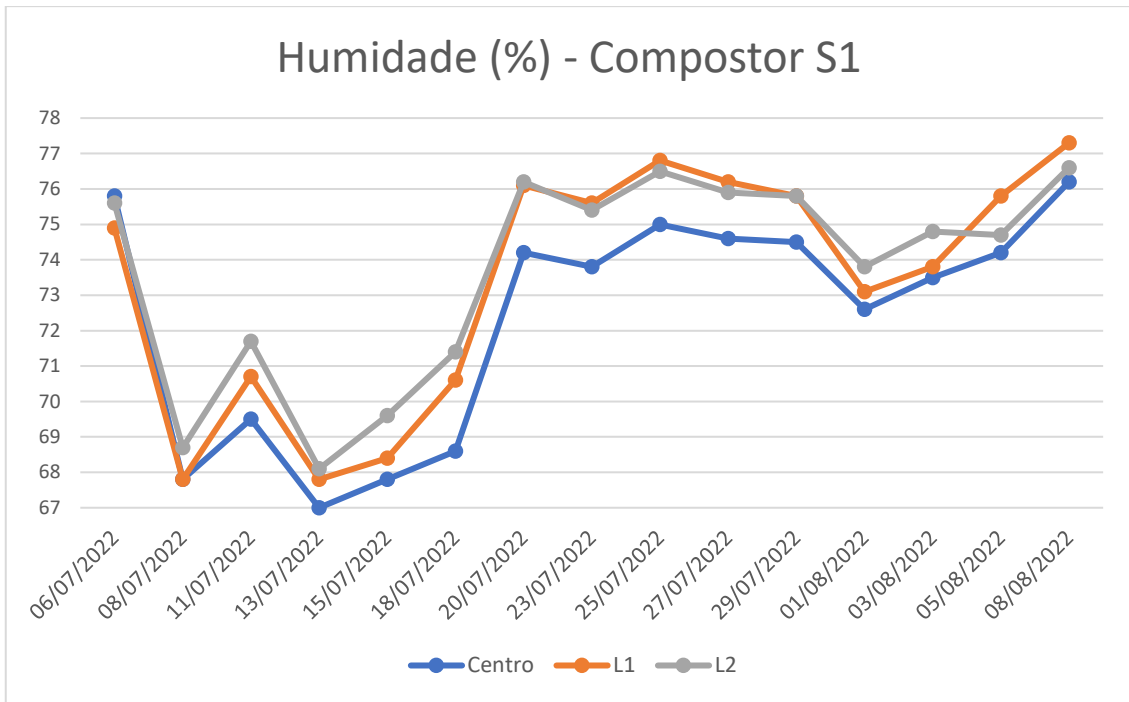


Gráfico 21: Humidade - Compostor de tratamento no solo S1.

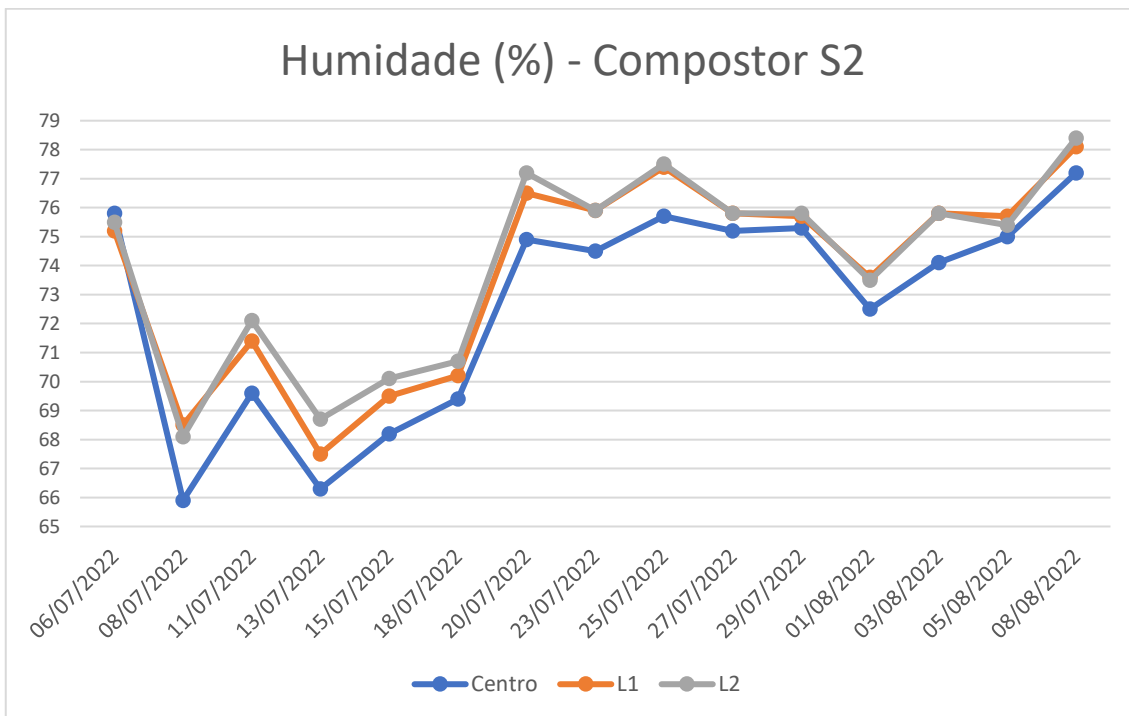


Gráfico 22: Humidade - Compostor de tratamento no solo S2.

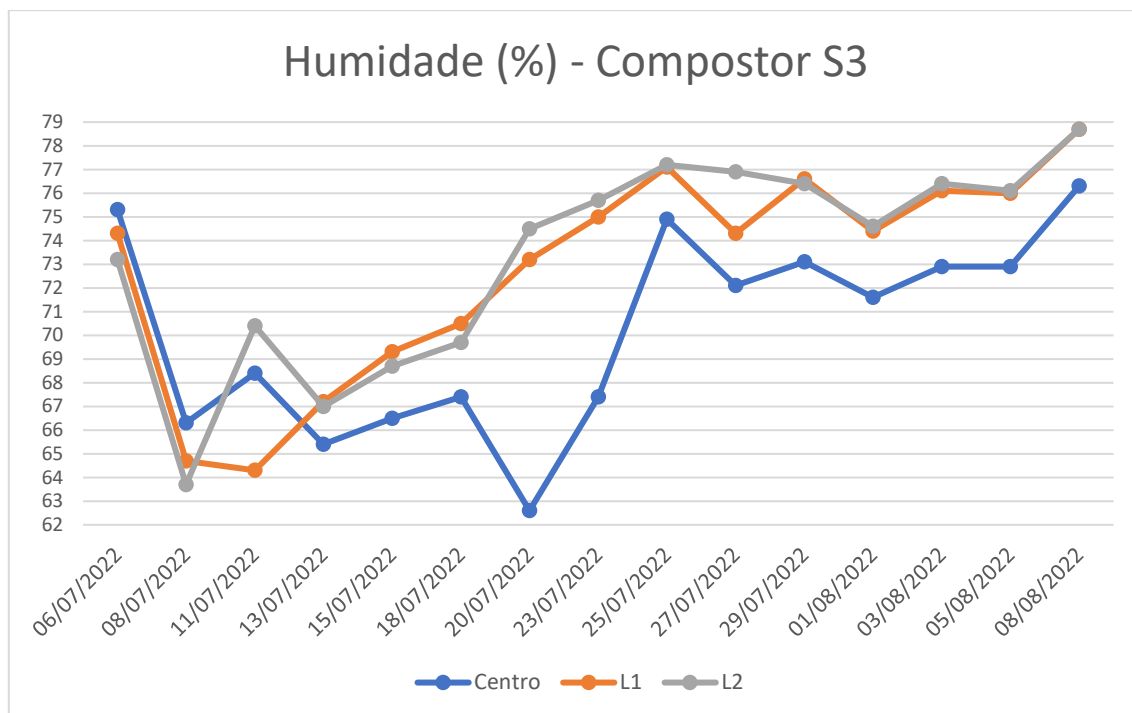


Gráfico 23: Humidade - Compostor de tratamento no solo S3.

Características qualitativas

A elevada humidade foi verificada também de forma visual, através da presença de condensação e gotículas formadas nas tampas (Figura 57), e apresentou uma queda gradual, inversamente à intensidade das temperaturas registadas.

Mesmo com o fermentado enterrado no solo dos compostores os fungos estiveram presentes desde o início, verificado nas áreas mais húmidas do centro do compostor e nas gotículas acumuladas, condensadas nas tampas a partir da humidade e ao gotejar na superfície do solo (Figuras 57 e 58).



Figura 57: Registo em 08/07-humidade e fungos nos compostores de solo.

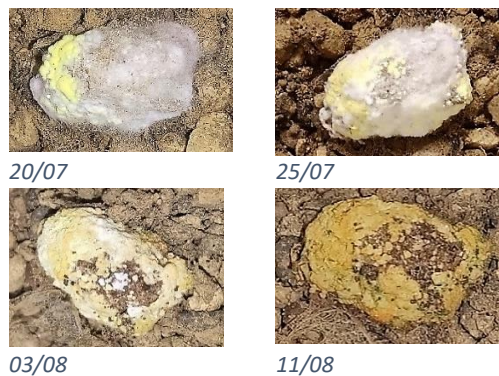


Figura 58: Desenvolvimento de fungo no compostor S3.

Foram verificadas germinações no interior dos compostores a partir de 03 de agosto, sementes presentes no próprio solo recolhido (Figura 59).



Figura 59: Registo de germinação nos dias 03 e 05 de agosto, no compostor.

Foi também identificada a presença de dípteros com acesso ao fermentado pelas perfurações feitas pela sondagem de temperatura e humidade (Figura 60). Ácaros também foram encontrados no mesmo dia que foi verificado nos compostores aeróbios (B1, B2 e B3) do tratamento com o fermentado (Figura 61) podendo haver alguma relação com a aplicação do farelo de *bokashi*.



Figura 60: Registo em 17/08 - Fungos, e dípteros no solo. Furo da sonda em destaque.



Figura 61: Registo em 11/08 - Ácaros se alimentando de um díptero.

O encerramento do tratamento do fermentado de *bokashi* no solo ocorreu no dia 17 de agosto e no interior da matéria orgânica, envolta pelo solo, havia a presença de muitas larvas mortas de mosca soldado, em estágio de pupa (Figura 62).



Figura 62: Registo em 17/08 – Recolha das amostras de solo com interior orgânico e presença de larvas de mosca soldado.

5.4 Produção de lixiviado

O lixiviado produzido nos compostores aeróbios (C1, C2, C3, B1, B2 e B3) e anaeróbios (1, 2 e 3) durante a compostagem poderão ter qualidade para serem utilizados como matérias fertilizantes líquidas, depois de realizadas as diluições necessárias para se obter soluções equilibradas em nutrientes. Neste sentido, considerou-se importante fazer o registo dos volumes de lixiviados produzidos, determinação da C.E. e do pH.

Observou-se que a produção do lixiviado foi intensa durante o início das compostagens. Na primeira semana do grupo de controlo, a produção média nos compostores aumentou de 500 ml para 700 ml e posteriormente sofreu uma queda durante as quatro semanas seguintes, voltando a aumentar no fim da monitorização (Gráfico 24).

