



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS

Elaine Cristina dos Santos Araújo

SUCESSÃO ECOLÓGICA DE GRUPOS TAXONÔMICOS NO TRATAMENTO
AERÓBIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA
SOCIAL

Campina Grande - PB

2023

**SUCESSÃO ECOLÓGICA DE GRUPOS TAXONÔMICOS NO TRATAMENTO
AERÓBIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA
SOCIAL**

Elaine Cristina dos Santos Araújo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências legais para obtenção do Título de Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

Área de concentração: Engenharia de recursos naturais.
Linha de pesquisa: Tratamento de resíduos sólidos orgânicos

Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima
Orientadora

Profa. Dra. Viviane Farias Silva
Coorientadora

Campina Grande - PB

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429- 900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

Elaine Cristina dos Santos Araújo

"SUCESSÃO ECOLÓGICA DE GRUPOS TAXONÔMICOS NO TRATAMENTO AERÓBIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS UTILIZANDO TECNOLOGIASOCIAL"

TESE apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais como pré-requisito para obtenção do título de **DOCTOR (a)** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais

Aprovada em: 04 de Dezembro de 2023

Dr.(a.) **Vera Lucia Antunes de Lima/UFCG** (Orientador PPGEGRN).

Prof.(a.) Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/UFCG** (Coorientador)

Dr.(a.) **Janaína Barbosa da Silva/UFCG**(Examinador Interno).

Dr.(a.) **Maria Sallydelândia de Farias Araújo/UFCG**(Examinador Interno).

Dr.(a.) **Lívia Poliana Santana Cavalcanti/UEPB** (Examinador Externo).

Dr.(a.) **Monica Maria Pereira da Silva/UEPB** (Examinador Externo).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, VICE-COORDENADOR**, em 15/12/2023, às 14:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JANAINA BARBOSA DA SILVA, PROFESSOR**, em 15/12/2023, às 15:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 15/12/2023, às 19:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELÂNDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 09:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Monica Maria Pereira da Silva, Usuário Externo**, em 18/12/2023, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **LÍVIA POLIANA SANTANA CAVALCANTE, Usuário Externo**, em 23/12/2023, às 19:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4012601** e o código CRC **98376EBC**.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA E GESTAO DE RECURSOS NATURAIS
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429- 900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO/TESE

Ata da **Trigésima Primeira** sessão pública de **Defesa de Tese** do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – CTRN da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Ao Quatro dia do mês de Dezembro de 2023, às **08:00** horas, **presencialmente** reuniu-se na forma e Termos do Art. 62 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação "Stricto Sensu" da UFCG e do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Resolução 02/2019 do Colegiado Pleno do Conselho Superior de Ensino, Pesquisa e Extensão – CONSEPE/UFCG, a Banca Examinadora composta pelos professores/pesquisadores Prof.(a) Dr.(a) **Vera Lucia Antunes de Lima/UFCG**, como orientador(a) principal; Prof.(a.) Dr.(a.) **Viviane Farias Silva/UFCG** como co-orientador ; Prof.(a.) Dr.(a.) **Janaína Barbosa da Silva/UFCG** como membro interno; Prof.(a.) Dr.(a.) **Maria Sal ydelândia de Farias Araújo/UFCG**; Prof.(a.) Dr.(a) **Livia Poliana Santana Cavalcanti/UEPB**, como membro externo; Prof.(a.) Dr.(a) **Monica Maria Pereira da Silva/UEPB**, como membro externo, a qual foi constituída pela Portaria **PPGEGRN 72/2023** da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, juntamente com **Sr(a) Elaine Cristina dos Santos Araújo (a)** candidato(a) ao Grau de **Doutor(a)** em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais. Abertos os trabalhos, o(a) Senhor(a) Presidente da Banca Examinadora, Prof.(a.) Dr.(a). **Vera Lucia Antunes de Lima/UFCG** , anunciou que a sessão tinha a finalidade de julgamento da apresentação e de defesa da **TESE** sob o título: "**SUCESSÃO ECOLÓGICA DE GRUPOS TAXONÔMICOS NO TRATAMENTO AERÓBIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS UTILIZANDO TECNOLOGIA SOCIAL**" Área de Concentração: **ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS**, orientada pelo(a) Professor(a) Dra. **Vera Lucia Antunes de Lima/UFCG(a)**. O(A) presidente concedeu à palavra o(a) candidato(a) para, no prazo de tempo estipulado, efetuar a apresentação de seu trabalho. Concluída a exposição do(a) candidato(a), o(a) Presidente iniciou a segunda etapa do processo de defesa passando a palavra a cada membro da Banca Examinadora para as devidas considerações, correções e arguição do(a) candidato(a). Em seguida, a Banca Examinadora solicitou a saída dos presentes para, em sessão secreta, avaliar a apresentação e defesa. Após chegar a uma decisão final, a Banca Examinadora solicitou o retorno da Assembléia e anunciou, de conformidade com o que estabelece o Art. 57 do Regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, o Conceito **APROVADO (APROVADO, REPROVADO)**, o qual será atribuído após O(a) candidato(a), no prazo máximo de 30 (TRINTA) dias, efetuar as correções e modificações sugeridas e aprovadas pela Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar pelo Coordenador, pelo candidato e pelos membros da Banca Examinadora.