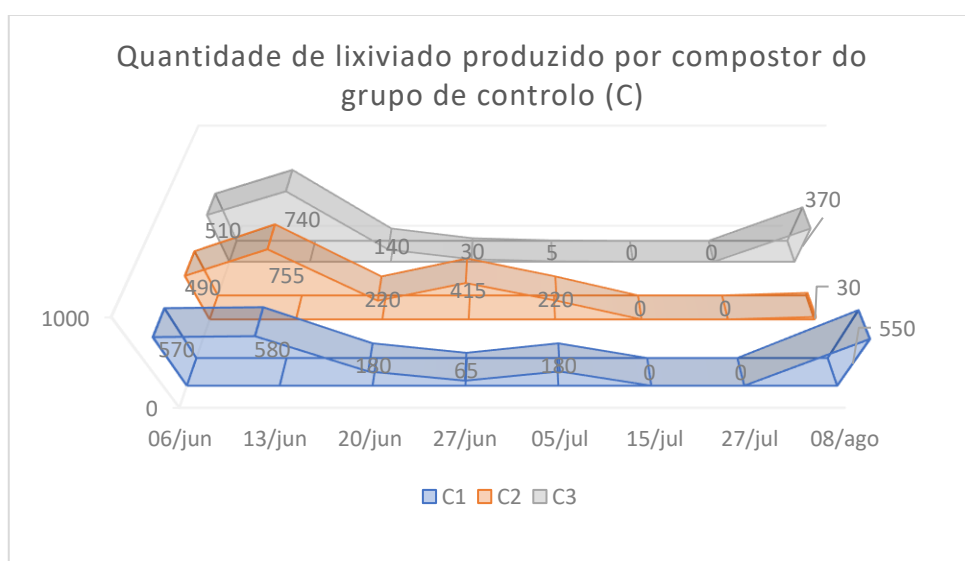


Gráfico 24: Volume (ml) de lixiviado recolhido - grupo de controlo (C1, C2 e C3).

A biomassa em fermentação (1, 2 e 3) inicia a primeira semana com produção de lixiviado acima de 500 ml e decresce o volume até uma média de 170 ml por compostor, na última recolha. No período de fermentação foi gerado um total médio de 1,6 L, sem grande variação entre os compostores (maior: 1,6 L e menor: 1,5 L) (Gráfico 25).

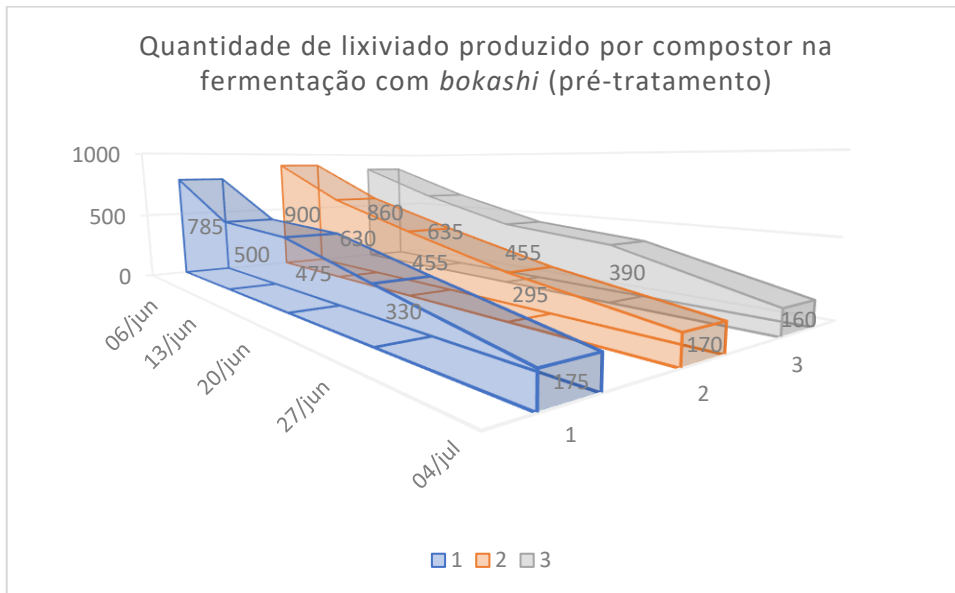


Gráfico 25: Volume (ml) de lixiviado recolhido - compostor anaeróbio: pré-tratamento com bokashi (1, 2 e 3).

A drenagem realizada no pré-tratamento acarretou uma biomassa mais desidratada. O lixiviado é recolhido 10 dias após o início da compostagem aeróbia, com o menor volume produzido pelo compostor B1 de 210 ml, seguido por 425 ml no B2 e 280 ml no B3 (Gráfico 26).

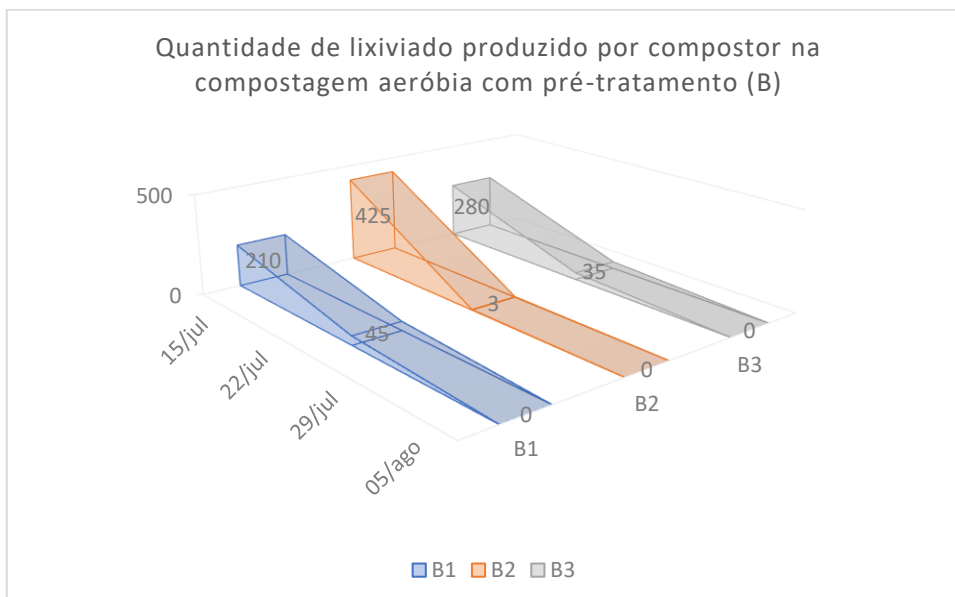


Gráfico 26: Volume (ml) de lixiviado recolhido - compostor aeróbio com pré-tratamento bokashi (B1, B2 e B3).

Diferenças na coloração do lixiviado da fase de fermentação e da compostagem aeróbia são perceptíveis, mudando de uma tonalidade amarelada, muitas vezes apresentada com uma película esbranquiçada com característica oleosa e uma tonalidade de um castanho escuro, enegrecido e viscoso como o alcatrão (Figura 63).

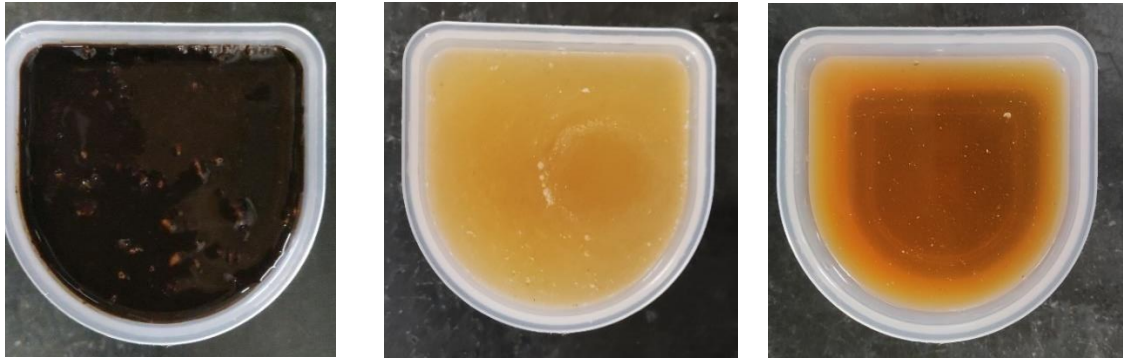


Figura 63: Registo em 27/06 - Coloração do lixiviado dos compostores C2, B2 e B3.

As recolhas do lixiviado proporcionaram acompanhar os dados de pH e C.E. do fermentado e do composto (Figuras 64 e 65). As lacunas nas leituras dão-se pelo fato de não haver material de recolha suficiente para leitura, sendo acompanhado nas leituras seguintes.



Figura 64: Registo em 05/06 - Recolha lixiviado do fermentado.



Figura 65: Registo em 20/07 - Recolha e leitura do lixiviado do compostor aeróbio.

Nas leituras em laboratório, o lixiviado da compostagem aeróbia apresentam valores de pH alcalinos enquanto os recolhidos nos compostores anaeróbios são caracterizados pela acidez típica da fermentação, com pH em torno de 4 (Gráficos 27 e 28). Os compostores do grupo de controlo tiveram maiores variações e finalizaram com valores de pH entre 8,29 e 9,43, assim como os valores finais dos compostores que passaram pela fermentação, variando entre 8,14 e 8,98 nos compostores aeróbios (B1, B2 e B3).

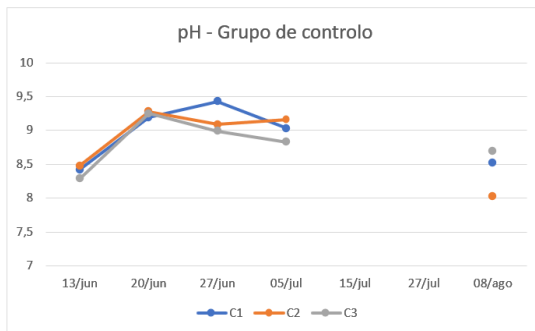


Gráfico 27: Medida de pH do lixiviado - grupo de controlo.

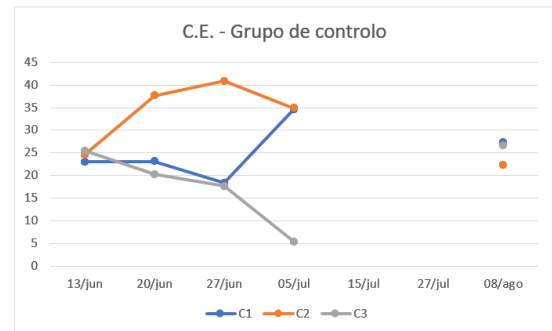


Gráfico 28: Medida de C.E. (mS/cm) do lixiviado - grupo de controlo.

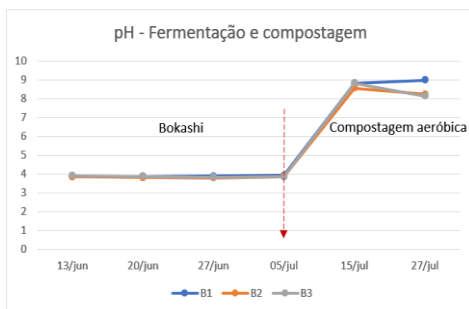


Gráfico 29: Medida de pH do lixiviado - Compostagem anaeróbia seguida pela aeróbia.

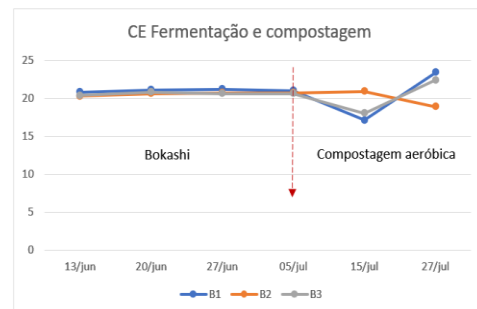


Gráfico 30: Medida de C.E. (mS/cm) do lixiviado - Compostagem anaeróbia seguida pela aeróbia.

A C.E. na fase de fermentação manteve-se próximo dos 21 ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), sem variações, já as medidas verificadas tanto no grupo de controlo, quanto as que passaram pela fermentação, tiveram valores variados. O grupo de controlo aumentou, em média, 1 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, enquanto o lixiviado dos compostores que passaram por fermentação tiveram um aumento médio de 0,8 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ da entrada à saída da compostagem (Gráficos 29 e 30).

O Manual de Fertilização das culturas do INIAV [32] faz a interpretação dos resultados analíticos com base nas classes de fertilidade indicadas nos Quadros 7 a 9 ao se tratar de solos ou de substratos.

Quadro 7: Classificação dos teores de alguns parâmetros em solos (método de extração com água, na proporção solo: água = 1:5 p/v)

Parâmetros	Classes de fertilidade (mg kg ⁻¹)				
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Azoto mineral (Nmin)	≤ 5	6 - 29	30 - 50	51 - 75	> 75
Fósforo (P ₂ O ₅)	≤ 10	11 - 20	21 - 30	31 - 60	> 60
Potássio (K ₂ O)	≤ 20	21 - 59	60 - 120	121 - 150	> 150
Cálcio (CaO)	≤ 50	51 - 75	76 - 250	251 - 300	> 300
Magnésio (Mg)	≤ 10	11 - 20	21 - 30	31 - 50	> 50
Sódio (Na)	Ótimo	Médio	Alto	Muito alto	
	≤ 50	51 - 100	101 - 150	> 150	

Adaptado de Ryser et al. (1995)

Quadro 8: Classificação dos teores de alguns parâmetros em substratos (método de extração com água, na proporção substrato: água = 1:1,5 v/v).

Parâmetros	Classes de fertilidade (mg/l de extracto)				
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Azoto mineral (Nmin)	≤ 30	31 - 50	51 - 150	151 - 200	> 200
Fósforo (P ₂ O ₅)	≤ 30	31 - 80	81 - 200	201 - 300	> 300
Potássio (K ₂ O)	≤ 50	51 - 100	101 - 200	201 - 500	> 500
Magnésio (Mg)	≤ 20	21 - 30	31 - 80	80 - 150	> 150
Sódio (Na)	Ótimo	Médio	Alto	Muito alto	
	≤ 50	51 - 100	101 - 150	> 150	

Adaptado de Bildung (1979)

Quadro 9: Classes de salinidade do solo e de substratos.

Classificação	Condutividade elétrica (mS/cm a 25°C)	
	No solo (1:5 p/v)	No substrato (1:1,5 v/v)
Salinidade desprezável	≤ 0,50	≤ 0,50
Salinidade muito fraca	0,51 - 1,00	0,51 - 1,00
Salinidade fraca	1,10 - 1,50	1,10 - 1,50
Salinidade moderada	1,51 - 2,50	1,51 - 2,50
Salinidade alta	2,51 - 5,00	2,51 - 3,00
Salinidade muito alta	> 5,00	> 3,00

Adaptado de: Ryser et al. (1995); Bildung (1979)

A C.E. encontrada em todas as amostras do lixiviado estão muito acima do grau “salinidade muito alta,” do Manual de Fertilização das Culturas do INIAV [32], tanto para solo quanto para substrato. Mas só temos a classificação da C.E. para amostras de solo e de substrato. Não podemos comparar os resultados dos lixiviados com resultados de solo ou substratos, contudo, faz-se necessário realizar a diluição mínima de 1/10 caso seja utilizado na nutrição de plantas mesmo em culturas que sejam mais resistentes à salinidade. A recomendação do fabricante do composto Skaza para a utilização do lixiviado do *bokashi* é fazer-se uma diluição de 1/100 antes da aplicação no solo ou em substratos.

No entanto, as amostras submetidas a partir do extrato do composto seco, indicaram valores menores, variações entre 9,2 e 11 mS.cm⁻¹ de C.E., com pH entre 7,2 e 7,5 (grupo de controlo, Tabela 3) e C.E. de 7,3 a 10,1 mS.cm⁻¹, com pH de 7,4 a 7,5

(grupo de pré-tratamento – fermentação com *bokashi*, Tabela 4), ainda acima do máximo aceitável. O composto que passou pelo pré-tratamento com o *Bokashi* apresentou uma C.E. média menor do que a do grupo de controle, com uma diferença de 1,9 mS.cm⁻¹ entre os menores valores dos grupos (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3: Análise de humidade, C.E., pH, CO e MO das amostras do grupo de controlo.

Ref.	Humidade (%, m.s.)	C.E. (mS. cm-1; 1/5,v/v)	pH (H ₂ O) (1/5, v/v)	CO (590°C) (%)	MO (%)
C1 30°C*	64,48	9,5	7,2	42,61	79,76
C1R 60°C*	71,66	10,1	7,2	40,49	79,74
C2 30°C*	74,87	11,0	7,3	38,72	65,10
C2R 60°C*	64,71	9,8	7,3	42,29	79,14
C3R 30°C*	72,90	9,7	7,4	42,64	80,51

* secagem da amostra em estufa a 30°C ou 60°C e as referências com "R" indicam outras réplicas.

Tabela 4: Análise de humidade, C.E., pH, CO e MO das amostras do grupo de pré-tratamento com bokashi.

Ref.	Humidade (%, m.s.)	C.E. (mS. cm-1; 1/5,v/v)	pH (H ₂ O) (1/5, v/v)	CO (590°C) (%)	MO (%)
B1 30°C*	75,26	10,1	7,4	40,73	78,97
B1R 60°C*	73,53	9,5	7,4	41,55	79,68
B2 30°C*	72,45	7,6	7,4	44,68	82,84
B2R 60°C*	71,81	7,3	7,4	44,56	83,59
B3 30°C*	71,81	7,8	7,4	43,07	81,29
B3R 60°C*	70,61	7,7	7,5	42,06	81,59

* secagem da amostra em estufa a 30°C ou 60°C e as referências com "R" indicam outras réplicas.

Nas amostras do extrato obtido do grupo da matéria orgânica com o tratamento no solo seco, o pH seguiu os valores do solo original utilizado, de 8,1 com uma média mais alcalina que a das amostras do extrato do composto (Tabela 5).

A mistura com o solo possibilitou uma C.E. com uma média de 1,5 e valores entre 1,26 e 1,74 (Tabela 5), classificados como "salinidade fraca a moderada" para o solo (Quadro 9).

Tabela 5: Análise de humidade, C.E., pH, CO e MO das amostras do grupo de tratamento no solo.

Ref.	C.E. (mS. cm-1; 1/5,v/v)	pH (H ₂ O) (1/5, v/v)	CO (590°C) (%)	MO (%)
Solo original	0,94	8,6	0,99	1,70
S1 30°C*	1,64	8,1	1,51	2,60
S1R 30°C*	1,74	8,2	1,94	3,34
S1R' 60°C*	1,36	8,3	1,88	3,25
S1R'' 60°C*	1,44	8,2	1,64	2,83
S2 30°C*	1,40	8,2	2,30	3,96
S2R 30°C*	1,57	8,2	2,10	3,63
S2R' 60°C*	1,26	8,1	2,64	4,55
S2R'' 60°C*	1,29	8,1	3,18	5,47

S3 30°C*	1,55	8,0	2,59	4,46
S3R 30°C*	1,74	8,1	2,50	4,30
S3R' 60°C*	1,61	8,2	2,57	4,43
S3R'' 60°C*	1,51	8,2	2,50	4,30

* secagem da amostra em estufa a 30°C ou 60°C e as referências com "R" indicam outras réplicas.

6. Ensaio de fitotoxicidade

A Portaria n.º 185/2022 de 21 de julho, que aprova os tipos de matérias fertilizantes não harmonizadas, define o tipo de matérias-primas que podem ser utilizadas na sua produção e estabelece os respetivos requisitos de colocação no mercado, em seu Anexo V - Métodos de amostragem e de análise (a que se refere o artigo 11.º), quadro n.º 1, indica como método de referência do grupo 5 (corretivo composto), para o ensaio de fitotoxicidade, as normas EN 16086 -1, EN 16086 -2, ISO 11269 -2, ISO 17126 e a metodologia proposta em Zucconi *et. al*, 1981 [34].

Os ensaios iniciaram-se no dia 16 de setembro a partir da preparação de placas com o extrato das amostras de composto orgânico (Figura 66), previamente secos em estufas a 30 °C e 60 °C e posteriormente deixadas a arrefecer a temperatura ambiente. As amostras foram diluídas nas seguintes proporções: sem haver diluição, a partir de uma diluição de 1/10 e 1/30, além da realização de ensaios de controlo apenas com a água destilada.



Figura 66: Registo em 15/10 – Preparação do extrato a partir do composto seco a 30 °C e 60 °C.

Após algumas tentativas, sem sucesso, com a semente do agrião de jardim (*Lepidium sativum*, L. – Figura 67), foi utilizada a semente de rabanete (*Raphanus sativus*, L. – Figura 68). As sementes foram selecionadas e distribuídas em número de dez unidade em papel de filtro para cada placa de *Petri* e levadas para estufa de germinação por três dias a 27 °C.



Figura 67: Registo em 23/09 – Preparação teste de fitotoxicidade com sementes de agrião.



Figura 68: Registo em 15/10 - Placa com as diferentes concentrações do extrato e sementes de rabanete.

Para cada tratamento, foi calculada a percentagem de germinação através da média de germinação, por tratamento, pela média da germinação de controlo, em água destilada. O índice de germinação é dado pela percentagem de germinação, dividida pela percentagem média do comprimento da radícula para cada tipo de amostra utilizada (Figura 69).



Figura 69: Registo em 18/10 - Placa com sementes germinadas e forma de medida da radícula (Paquímetro – Electronic Digital Caliper: inch/mm.)

1. Para cada tratamento, calcula-se a percentagem de germinação de acordo com a equação:

$$\%G = (Gt/Gc) \cdot 100$$

%G = percentagem de germinação

Gt = média de germinação por tratamento

Gc = média de germinação por controle em água destilada

2. Calcula-se a percentagem de comprimento de radícula para cada tratamento através da equação:

$$\%L = (Lt/Lc) \cdot 100$$

%L = percentagem de comprimento de radícula

Lt = média do comprimento da radícula por tratamento

Lc = média do comprimento da radícula por controle em água destilada

3. Para cada tratamento, calcula-se o índice de germinação (IG) e compara-se com a classificação do Quadro 10, de avaliação do índice de germinação:

$$IG = (\%G \cdot \%L) / 10000$$

Quadro 10: Índice de germinação.

Índice de germinação	Avaliação
1.0-0.8	Sem inibição do crescimento da planta*
0.8-0.6	Inibição leve
0.6-0.4	Forte inibição
<0.4	Inibição severa

** É possível que o índice de germinação seja maior do que um, são os casos em que o extrato melhora a capacidade de germinação e/ou de crescimento da radícula. Adaptado de Trautmann e Krasny, 1997.*

Os resultados (Quadro 11) apontaram, no geral, para uma leve inibição no filtrado mais concentrado, sem inibição do crescimento da planta na concentração a 10% e, na concentração a 30%, houve uma melhoria na germinação da semente e no crescimento da radícula (Figura 70). Entretanto, ao se analisar pelas diferenças entre as amostras secas a 30 °C e as secas a 60 °C na percentagem de comprimento de radícula (%L) e no índice de germinação (IG), observa-se que as secas a 30 °C, tiveram em sua maioria, inibição leve ou sem inibição, já a 60 °C houve dois casos com forte inibição no IG. A percentagem de comprimento da radícula (%L) foi favorecida nos 3 casos das amostras secas a 30 °C.

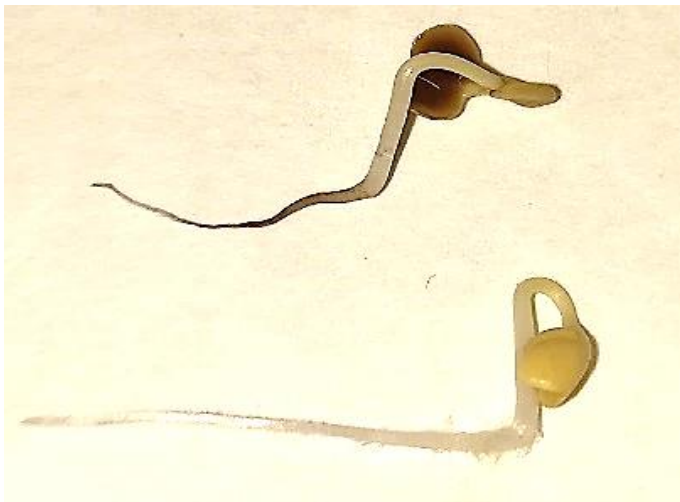


Figura 70: Registro em 18/10 – Raiz danificada pelo extrato concentrado (acima) e zona pelúcida da radícula sem danos aparentes (abaixo).

Quadro 11: Avaliação %G, %L e IG das amostras dos tratamentos.