Campina Grande, 04 de Dezembro de 2023.

Assinaturas:



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, VICE-COORDENADOR**, em 15/12/2023, às 14:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JANAINA BARBOSA DA SILVA, PROFESSOR**, em 15/12/2023, às 15:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, COORDENADORA DE PÓS GRADUAÇÃO**, em 15/12/2023, às 19:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 09:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Monica Maria Pereira da Silva, Usuário Externo**, em 18/12/2023, às 20:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **LÍVIA POLIANA SANTANA CAVALCANTE, Usuário Externo**, em 23/12/2023, às 19:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elaine Cristina dos Santos Araujo, Usuário Externo**, em 26/12/2023, às 22:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4012499** e o código CRC **A0F6C3A2**.

A663s

Araújo, Elaine Cristina dos Santos.

Sucessão ecológica de grupos taxonômicos no tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos utilizando tecnologia social / Elaine Cristina dos Santos Araújo. – Campina Grande, 2023.

273 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima, Profa. Dra. Viviane Farias Silva".

Referências.

1. Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos. 2. Compostagem. 3. Tecnologias Sociais – Tratamento Aeróbio – Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares. 4. Engenharia de Recursos Naturais. I. Lima, Vera Lúcia Antunes de. II. Silva, Viviane Farias. II. Título.

CDU 628.473.4(043)

AGRADECIMENTOS

E disse-lhe o Senhor: Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar (Josué 1:9). Só tenho a agradecer a misericórdia de Deus em minha vida. Suas bênçãos, seus livramentos, as pessoas que colocou em meu caminho. Os planos que tem para mim são maiores que os meus!

Quero agradecer aos meus pais, *Marta Maria e José Roberto*. Mãe, pai, nós conseguimos!!! Enfim, Doutora. Nós batalhamos. Sonhamos juntos. Recusamo-nos a desistir. Esse título é nosso. Sou tão grata em ter vocês. Eu vi o apoio, o carinho e amor de vocês em todos os momentos. Amo vocês.

Agradeço a minha irmã caçula, *Sarah Kalley*, meu pequeno pônei!!!! Esses anos não foram fáceis, mas você mostrou que tem força e coragem. Não esperaria menos.

Aos meus amigos *Adriana Veríssimo e José Belarmino*. Eu encontrei vocês nos primeiros dias de aula da graduação e trago junto comigo para vida. Choramos juntos, conquistamos juntos, crescemos juntos.

Também agradeço aos amigos que o Programa de Recursos Naturais me deu: Professora *Sandra Regina*, Professora *Nadege Dantas* e Professor *Antônio Pedro*. Vocês são pessoas iluminadas.

Ao Grupo de Pesquisa e Extensão em Gestão e Educação Ambiental (GGEA) pelos anos de aprendizado compartilhado. Destaco, os alunos PIBIC e voluntários que participaram do experimento do compostagem. Em especial, a Professora Doutora *Adrienne Barros* por sempre se propor a ajudar, por disponibilizar o Laboratório GGEA/UEPB para as análises e contribuir com minha pesquisa.

Ao professor *Luciano Saboya* pela ajuda e apoio nas análises estatísticas. Foram fundamentais para o experimento.

A Professora Doutora *Vera Lúcia* por aceitar a orientação, mesmo não nos conhecendo inicialmente. Por toda energia desprendida, pela dedicação e compreensão. Ao longo dessa jornada criamos um lindo laço de respeito e carinho. Obrigada!

A Professora Doutora *Viviane Farias*. Já lhe admirava quando era sua aluna na disciplina de Gestão de Resíduos Sólidos e passei a lhe admirar ainda mais quando aceitou meu convite de coorientação. Ao longo desse tempo, percebi o quanto você é radiante, comprometida e atenciosa. Obrigada!

Agradeço a banca avaliadora pelas valiosas contribuições. A Professora Doutora *Lívia Cavalcante* pelos anos de aprendizado e parceria. Obrigada por fazer parte deste momento. A Professora Doutora *Maria Sallydelância* e a Professora Doutora *Janaina Barbosa da Silva* por oferecerem contribuições valiosas para o sucesso do trabalho. Obrigada!