Tratamento	Nº Amostra	%G	%L	IG	Avaliação	Média IG	Avaliação
Filtrado (Sem diluição)							
C 30 °C*	02299	94,6	77,1	0,73	Inibição leve	0,658	Inibição leve
C 60 °C*	02302	94,6	54,1	0,51	Forte inibição		
B 30 °C*	02305	94,6	87,8	0,83	Sem inibição do crescimento da planta		
B 60 °C*	02308	94,6	59,3	0,56	Forte inibição		
Filtrado (10%)							
C 30 °C*	02299	89,2	105,0	0,94	Sem inibição do crescimento da planta	0,999	Sem inibição do crescimento da planta
C 30 °C*	02300	89,2	66,9	0,60	Inibição leve		
C 30 °C*	02301	89,2	126,1	1,12	Sem inibição do crescimento da planta		
C 60 °C*	02302	89,2	74,1	0,66	Inibição leve		
C 60 °C*	02303	89,2	86,6	0,77	Inibição leve		
C 60 °C*	02304	89,2	185,2	1,65	Sem inibição do crescimento da planta		
B 30 °C*	02305	89,19	93,92	0,84	Sem inibição do crescimento da planta		
B 30 °C*	02306	89,19	133,48	1,19	Sem inibição do crescimento da planta		
B 30 °C*	02307	89,19	190,09	1,70	Sem inibição do crescimento da planta		
B 60 °C*	02308	89,19	108,65	0,97	Sem inibição do crescimento da planta		
B 60 °C*	02309	89,19	88,59	0,79	Inibição leve		
B 60 °C*	02310	89,19	85,53	0,76	Inibição leve		
Filtrado (30%)							
C 30 °C*	02299	94,59	141,99	1,34	Sem inibição do crescimento da planta	1,193	Sem inibição do crescimento da planta
C 60 °C*	02302	94,59	100,74	0,95	Sem inibição do crescimento da planta		
B 30 °C*	02305	94,59	141,20	1,34	Sem inibição do crescimento da planta		
B 60 °C*	02308	94,59	120,76	1,14	Sem inibição do crescimento da planta		

* secagem da amostra em estufa a 30°C e 60°C.

O composto considera-se maturado, ou seja, não tóxico para as plantas se o índice de germinação for superior a 60% para a diluição a 30% de extrato do composto [35]. Ainda, outras avaliações referidas ao índice de germinação se encontram no Quadro 12 - Classificações possíveis dos níveis de fitotoxicidade, no Anexo.

7. Resultados

Os registos dos volumes e peso dos biorresíduos gerados em 1027 refeições na cantina da ESAC durante a semana de recolha diferenciada dos biorresíduos, são apresentados na Tabela 1 do Anexo. Da produção de 4 L ou 200 g de resíduos por refeição, 25% do peso são dos biorresíduos gerados na preparação, que correspondem

a 1,6 vezes o volume dos resíduos pós-consumo. São os resíduos pós-consumo que contribuem mais para o peso entre os resíduos alimentares.

Os biorresíduos utilizados neste estudo estão enquadrados no código 20 - Resíduos urbanos e equiparados (resíduos domésticos, do comércio, da indústria e dos serviços), incluindo as frações recolhidas seletivamente - Conforme Anexo IV (Resíduos que podem ser utilizados para a produção dos tipos de matérias fertilizantes dos grupos 2, 3 e 5) da Portaria n.º 185/2022 de 21 de julho, a qual aprova os tipos de matérias fertilizantes não harmonizadas, define o tipo de matérias-primas que podem ser utilizadas na sua produção e estabelece os respetivos requisitos de colocação no mercado.

Neste caso, os tipos de matérias fertilizantes não harmonizadas equivalentes são as do grupo 2 — Adubos orgânicos, grupo 3 — Adubos organominerais ou grupo 5 — Corretivos orgânicos. As indicações relativas ao processo de obtenção e aos componentes essenciais previstos, apontam para o **corretivo composto do grupo 5**, um produto obtido mediante processo controlado de transformação e estabilização de resíduos orgânicos, entre eles os resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas (código LER 200108) e os resíduos de jardins e parques (código LER 200201).

A Portaria 185/2022 ainda indica os teores mínimos de elementos e/ou substâncias úteis que devem estar presentes, dentro dos requisitos de corretivo composto, seguidos de acordo com o Anexo II da portaria. Dentre os requisitos apresentados, foram determinados: Matéria orgânica (teor mínimo de 30 %), Humidade (teor máximo de 40%), pH (entre 5,5 e 9,0) e Fitotoxicidade. Também foram determinados a salinidade e o teor em sódio, os teores de macro e micronutrientes e o teor em metais pesados, condição obrigatória para se definir em que tipos de produção vegetal poderá ser aplicado o composto.

Este procedimento de compostagem monitorizado é considerado para uso doméstico, e a utilização da fração orgânica dos RU são, neste caso, equiparados aos gerados na cantina. Os teores de micro e macronutrientes, metais pesados e sais irão variar no composto final produzido por diversos fatores, dentre eles os hábitos alimentares, teor de sal usado na culinária e quantidade de água, óleos e gorduras.

As amostras recolhidas após os tratamentos propostos passaram pelas etapas referidas na Figura 22 e os parâmetros analisados nas amostras recolhidas e

metodologia utilizada para a caracterização dos solos utilizados no ensaio e das amostras de solo e corretivo após conclusão do ensaio, bem como a referência bibliográfica estão referidas nos Quadros 13 e 14 do Anexo.

Os valores iniciais das amostras de biorresíduos (Tabela 2), antes de serem encaminhadas para os compostores, indicou para os resíduos (verdes e castanhos) uma relação entre carbono e azoto (C/N) de 13,64 e decréscimo de 7% da média de carbono orgânico (CO) nas amostras finais. A relação C/N das amostras finais não puderam ser determinadas pelo fato de o digestor do laboratório de solos encontrar-se em manutenção.

Mesmo utilizando-se a proporção de 3 volumes de resíduos castanhos para 1 de resíduos verdes, não se obteve a condição ideal de relação C/N entre 20/1 e 30/1. Uma relação C/N baixa causa acúmulo de amónia e um aumento nos valores de pH superiores a 8,5, o que é tóxico para as bactérias metanogénicas *Archaea* [36].

Segundo a Portaria n.º 185/2022, os corretivos orgânicos (grupo 5) são matérias fertilizantes que não podem ultrapassar os valores máximos admissíveis para os teores em metais pesados correspondentes às classes I, II, IIA ou III, de acordo com o Quadro 15.

Quadro 15: Valores máximos admissíveis para os teores totais de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe (mg por kg de matéria seca).

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (Cd).....	0,7	1,5	3	5,0
Chumbo (Pb).....	100	150	300	500
Cobre (Cu).....	100	200	400	600
Crómio (Cr).....	100	150	300	400
Mercúrio (Hg).....	0,7	1,5	3	5,0
Níquel (Ni).....	50	100	200	200
Zinco (Zn).....	200	500	1 000	1 500

Nota. — Os teores «totais» correspondem à fração solúvel em água-régia.

Fonte: Portaria n.º 185/2022.

Esta classificação é feita de acordo com as possíveis utilizações da matéria fertilizante para a produção: classe I e II – agricultura biológica e agricultura convencional, classe IIA – culturas arbóreas e arbustivas (pomares, olivais e vinha), classe III – solos em que não seja produzida alimentação humana e animal.

As amostras de composto (corretivo orgânico), tanto do grupo de controlo quanto do grupo com pré-tratamento apresentam valores que os poderia enquadrar na

classe I (Quadro 15), com alguma reserva para o cádmio (Cd) que se sabe apresentar teores inferiores a $3,10 \text{ mg kg}^{-1}$, mas estando fora do intervalo quantificável, não se poderá afirmar que os teores são inferiores a 3,0 (classe IIA), a 1,5 (classe II) ou a 0,7 (classe I). Ou seja, a confirmar-se, na pior circunstância, o composto seria classificado como sendo da classe IIA, isso permitiria a sua utilização em culturas agrícolas arbóreas e arbustivas, nomeadamente pomares, olivais e vinhas, além do uso em espécies silvícolas.

Relativamente à análise do metal pesado crómio (Cr), os resultados não ofereceram confiança porque o Espectrômetro de Absorção Atômica demonstrou funcionamento anómalo, desligando-se quando se realizava leituras com uma chama redutora (3,14 l/min de acetileno), não tendo sido possível obter absorvências corretas. Foram tentadas diluições com lantânio para as leituras serem mais estáveis, mas também sem resultados conclusivos, indicando dever-se a quantidades irrisórias para a leitura.

Quanto aos teores em macro e micronutrientes (a exceção dos metais pesados), ambos os compostos apresentam teores consideráveis a muito elevados, apresentando também valores de C.E. acima de 4 dS/m, o que lhes confere caráter salino, exigindo algum cuidado na sua aplicação tais como um bom fracionamento das aplicações ou alguma pré-diluição dos sais, antes da aplicação. Os reais efeitos sobre as culturas mais sensíveis aos sais exigiriam testes através de ensaios de eficácia em vasos, nos quais o composto é aplicado ao solo em diferentes concentrações, fazendo-se crescer uma cultura de referência, de crescimento rápido.

Relativamente ao teor em fósforo (P) observa-se que os teores são ligeiramente mais baixos no composto com pré-tratamento (B1, B2 e B3 – Tabela 6), mas os demais nutrientes apresentam teores muito semelhantes, destacando-se as elevadas concentrações de Mn nos compostos do tratamento de controlo (C1, C2 e C3 – Tabela 7). Os teores de sódio (Na) são todos muito abaixo de 15%, não se adivinhando risco de os solos tornarem-se sódicos pela aplicação destas matérias fertilizantes.

Os resultados (Quadro 11) apontaram, no geral, para uma leve inibição no filtrado mais concentrado, sem inibição do crescimento da planta na concentração a 10% e, na concentração a 30%, houve uma melhoria na germinação da semente e no crescimento da radícula (Figura 70). Entretanto, ao se analisar pelas diferenças entre as

amostras secas a 30 °C e as secas a 60 °C na percentagem de comprimento de radícula (%L) e no índice de germinação (IG), observa-se que as secas a 30 °C, tiveram em sua maioria, inibição leve ou sem inibição, já a 60 °C houve dois casos com forte inibição no IG. A percentagem de comprimento da radícula (%L) foi favorecida nos 3 casos das amostras secas a 30 °C.

Tabela 6: Teores de macro e micro nutrientes e metais pesados do composto produzido nos compostores aeróbios do grupo de controlo (C1, C2 e C3).

Amostra *secagem em estufa a 30°C ou 60°C, as ("R") indicam outras réplicas.	Totais (água régia)												Combustão e EAA (LECO®, 2002)	
	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Pb	Cd		Hg
	(%)					(mg.kg-1)								
C1 30°C	0,72	6,15	13,33	0,36	1,49	27,20	80,50	1549	1438	28	<46,9	<3,10	0,07	
C1R 30°C	0,73	5,73	13,37	0,37	1,51	25,60	81,50	1429	1448	19	<46,9	<3,10		
C1R 60°C	0,71	5,54	13,67	0,35	1,36	23,50	77,30	1582	140	28	<46,9	<3,10	0,06	
C1R 60°C	0,73	5,21	13,94	0,36	1,41	23,50	87,20	1478	138	20	<46,9	<3,10		
C2 30°C	0,84	4,65	4,29	0,33	1,55	22,00	84,80	1384	1352	28	<46,9	<3,10	0,06	
C2R 30°C	0,80	5,31	4,48	0,35	1,61	20,90	82,30	1470	1478	31	<46,9	<3,10		
C2R 60°C	0,73	4,64	4,99	0,31	1,52	25,20	76,10	1273	149	19	<46,9	<3,10	0,06	
C2R 60°C	0,70	4,38	4,98	0,33	2,24	23,50	77,90	1225	144	20	<46,9	<3,10		
C3 30°C	0,73	4,62	5,50	0,33	1,39	25,70	85,50	1154	168	28	<46,9	<3,10	0,07	
C3R 30°C	0,77	4,32	5,86	0,32	1,56	24,20	84,90	1217	170	25	<46,9	<3,10		
C3R 60°C	0,69	4,12	5,42	0,33	1,39	21,80	76,80	988	159	14	<46,9	<3,10	0,07	
C3R 60°C	0,73	4,75	5,61	0,34	1,49	22,50	78,00	981	162	15	<46,9	<3,10		

Tabela 7: Teores de macro e micronutrientes e metais pesados do composto produzido nos compostores aeróbios do grupo com pré-tratamento (B1, B2 e B3).

Amostra *secagem em estufa a 30°C ou 60°C, as ("R") indicam outras réplicas.	Totais (água régia)												Combustão e EAA (LECO®, 2002)	
	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Pb	Cd		Hg
	(%)					(mg. kg-1)								
B1 30°C	0,68	5,47	5,29	0,32	1,01	25,50	83,70	1596	150	30	<46,9	<3,10	0,06	
B1 30°C	0,69	5,63	4,99	0,30	1,10	26,40	79,50	1621	159	33	<46,9	<3,10		
B1R 60°C	0,68	5,64	4,44	0,29	1,06	25,50	77,40	1950	141	32	<46,9	<3,10	0,05	
B1R 60°C	0,64	4,29	4,66	0,29	1,04	26,70	77,40	1906	147	31	<46,9	<3,10		
B2 30°C	0,62	4,30	6,19	0,28	0,91	22,10	76,20	1122	216	29	<46,9	<3,10	0,06	
B2 30°C	0,64	4,03	6,20	0,28	0,84	22,00	79,00	1090	215	33	<46,9	<3,10		
B2R 60°C	0,63	4,07	6,05	0,27	0,86	22,70	82,90	1245	199	21	<46,9	<3,10	0,06	
B2R 60°C	0,65	4,12	6,01	0,27	1,00	22,80	81,50	1188	205	20	<46,9	<3,10		
B3 30°C	0,68	3,89	6,91	0,28	0,89	24,30	76,80	1296	197	35	<46,9	<3,10	0,06	
B3 30°C	0,67	4,42	6,97	0,30	0,90	24,00	77,80	1199	208	32	<46,9	<3,10		
B3R 60°C	0,70	4,13	6,53	0,28	0,91	24,50	78,50	1204	201	23	<46,9	<3,10	0,06	
B3R 60°C	0,71	4,17	6,90	0,26	0,86	24,60	79,60	1197	196	25	<46,9	<3,10		

De acordo com a Tabela 8, os teores de metais pesados das amostras do tratamento no solo permitem a classificação da classe I para todos os parâmetros, contudo estas amostras não são de matéria fertilizante, já que há nesta mistura uma pequena quantidade de matéria orgânica (3 partes de solo para 1 parte de matéria orgânica). Ou seja, os resultados da Tabela 8 fornecem a informação das alterações do solo original após a incorporação da matéria fertilizante resultante do pré-tratamento dos biorresíduos com o *bokashi*. Observa-se que os teores de P₂O₅ são todos muito elevados, em média 387 mg.kg⁻¹, e ainda superiores para os valores médios de K₂O, de 1.139 mg.kg⁻¹. Já os teores de sódio (Na) correspondem ao intervalo de solos “não salinos” (C.E. < 4 dS/m e Na < 15%, Quadro 16).

Quadro 16: Características químicas indicadoras de solos não salinos, salinos, salinos-sódicos e sódicos.

Solos	pH	CE (dS/m a 25 °C)	Na troca (%)
Não salinos	<8,5	<4	<15
Salinos	<8,5	>4	<15
Salino-sódicos	<8,5	>4	>15
Sódicos	>8,5	<4	>15

Fonte: INIAV, 2022.

Comparando-se com os teores do solo original, conclui-se que a adição dos biorresíduos transformados pelo *bokashi*, permitiram um aumento importante do teor em MO e dos macronutrientes. A condutividade elétrica aumentou ligeiramente para valores que não chegam a duplicar, mas o teor em Na aumentou muito significativamente. Quanto à sensibilidade das culturas, é classificado como sendo de “salinidade fraca a moderada” (Quadro 9) porque os valores da C.E. variaram entre 0,81 e 1,60 ds/m ou mS/cm (Tabela 5).

Tabela 8: Teores de macro e micronutrientes, bases e metais pesados do tratamento no solo (S1, S2 e S3).

Amostra *secagem em estufa a 30°C ou 60°C, as ("R") indicam outras réplicas.	Extraíveis (Egner Riehlm)		Cátions de troca (Acetato de amônio pH 7)				Micronutrientes extraíveis (Lakanen e Ervio)				Totais (água régia)							Combustão e EAA (LECO®, 2002)	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Cu	Zn	Fe	Mn	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Pb	Cd		Hg
	(mg.kg ⁻¹)		(cmol (+). kg ⁻¹)				(mg.kg ⁻¹)												
Soboriginal	34	186	21,05	4,80	0,44	0,14	2,84	7,76	127,40	352,50	22,93	109,25	17307	4197	40	76	<1	0,03	
S1 30°C	308	1272	22,10	5,60	1,82	3,27	2,94	10,44	187,40	663,00	19,87	104,42	16993	4353	38	76	<1	0,03	
S2 30°C	385	1272	21,80	5,60	2,13	3,40	3,08	11,75	162,00	663,00	21,60	108,25	17410	4227	39	82	<1	0,03	
S3 30°C	480	1286	23,05	6,24	2,63	4,13	3,28	12,07	158,90	694,00	26,33	113,42	17610	4560	35	81	<1	0,02	
S1R 30°C	431	1298	22,50	6,72	2,57	3,48	3,01	11,78	197,20	738,50	20,20	95,75	16763	4377	35	77	<1	0,03	
S2R 30°C	359	1138	19,15	5,44	2,68	8,26	3,31	12,49	163,20	676,50	22,17	101,25	17977	4450	33	81	<1	0,03	
S3R 30°C	455	1190	20,95	6,08	2,63	4,13	2,38	8,17	130,00	485,50	20,83	97,75	17197	4227	35	79	<1	0,03	
S1R 60°C	403	1138	19,75	5,92	2,24	3,18	3,22	11,80	191,60	778,00	21,47	106,25	17040	4603	35	79	<1	0,03	

S2R° 60°C	457	1244	1895	4,96	2,57	4,39	2,83	11,92	147,60	686,00	22,80	97,92	16990	4403	36	83	<1	0,03
S3R° 60°C	448	1204	2005	5,60	2,29	3,91	2,99	11,63	154,80	641,00	21,97	98,42	17373	4437	36	68	<1	0,03
S1R° 60°C	310	1068	2080	5,92	2,08	3,87	2,84	13,17	196,90	600,00	20,47	92,92	16883	4327	36	82	<1	0,03
S2R° 60°C	511	1366	1855	5,28	2,68	4,09	3,22	12,49	174,30	788,00	24,70	105,58	17870	4333	36	84	<1	0,03
S3R° 60°C	455	1148	1950	5,76	2,44	3,66	3,52	12,50	165,00	720,00	23,73	100,58	17130	4137	37	79	<1	0,04

É expectável que compostos caseiros derivados dos biorresíduos e resultantes da compostagem termofílica com ou sem pré-tratamento pelo *bokashi*, sejam apenas para uso individual em área dedicada ao cultivo e/ou para jardinagem. O uso do composto já é uma prática difundida entre os adeptos da compostagem residencial o que contribui para a descentralização do tratamento de parte do volume dos biorresíduos gerados por unidades habitacionais.

No entanto, a rica composição em nutrientes, os baixos teores em metais pesados, elevado teor em MO, pH neutro e ausência de fitotoxicidade, são bons indicadores para futuras valorizações dos biorresíduos quando for efetiva a recolha seletiva destes resíduos. Para tal, as matérias fertilizantes terão de ser submetidas a ensaios de eficácia agronómica para validar o seu desempenho enquanto matéria fertilizante aplicada em diferentes concentrações. No caso particular, a única preocupação quanto à qualidade do seu desempenho prende-se com a elevada C.E., a qual levaria a recomendações para uma fertilização segura.

O manuseio inadequado da compostagem também aponta para a ocorrência de odores pela falta do arejamento adequado, resultando em “compostos mal oxidados, com a produção de ácidos voláteis e metano (CH₄)” [37]. O odor e a atração de dípteros podem trazer prejuízos pela recusa da prática de compostagem após haver problemas em seu manuseio. O pré-tratamento de fermentação com *bokashi* é uma boa alternativa para ultrapassar este desconforto quando se faz a valorização doméstica dos biorresíduos, havendo sempre a possibilidade de após fermentação ser aplicado diretamente ao solo ou completar o processo de estabilização através da compostagem termofílica.

Os biorresíduos gerados nas habitações e unidades de preparo de alimentos poderão ter uma valorização direta na fonte geradora, caso os adeptos desta prática se difundam. Desta forma, a prática da compostagem na fonte geradora, possibilita o desvio destes biorresíduos dos aterros sanitários ou mesmo das Unidades de TMB dos Centros Integrados de Tratamento de RSU. Reduz gastos com o transporte e logística

associada, descentralizando o impacto gerado, das grandes centrais de tratamento, em diversos compostores nas cidades.

No estudo foi verificado a geração diária de resíduos por usuário da cantina, totalizando-se uma média de 200 g de biorresíduos, o equivalente a 4 litros, na principal refeição do dia, o almoço. Os dados oficiais referem o equivalente a 1,4 kg/dia de RSU gerado por cada habitante em 2020 (Gráfico 1). Cerca de 40% seriam equiparados aos biorresíduos passíveis de compostagem, ou seja, 560 g de resíduos alimentares, de jardim e similares.

O biorresíduo sendo tratado diretamente na fonte geradora pode promover a redução dos custos na recolha dos resíduos, mesmo que sistemas de recolha diferenciado dos biorresíduos sejam estruturados. Sistemas PAYT/SAYT/RAYT de recolha de biorresíduos podem ocupar-se com menores volumes, sendo utilizados em consonância com compostores individuais ou comunitários de pré-tratamento através da fermentação pelo *Bokashi*, visto que grande parte do volume se perde e a biomassa é direcionada para o tratamento, já inoculada de microrganismos e em processo adiantado de decomposição, o que facilitará a posterior compostagem aeróbia termofílica em grandes pilhas.

Outra vantagem é o aumento de disponibilidade de adubos orgânicos com uma elevada taxa de retorno em nutrientes e MO para o solo, os quais configuram uma solução de baixo custo, com elevado potencial agrícola para os utilizadores.

Na perspetiva da economia circular, a gestão ambientalmente adequada dos biorresíduos aponta para o caminho em garantir não só uma gestão mais eficiente e mais barata dos resíduos, mas também possibilitar a certificação das empresas na qualidade ambiental (ex. ISO 14.001) quando podem aplicar procedimentos de tratamento de resíduos na fonte geradora, aumentando o nível de sustentabilidade e conservação ambiental, melhorando o nível de competição no crescente mercado interno e internacional, comprometido em reduzir a pegada de carbono e com o conceito “lixo zero”.

8. Conclusões

A compostagem doméstica tem a vantagem de oferecer um tratamento descentralizado da fração dos biorresíduos dos RU, ambientalmente mais adequada e economicamente mais viável na valorização de resíduos gerados na alimentação humana.

Os custos na gestão dos resíduos sólidos são elevados. Verifica-se que em Coimbra, a rubrica de “recolha e tratamento de resíduos sólidos” teve um peso expressivo nos gastos do município, tendo representado em 2021 cerca de 14,21% dos gastos, um aumento de 11% do tarifário aplicado aos RU, em relação a 2020 [38].

A própria ERSUC promove não apenas práticas de compostagem doméstica, mas também a implantação de sistemas PAYT com modelo tarifário próprio, podendo ser aplicada uma redução de 30% na tarifa para aderentes da compostagem doméstica, “havendo ainda uma quota fixa para a recolha de verdes” [39].

O trabalho realizado permitiu concluir que a composição média dos desperdícios e resíduos alimentares, juntamente com os sobrantes da gestão de jardins urbanos, permite a produção de compostos orgânicos com composição equilibrada em nutrientes para a agricultura e/ou floresta, sendo que alguns destes com qualidade até mesmo para a agricultura biológica. No entanto, é necessária alguma atenção com as doses utilizadas e frequência de aplicações porque poderão levar ao aumento da salinidade dos solos.

As doses adequadas e frequências de aplicação indicadas às diferentes categorias de culturas agrícolas, níveis de produção e tipo de solos, deverá ser objeto de investigação futura através da realização dos ensaios de eficácia agronómica, os quais serão obrigatórios se houver a intenção de comercialização dos compostos produzidos através da valorização dos biorresíduos domésticos.

O pré-tratamento dos biorresíduos através da fermentação com o *bokashi* tem a vantagem de ser um processo higiénico e hermético, sem o incómodo da presença de moscas, de fácil manipulação e gestão para o usuário, reduzindo bastante o volume nos contentores municipais, enriquecendo o meio com microrganismos ativos na posterior compostagem termofílica, o que encurtará o tempo necessário à maturação da mesma até chegar a composto estável. A alternativa possível de aplicação direta no solo após a

fermentação também se reveste de grande interesse para quem tenha um quintal, jardim ou terrenos agrícolas a serem beneficiados.

A compostagem doméstica pode abranger centros comunitários específicos e locais de difícil acesso ao sistema de recolha e tratamento de resíduos. O composto pode ter um padrão mais homogêneo de qualidade e ser produzido em maior escala como o que ocorre nas unidades de TMB.

Conforme estudo publicado no portal Eco.NOMIA apenas 5% dos biorresíduos são reciclados e de acordo com o estudo, a UE poderia substituir até 30% dos adubos de síntese, cuja importação total é de cerca de 6 milhões de toneladas de fosfato por ano [40]. Mesmo quando os compostos produzidos não cumprem com os padrões adequados para a produção agrícola, podem ser utilizados na recuperação de solos contaminados e degradados, bem como na produção florestal.

Referências bibliográficas

- [1] Decreto-Lei n.º 102-D/2020. Diário da República n.º 239/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-1, República Portuguesa. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://dre.pt/dre/legislacao-consolidada/decreto-lei/2020-150908020-150910340>
- [2] Regulamento CE n.º 178/2002. 2002R0178 — PT — 25.03.2008 — 003.001, p. 1 – 42, Do Parlamento Europeu e do Conselho. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R0178:20080325:PT:PDF>
- [3] BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William - Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. 1ª edição. New York: North Point Press, 2002. ISBN: 0-86547-587-3.
- [4] LEONARD, Annie -The History of Stuff. Referenced and Annotated Script. 2020. Acedido em: 08 de julho de 2022, em: https://www.storyofstuff.org/wp-content/uploads/2020/01/StoryofStuff_AnnotatedScript.pdf
- [5] EU OVERSHOOT DAY - LIVING BEYOND NATURE’S LIMITS. WWF Report - EU. 10 de maio de 2019. Acedido em: 08 de julho de 2022, em: <https://www.footprintnetwork.org/content/uploads/2019/05/WWF-GFN-EU-Overshoot-Day-report.pdf>
- [6] Relatório Anual Resíduos Urbanos 2021. outubro 2022. (Versão 1.0). Agência Portuguesa do Ambiente - APA, República Portuguesa, julho de 2019. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/Producao_Gest%C3%A3o_Residuos/Dados%20RU/RARU_2021.pdf
- [7] Diretiva 2018/851. Jornal Oficial da União Europeia, L 150/109 de 14.06.2018, PT, Do Parlamento Europeu e do Conselho. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0851&from=PT>
- [8] Despacho n.º 294/2018, de 27 de dezembro de 2017, publicado no Diário da República, 2.ª série, de 5 de janeiro de 2018. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://dre.tretas.org/dre/3206188/despacho-294-2018-de-5-de-janeiro>
- [9] Comunicação da Comissão - Para uma estratégia temática de prevenção e reciclagem de resíduos /* COM/2003/0301 final */ EUR-Lex, 2010. D. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52003DC0301:PT:HTML>
- [10] Lei n.º 76/2017. Diário da República, 1.ª série, N.º 158 de 17 de agosto de 2017. Assembleia da República. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://dre.pt/application/file/a/108010935>
- [11] Decreto-Lei n.º 73/2015. Diário da República n.º 90/2015, Série I de 2015-05-11, páginas 2337 – 2412. Ministério da Economia. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/73-2015-67185041>
- [12] Portaria 187/2007, de 12 de fevereiro. Diário da República n.º 30/2007, Série I de 2007-02-12. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <https://dre.tretas.org/dre/206408/portaria-187-2007-de-12-de-fevereiro>

- [13] PERSU2020+ Reflexão Estratégica e Ajustamentos às Medidas do Persu 2020, Agência Portuguesa do Ambiente - APA, República Portuguesa, julho de 2019.
- [14] FARIA, M., Revista do Programa de Direito da União Europeia: “A política de resíduos sólidos na União Europeia e no Brasil: estudo comparativo e análise quanto à efetividade”, Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rpdue/article/viewFile/68142/65772>
- [15] BESSA, Vera, ROCHA, Ada, MONTEIRO, A., Rocha A - Proposta de critérios para avaliação qualitativa de ementas. Revista de Alimentação Humana. ISSN: 0873-4364. Vol. 15 Nº 3. (2009). Sociedade Portuguesa de Ciências da nutrição e Alimentação.
- [16] GREGÓRIO, Maria et. al. Programa Nacional para a Promoção da Alimentação Saudável 2020. Lisboa: Direção-Geral da Saúde, 2020. ISBN: 978-972-675-313-1
- [17] World Health Organization. Diet, Nutrition and Prevention of Chronic Diseases. Geneva, 2003.
- [18] A nova roda dos alimentos...um guia para a escolha alimentar diária! Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto-FCNAUP; Instituto do Consumidor, Presidência do Conselho de Ministros. Programa Operacional de Saúde - Saúde XXI. Acedido em: 08 de maio de 2022, em: <rhttps://alimentacaosaudavel.dgs.pt/activeapp2020/wp-content/uploads/2020/01/a-ax433o.pdf>
- [19] Compostar Outra Força de Reciclar - Guia prático Compostagem. ERSUC. Acedido em 03 de fevereiro de 2022, em: <https://ersuc.pt/media/sdeb5a1n/guia-compostagem-ersuc.pdf>
- [20] Guia de Classificação de Resíduos. Versão 2.0. 01/2020. Agência Portuguesa do Ambiente-APA. Acedido em: 02 de fevereiro de 2022, em: https://apambiente.pt/sites/default/files/2021-06/Guia%20de%20Classifica%C3%A7%C3%A3o_vers%C3%A3o%202.0_20200107.pdf
- [21] TRAQUEIA, Ana et. al. - Reflexões em torno de Metodologias de Investigação: métodos. ISBN: 978-972-789-676-9. (Vol. 1). 1ª edição - março 2021 DOI: <https://doi.org/10.34624/hmtj-qg49>. UA Editora. Universidade de Aveiro.
- [22] ZETTI, Elisabeth et. al. -Waste classification, sampling and analysis. May 2015. Federal Environment Agency (Umweltbundesamt, UBA), Germany. Acedido em 03 de março de 2022, em: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/waste-classification-sampling-analysis>.
- [23] Relatório Técnico CEN/TR 15310:2006 - *Characterization of waste - Sampling of waste materials*. Publicado em 22 de novembro de 2006.
- [24] Regulamento (UE) 2019/1009 do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de junho de 2019. Jornal Oficial da União Europeia L 170/1 (25.6.2019). Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia.
- [25] GUIA DE COMPOSTAGEM É RECICLAR E REUTILIZAR produzido pelos SMAS de Sintra, no âmbito do projeto de “Compostagem é Reciclar e Reutilizar – Ser Melhor pelo Ambiente!” – 2021. Acedido em 10 de março de 2022, em: https://www.smas-sintra.pt/compostagem-smas/wp-content/uploads/sites/7/2021/03/guia_compostagem_smas.pdf

- [26] Manual de Compostagem doméstica. Laboratório da Paisagem Guimarães. Interreg Atlantic Area, European Union. 2020. Acedido em 10 de março de 2022, em: <https://www.pegadasguimaraes.pt/wp-content/uploads/2020/12/Manual-de-Compostagem-1.pdf>
- [27] SOARES, Micaela - Recolha de Amostras de Resíduos Orgânicos. Departamento de Ambiente Laboratório de Solos e Fertilidade. ESAC – IPC. Acedido em 02 de março de 2022, em: <https://3faa628878.cbault-cdnwnd.com/0fa288cf5ba957eb9204e1be29bcc6d7/200000013-a8aaaa9a52/Recolha%20de%20amostras%20de%20res%C3%ADduos%20org%C3%A2nicos.pdf>
- [28] Comunicação da Comissão relativa a orientações técnicas sobre a classificação de resíduos (2018/C 124/01). 9 de abril de 2018. Informações das Instituições, Órgãos e Organismos da União Europeia. Jornal Oficial da União Europeia C 124/1. PT. Comissão Europeia.
- [29] VALORSUL. 2022 – Guia Prático Compostagem – Compostar Outra Forma de Reciclar. Acedido em 10 de março de 2022, em: <https://www.valorsul.pt/www/uploads/educacao-ambiental/guia-compostagem-valorsul-1-35.pdf>
- [30] Boletim Climático Portugal Continental. Julho 2022. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. Divisão de Clima e Alterações Climáticas. Lisboa. ISSN 2183-1076. Acedido em 02 de fevereiro de 2022, em : 1749-077 https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/2022_0818/WiPBzfYCHIsikbiYZyQs/cli_20220701_20220731_pcl_mm_co_pt.pdf
- [31] DIAZ, L.; BERTOLDI, M.; BIDLINGMAIER, W. - Compost Science and Technology. 1st Edition - June 19, 2007. eBook ISBN: 9780080545981.
- [32] INIAV (2022). Manual de fertilização das culturas. Autores: A. Veloso, C. Sempiterno, F. Calouro, F. Rebelo, F. Pedra, I. V. Castro, M.C. Gonçalves, M.E. Marcelo, P. Pereira, P. Fareleira, P. Jordão, R. Mano, R. Fernandes. 3ª edição, 471 pp. ISBN: 978-972-579-063-2
- [33] DIAZ, L.F.; SAVAGE, G.M. - Waste Management Series. Chapter 4 Factors that affect the process. Volume 8, 2007, Pages 49-65. Editora: Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1478-7482\(07\)80007-8](https://doi.org/10.1016/S1478-7482(07)80007-8). Acedido em: 03 de março de 2022, em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1478748207800078>.
- [34] ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; BERTOLDI, M. - Evaluating toxicity of immature compost. 22 (4): 54-57. BioCycle, 1981b.
- [35] Karthikeyan, Obulisamy; Heimann, Kirsten; Muthu, Subramanian - Recycling of Solid Waste for Biofuels and Bio-chemicals. Springer Science+Business Media Singapore 2016. ISSN 2345-7651. ISSN 2345-766X (electronic). ISBN 978-981-10-0148-2. ISBN 978-981-10-0150-5 (eBook). DOI 10.1007/978-981-10-0150-5.
- [36] ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. - Compost specification for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: de Bertoldi, M.; M. P. Ferranti; P. L. Hermite; F. Zucconi (Eds), Compost, production, Quality and Use. Elsevier Applied Science. pp, 30-50. 1987.
- [37] BRITO, L. - Compostagem para a Agricultura Biológica. Manual de Agricultura Biológica - Terras de Bouro . Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. /IPVC. 119 Projecto-Piloto para a Conversão da Agricultura Tradicional em Modo de Produção

- Biológico. Acedido em 14 de março de 2022, em <http://www.ci.esapl.pt/mbrito/Manual%20de%20AB%20%20compostagem.pdf>
- [38] Prestação de Contas Consolidada 2021. Relatório de Gestão Consolidado em 31 de dezembro de 2021. Câmara Municipal de Coimbra. Acedido em 08 de agosto de 2022, em: <https://www.cm-coimbra.pt/wp-content/uploads/2022/08/Prestacao-de-Contas-Consolidada-2021.pdf>
- [39] PIEDADE, Manuel; LIMBERT, Patrícia; RAMOS, Joaquim - Implementação de Sistemas PAY-AS-YOU-THROW (PAYT). GUIAS TÉCNICOS n.º 26. AMBIRUMO. ERSAR. ISBN: 978-972-98996-6-9. Acedido em 08 de julho de 2022, em: https://www.ersar.pt/pt/site-o-que-fazemos/site-consultas-publicas/Documents/Guia_Tecnico_26.pdf~
- [40] Biorresíduos Contas Certas Nos Resíduos. (VERSÃO 1.0). JULHO 2020. Secretaria de Estado do Ambiente, Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério do Ambiente e da Ação Climática. República Portuguesa. Acedido em 15 de março de 2022, em: <https://eco.nomia.pt/contents/documentacao/2020-orientacoes-biorresiduos-v1.pdf>

Outras fontes de documentos normativos e metodologias analíticas consultadas:

- BALBINO, L.R. (1968) O método de *Egnér-Riehm* na determinação do fósforo e do potássio “assimiláveis” em solos de Portugal. *Revista Agronómica* 51, pp. 46-56.
- BREMNER, J.M. (1979) *Total Nitrogen* pp. 1149-1178. In: *Methods of Soil Analyses. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 5th edition. Agronomy* 9. Black, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clarck, F.E. eds. *American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.*
- CHAPMAN, H.D. (1965) *Total Exchangeable bases* pp. 902-904. In: *Methods of Soil Analyses. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. 5th edition. Agronomy* 9. Black, C.A.; Evans, D. D; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clarck, F.E. eds. *American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA.*
- EN 1048-1 (1990) *Matérias fertilizantes. Terminologia e classificação.* Instituto Português da Qualidade. 74 p.
- EN 12880:2000, *Chemical Analyses – Determination of dry matter and water content on a mass basis in sediment, sludge, soil, and waste – Gravimetric method.* 9 p.
- EN 12945: 2008 *Liming materials. Determination of neutralizing value. Titrimetric methods.* 10 p.
- EN 14984:2006 *Liming materials. Determination of product effect on soil pH. Soil incubation method.* 32 p.
- EN 13650:2001 *Soil improvers and growing media-Extraction of aqua regia soluble elements.*
- EN 13971:2012 *Carbonate and silicate liming materials - Determination of reactivity - Potentiometric titration method with hydrochloric acid. European Committee Standardization, Brussels.* 16 p.
- ISO 10390: 2005 *Soil quality - Determination of pH. International Organization for Standardization (ISO), second edition.* 7 p.

ISO 15178:2000 *Soil quality - Determination of total sulfur by dry combustion*. International Organization for Standardization (ISO). 5 p.

KENT, M.; COOKER P. (1992) *Vegetation Description and Analysis*. Bekhaven Press, London. 363 p.

LAKANEN, E.; ERVIO, R. (1971) *A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils – In Acta Agralia Fennica* 123, 223-232.

LECO® (1997) *Instruction Manual SC-144DR Dual Range Sulfur and Carbon Analysis System*.

LQARS - Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (1977) Sector de Fertilidade do Solo. DGSA - Ministério da Agricultura. Lisboa, Portugal. 39 p.

LUCAS, M.D.; SEQUEIRA, E.M. (1976) Determinação do Cu, Zn, Mn, Fe, Ca, Mg, K, e Na totais das plantas por espectrofotometria de absorção atômica e fotometria de chama. *Pedologia* 11 (1) 163-169.

NP EN ISO/IEC 17025:2005 *Characterization of sludge - Determination of pH-value*.

PÓVOAS, I.; BARRAL, M.F. (1992) Métodos de análise de solos. Comunicações – Instituto de Investigação Científica Tropical. Série de Ciências Agrárias. Lisboa. 61 p.

PTE-LSF-CM1. Protocolo interno para a extração ácida e doseamento de nutrientes num corretivo mineral. 7 p.

SILVA, A.A. (1967) Determinação da Textura do Solo – Método da pipeta. *Pedologia* 2, pp. 129 139. EAN, Oeiras, in Silva, A.A.; Alvim, A.J.S. e Santos, M.J.(eds.) Métodos de análise de solos, plantas e águas (1975), *Pedologia* 10, nº 3, pp. 45 58. Oeiras: Estação Agronómica Nacional.

SKALAR (2004). *Skalar Methods, Analysis: Boron*, catnr. 197 335. 7 p.

Legislação complementar consultada

Decreto-Lei n.º 236/98. Diário da República, 1.ª série-N.º 176-1 de agosto. 3676-3722.

Decreto-Lei n.º 276/2009. Diário da República, 1.ª série-N.º 192-2 de outubro. 7154-7165.

Decreto-Lei n.º 73/2011. Diário da República, 1.ª série-N.º 116-17 de junho. 3251-3300.

Decreto-Lei nº 190/2004. Diário da República, 1.ª série-A-Nº 193-17 de agosto. 5218-5221.

Diretiva 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008 relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas. L312/3-L312/30.

Portaria n.º 209/2004. Diário da República, 1.ª série-B-N.º 53-3 de março. 1188-1206.

Portaria n.º 259/2012. Diário da República, 1.ª série-N.º 166-28 de agosto. 4772-4795.

Portaria n.º 631/2009. Diário da República, 1.ª série-N.º 111-9 de junho. 3580-3594.

Portaria nº 1322/2006. Diário da República, 1.ª série-N.º 227-24 de novembro de 2006. 8063-8066.

Regulamento (CE) nº 2003/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 13 de outubro, relativo aos adubos. Jornal Oficial da União Europeia, L 304/1-194.

Regulamento (CEE) nº 1576/89, de 29 de maio de 1989, que estabelece as regras gerais relativas à definição, à designação e à apresentação das bebidas espirituosas. Jornal Oficial nº L 160 de 12/06/1989, p. 0001-0017.

Regulamento (UE) n.º 463/2013 da Comissão de 17 de maio de 2013, que altera o regulamento (CE) n.º 2003/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho relativo aos adubos, para efeitos de adaptação ao progresso técnico dos seus anexos I, II e IV. Jornal Oficial da União Europeia, L 134: 1-14.

Anexo

Quadro 1: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos castanhos.

FICHA DE AMOSTRA DE BIORRESÍDUOS		Data: 30/05/2022 – 2ª feira
Código LER: 2002 Resíduos de jardins e parques (incluindo cemitérios) 200201 Resíduos biodegradáveis		
Fonte e origem do resíduo: Jardim ESAC	Coordenada: 40°12'37.77"N 8°27'12.09"O	
CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO PRODUTIVO:		
Processo produtivo: Limpeza do jardim.		
Volume: 29,3 litros	Peso: 17,450 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: relva seca e folhas de carvalho.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos castanhos da manutenção e limpeza da área ajardinada da ESAC. Seleção dos resíduos úteis e descarte de quaisquer contaminações visíveis. Odor característico de resíduos castanhos.		
Processo produtivo: poda, capina e processo natural de queda de folhas das árvores.		

Quadro 2: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 1.

FICHA DE AMOSTRA DE BIORRESÍDUOS		Data: 30/05/2022 – 2ª feira
Código LER: 200108 (Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas)		
Fonte e origem do resíduo: Cantina ESAC	Nº de refeições: 250	
CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO PRODUTIVO:		
Processo produtivo: Preparação do almoço.		
Volume: 25,1 litros	Peso: 9,820 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: alface, batata, cebola, tomate, repolho roxo, cenoura, curgete, alho e feijão-frade.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos de cascas e restos vegetais não cozidos. Odor característico dos alimentos que o compõe.		
Processo produtivo: Pós almoço.		
Volume: 36,1 litros	Peso: 33,790 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: macarrão, carne, feijão-frade, brócolos, laranja, banana, alface, pera, pão, casca de ovo e gelatina.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos com características de alimentos cozidos, misturados com cascas e restos de frutas e sobremesa. Carne, massa de macarrão e feijão-frade com atum não consumidos. Excesso de líquidos e guardanapo. Encontrado plástico e papel de embalagem. Odor característico de comida cozida.		
Fonte e origem do resíduo: Bar/cafeteria ESAC		
Processo produtivo: Café		
Volume: 8,6 litros	Peso: 4,7 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: borra de café.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos da preparação do café em máquina, preservando as características do pó com humidade.		

Quadro 3: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 2.

FICHA DE AMOSTRA DE BIORRESÍDUOS		Data: 31/05/2022 – 3ª feira
Código LER: 200108 (Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas)		
Fonte e origem do resíduo: Cantina ESAC		Nº de refeições: 262
CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO PRODUTIVO:		
Processo produtivo: Preparação do almoço.		
Volume: 8,4 litros	Peso: 7 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: feijão frade com atum, massa de macarrão, cenoura, cebola, pimento, curgete, alface e pera.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): em maior quantidade encontra-se massa de macarrão e feijão frade cozidos. Resíduos frescos de cascas (cebola na maioria), restos vegetais e sementes de pimentos não cozidos e restos de fruta. Odor característico dos alimentos que o compõe.		
Processo produtivo: Pós almoço.		
Volume: 23,6 litros	Peso: 22,800 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: arroz, cenoura, macarrão feijão, molho, cascas de banana, restos de pera e pão.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos com características de alimentos cozidos, misturados com um aspecto de massa húmida. Resíduos de metal do fecho da alheira e tripa. Encontrado plástico de embalagem. Odor característico de comida cozida.		
Fonte e origem do resíduo: Bar/cafeteria ESAC		
Processo produtivo: Café		
Volume: 9 litros	Peso: 4,9 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: borra de café.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos da preparação do café em máquina, preservando as características do pó com humidade.		

Quadro 4: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 3.

FICHA DE AMOSTRA DE BIORRESÍDUOS		Data: 01/06/2022 – 4ª feira
Código LER: 200108 (Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas)		
Fonte e origem do resíduo: Cantina ESAC		Nº de refeições: 163
CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO PRODUTIVO:		
Processo produtivo: Preparação do almoço.		
Volume: 4,4 litros	Peso: 1,540 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: cebola, alface, pera e cereja.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos de cascas e restos de cebola quase a totalidade, com sobras de uma pera e cereja (sementes na maioria). Odor característico de cebola.		
Processo produtivo: Pós almoço.		
Volume: 31,2 litros	Peso: 26,250 kg	
Identificação dos produtos envolvidos: arroz com cenoura, espinha de peixe com cabeça, repolho, osso de costela de porco, maçã, alface, cereja, tomate, cenoura, beterraba e guardanapo.		
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos com características de alimentos cozidos, misturados com um aspecto de massa húmida, com líquido excedente. Com sobras de sopa e pão. Excesso de humidade. Odor característico de comida cozida.		
Fonte e origem do resíduo: Bar/cafeteria ESAC		
Processo produtivo: Café		
Volume: 5,6 litros	Peso: 3,1 kg	

Identificação dos produtos envolvidos: borra de café.
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos da preparação do café em máquina, preservando as características do pó com humidade.

Quadro 5: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 4.

FICHA DE AMOSTRA DE BIORRESÍDUOS	Data: 02/06/2022 – 5ª feira
Código LER: 200108 (Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas)	
Fonte e origem do resíduo: Cantina ESAC	Nº de refeições: 187
CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO PRODUTIVO:	
Processo produtivo: Preparação do almoço.	
Volume: 23,6 litros	Peso: 12,060 kg
Identificação dos produtos envolvidos: ananás, batata, melão, kiwi, laranja, couve, alface, salsinha, casca de ovo, maçã e salsa.	
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos de cascas e coroa de ananás, muita casca de batata, casca de kiwi e laranja, repolho, alface, casca de ovo, poucas maçãs e salsa. Odor característico de frutas (ananás mais persistente).	
Processo produtivo: Pós almoço.	
Volume: 24,6 litros	Peso: 26,600 kg
Identificação dos produtos envolvidos: macarrão, batata, cenoura, carne, banana, laranja, pão, repolho, guardanapo, azeitona.	
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos com características de alimentos cozidos, misturados com um aspecto de massa húmida, presença de macarrão, batata e carne com molho e cenoura essencialmente. Casca de laranja, banana e pão. Repolho, guardanapo e azeitona. Embalagens de plástico e cápsula de café. Observação: Havia mesa em área particular com convidados. Odor característico de comida cozida.	
Fonte e origem do resíduo: Bar/cafeteria ESAC	
Processo produtivo: Café	
Volume: 6,4 litros	Peso: 3,5 kg
Identificação dos produtos envolvidos: borra de café.	
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos da preparação do café em máquina, preservando as características do pó com humidade.	

Quadro 6: Ficha de amostra de biorresíduos - Resíduos alimentares – Dia 5.

FICHA DE AMOSTRA DE BIORRESÍDUOS	Data: 03/06/2022 – 6ª feira
Código LER: 200108 (Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas)	
Fonte e origem do resíduo: Cantina ESAC	Nº de refeições: 165
CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO PRODUTIVO:	
Processo produtivo: Preparação do almoço.	
Volume: 29,3 litros	Peso: 17,450 kg
Identificação dos produtos envolvidos: casca e restos de batata, melão, curgete, cenoura, pepino, laranja, cebola, kiwi, alface, uva, limão.	
Aspeto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos de cascas e restos de batata (acima de 70% do total). Casca de melão, laranja, pepino, talo de cenoura e curgete, casca de cebola, kiwi e um limão. Odor característico dos alimentos que o compõe (batata mais proeminente).	
Processo produtivo: Pós almoço.	
Volume: 32,6 litros	Peso: 33,600 kg
Identificação dos produtos envolvidos: arroz com frango, alheira, carne, peixe, brócolos, cenoura, ervilha, milho, alface, laranja e arroz doce	

Aspetto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos com características de alimentos cozidos, misturados com um aspecto de massa húmida e líquido excedente. Arroz com frango e alheira, com bastante carne de vaca, espinha e cabeça de peixe, brócolos, cenoura, ervilha e milho cozidos e sobras de alheira. Casca de laranja. Cerca de 20% do total de sobremesa (arroz doce). Resíduos de embalagem plástica e lacre de metal e rolha de champagne. Odor característico de comida cozida.

Fonte e origem do resíduo: Bar/cafeteria ESAC

Processo produtivo: Café

Volume: 5,7 litros

Peso: 3,1 kg

Identificação dos produtos envolvidos: borra de café.

Aspetto do resíduo (odor, cor, forma física): resíduos frescos da preparação do café em máquina, preservando as características do pó com humidade.

Quadro 12: Classificações possíveis dos níveis de fitotoxicidade.

Referências	Grau de Germinação (%)	Classificação
Trautmann e Krasny, 1997	80-100	Não inibe o crescimento da planta
	60-80	Inibição moderada
	40-60	Inibição forte
	<40	Inibição severa
Batista e Batista, 2007 (cit. Woods End, 2000)	>85	V- não tóxico
	70-80	IV- moderadamente tóxico
	50-70	III- tóxico
	30-50	II- muito tóxico
Batista e Batista, 2007 (cit. Brinton et al., 2001)	<30	I- extremamente tóxico
	>90	Bastante maturado
	80-90	Maturado
Bernal et al., 2009 (cit. Zucconi et al., 1981)	<80	Imaturo
Bernal et al., 2009 (cit. Zucconi et al., 1981)	>50	Maturado
Wong et al., 2001 (cit. Zucconi et al., 1981)	>50	Composto livre de fitotoxinas
Ortega et al., 1996 (cit. Zucconi et al., 1985)	<60	Produto orgânico considerado fitotóxico
Cabañas-Vargas et al., 2005 (cit. Zucconi e de Bertoldi, 1987)	>60	Maturado
Gómez-Brandón et al., 2008 (cit. Zucconi e de Bertoldi, 1987)	>60	Limite que reduz a fitotoxicidade para níveis aceitáveis para aplicação segura no solo
Helfrich et al., 1998	≥70	Baixo nível de fitotoxinas
Fang e Wong, 1999 (cit Rifaldi et al., 1986)	>80	Não fitotóxico
He et al., 2009 (cit Zucconi et al., 1981)	>80	Composto livre de fitotoxinas
Tiquia, 2010 (cit Zucconi et al., 1981; Tiquia e Tam, 1998)	>80	Composto livre de fitotoxinas
Gao et al., 2010 (cit Zucconi et al., 1981; Tiquia e Tam, 1998)	>80	Composto livre de fitotoxinas; maturado
Delgado et al., 2010	>100	Estimula as propriedades do solo

Adaptado: Belo, 2011.

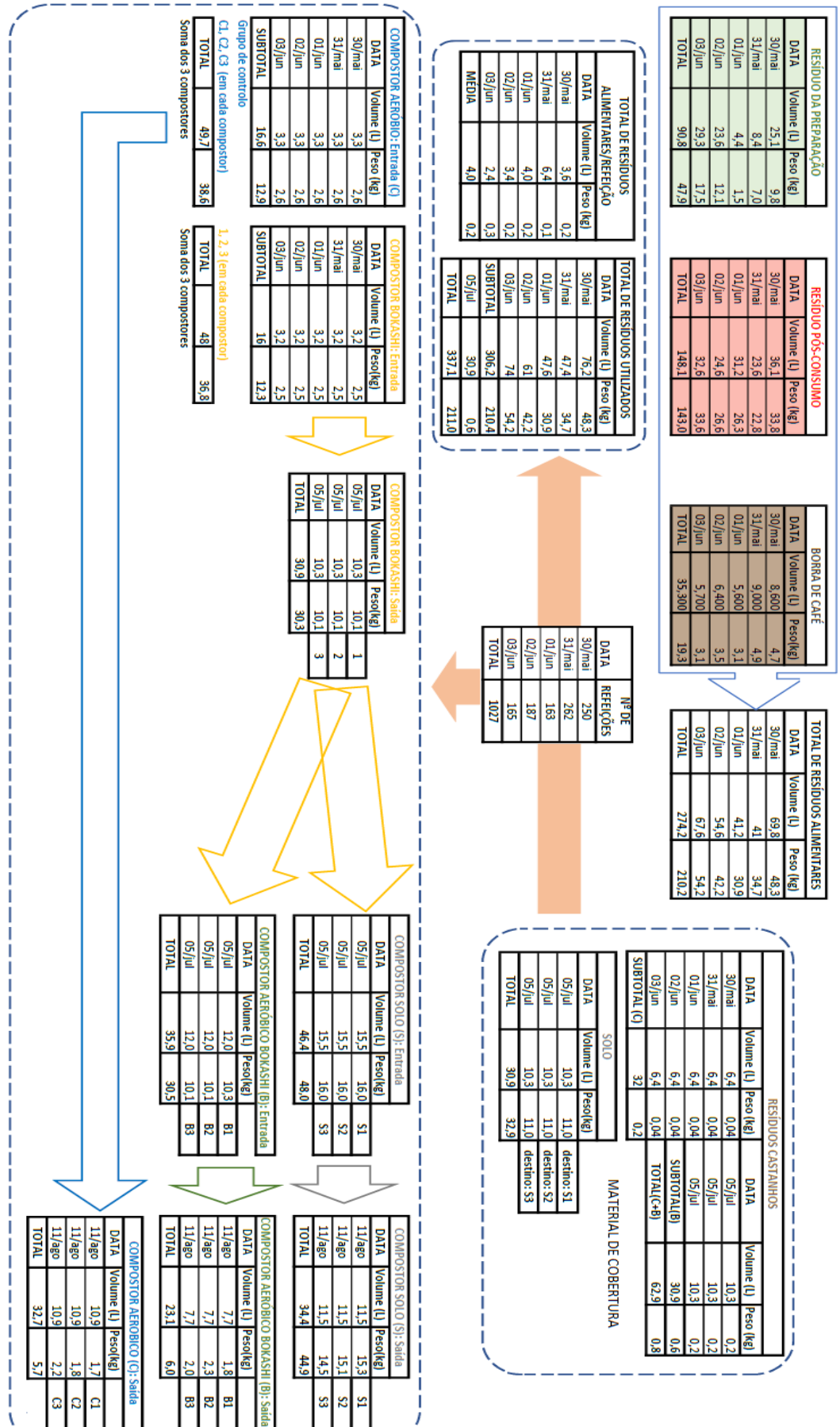
Quadro 13: Parâmetros analisados e metodologia utilizada para a caracterização dos solos utilizados no ensaio e das amostras solo e corretivo após conclusão do ensaio.

Parâmetros	Metodologias e referência bibliográfica
Tratamentos preliminares	Secagem a 38°C com ventilação forçada e preparação com moinho específico
Análise granulométrica e classificação textural	Método da pipeta de Robinson (Silva, 1967)
pH	Suspensão solo/água, 1/5, v/v (ISO 10390:2005)
Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹)	Filtrado da suspensão, 1/5, v/v (ISO 10390:2005)
Matéria orgânica (%)	Combustão seca a 590°C (LECO®, 1997), com utilização do fator 1,724
Fósforo (P ₂ O ₅) e potássio (K ₂ O) extraível (mg kg ⁻¹)	Método de <i>Egnér Riehm</i> (Balbino, 1968; Póvoas & Barral, 1992)
Catiões de troca: Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ (me 100g ⁻¹)	Método de acetato de amônio 1N a pH=7 e doseamento por espectrofotometria de
Micronutrientes extraíveis: Cu, Zn, Fe, Mn (mg kg ⁻¹)	Método do AAAC+EDTA+EDTA e doseamento por espectrofotometria de absorção atômica (Lakanen & Ervio, 1971)

Quadro 14: Parâmetros analisados nas amostras recolhidas e metodologias utilizadas.

Solos	Textura de campo (LQARS, 1977); pH (H ₂ O) - (ISO 10390:2005); carbono orgânico/matéria orgânica (%) - combustão seca a 590°C (LECO®, 1997); fósforo (P ₂ O ₅) e potássio extraível (mg kg ⁻¹) - <i>Egnér Riehm</i> (Balbino, 1968; Póvoas & Barral, 1992); catiões de troca : Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ (me 100g ⁻¹) - acetato de amônio 1N a pH=7/espectrofotometria de absorção atômica (Chapman, 1979); micronutrientes extraíveis: Cu, Zn, Fe, Mn (mg kg ⁻¹) - AAAC+EDTA+EDTA/espectrofotometria de absorção atômica (Lakanen & Ervio, 1971).
Camadas orgânicas	Matéria seca (t/ha) - secagem a 80°C durante 48 horas (Kent & Coker, 1992); carbono orgânico (%) – combustão seca a 590°C (LECO®1997); azoto (%) - <i>Kjeldahl</i> (Bremner, 1979; Póvoas & Barral, 1992); fósforo (%) - EN 13650:2001 E/espectrofotometria de absorção molecular: Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn - EN 13650:2001 E/espectrofotometria de absorção atômica.
Folhas e Frutos	Secagem a 60°C; azoto (%) - <i>Kjeldahl</i> (Bremner, 1979; Póvoas & Barral, 1992); fósforo (%) – digestão seca a 480-500°C com redissolução com ácido diluído/espectrofotometria de absorção molecular (Lucas & Sequeira, 1975); nutrientes: Ca, Mg, K (%); Cu, Zn, Fe, Mn (mg kg ⁻¹) - digestão seca a 480-500°C com redissolução com ácido diluído/espectrofotometria de absorção atômica (Lucas & Sequeira, 1975); enxofre (%) – combustão seca a 1350°C (LECO®, 1997; ISO 15178); boro (mg kg ⁻¹) – extração com H ₂ O desmineralizada a 80°C (1:100)/azomethina H e doseamento por espectrofotometria de absorção molecular com fluxo contínuo segmentado (Skalar®, 2004).

Tabela 1: Quantificação de biorresíduos (peso e volume) por dia de recolha e destino para os compostores.



Outros equipamentos utilizados



Figura 71: Moinhos de motor Retsch com crivo.



Figura 72: Moinho de corte modelo Retsch SM 100.



Figura 73: Espectrômetro de Absorção Atômica PinAAcle 900T, marca Perkin Elmer.



Figura 74: Espectrofotômetro visível PYE UNICAM SP6-350, marca Philips.



Figura 75: Medidor de carbono SC-144DR, marca LECO.



Figura 76: Análise de mercúrio AMA254, LECO.



Figura 77: Estufa de germinação CASSEL.



Figura 78: Digestor.



Figura 79: Unidade de Destilação UDK 129 Kjeldahl.