Peço licença as minhas excelentes orientadoras e os demais membros da banca, mas não podia deixar de agradecer a Professora Doutora *Monica Maria*. Monica, meus professores da graduação me ensinaram como ocorre o ciclo de Krebs, quais são os níveis tróficos, como fazer um plano de aula. Você me ensinou a fazer pesquisa, ensino e extensão. Ensinou-me que sou cidadã e, como tal, devo lutar pelo Meio Ambiente, minha casa! Ensinou-me não me calar; a ter uma visão crítica. Mostrou-me que eu posso ser o que eu quiser ser. Hoje, eu me torno Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais e esse título é resultado da jornada que

construímos juntas. Os ensinamentos compartilhados por mais de uma década de vínculo estão descritos em cada página desse trabalho.

Concluo com o entendimento de que não é uma tarefa fácil escrever agradecimentos. As palavras não são suficientes para expressar tudo que gostaria de agradecer. Mas mesmo diante do risco de não agradecer devidamente a todos que contribuíram para minha jornada, dou-me conta que só tenho motivos para ser grata pelas oportunidades, pelas bênçãos, pelas pessoas que compartilharam comigo cada momento desses dias. Como afirma o filósofo Romano Marco Cícero, “a gratidão não é apenas a mais rica das virtudes, mas sim a mãe de todas as outras”. Certamente, não exista outra palavra tão significativa que expresse o sentimento que carrego comigo nesse momento que seria: gratidão!

DEDICATÓRIA

Toda honra, Toda glória seja dada a Deus!!!

Certo homem tinha uma figueira plantada na sua vinha e foi procurar nela fruto, não o achando.

E disse ao vinhateiro: *Eis que há três anos venho procurar fruto nesta figueira e não o acho; corta-a. Por que ela ocupa ainda a terra inutilmente?*

E, respondendo ele, disse-lhe: *Senhor, deixa-a este ano, até que a escave e a adube; e, se der fruto, ficará; e, se não, depois a mandarás cortar.*

RESUMO

A compostagem de resíduos sólidos orgânicos é apontada como alternativa eficaz para a higienização e sanitização da parcela orgânica, promovendo a redução dos impactos negativos ao meio ambiente e a saúde humana, a eliminação de patógenos, o retorno de matéria, o aproveitamento eficiente de energia e a produção de composto rico em nutrientes. No entanto, estudos sobre os fatores físicos, químicos, biológicos, sanitários e tecnológicos para eficiência da compostagem, ainda são introdutórios, principalmente no ambiente do Agreste paraibano. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a aplicação de tecnologias sociais no tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, que favoreçam a ação sinérgica de um conjunto diversificado de grupos taxonômicos essenciais, através da sucessão ecológica das populações que participam das diferentes fases do sistema de compostagem, produzindo um composto com qualidade sanitária e características ideais para diferentes usos agrícolas. Os resíduos sólidos orgânicos foram selecionados previamente e coletados (202,5 kg) no condomínio residencial vertical Dona Lindú IV, Campina Grande, Paraíba, Brasil e destinados ao sistema experimental em escala descentralizada (SITRADERO) da Universidade Estadual da Paraíba. O experimento consistiu de três modelos de composteiras (CCR; CAR; CPC) em escala triplicata, totalizando nove composteiras móveis. Cada composteira foi alimentada com 22 kg de substrato. As análises físicas, químicas, biológicas e sanitárias foram realizadas semanalmente e a temperatura foi monitorada diariamente. O sistema foi acompanhado até estabilização (93 dias). Os resultados iniciais mostraram que os resíduos sólidos orgânicos coletados na fonte geradora tinham considerável teor de umidade (71%), pH ácido (5,3), material instável e alta carga parasitária (9,5 ovos/gST), necessitando tratamento adequado. O substrato apresentou significativa abundância de (2.471 indivíduos) mesoinvertebrados, distribuídos em 9 ordens e 16 famílias que, encontraram nos resíduos sólidos orgânicos fonte de alimento e condições adequadas de desenvolvimento. Através das análises e observações *in loco* foi possível acompanhar a dinâmica das espécies que participaram do processo de compostagem, apontando sua contribuição no processo sucessional do sistema, na predação, na competição, nas relações ecológicas, na oxigenação e perfuração de galerias, na degradação da matéria, no controle biológico e nos limites de tolerância ao meio. Todas as espécies foram importantes para eficiência do tratamento e funcionamento da comunidade. O sistema de compostagem mostrou-se eficiente no tratamento aeróbio dos resíduos sólidos orgânicos, promovendo a eliminação de ovos de helmintos e enterobactérias (100%) e favorecendo a transformação de 23,1% de composto higienizado e estabilizado que pode ser utilizado na fertilização do solo ou condicionamento do solo, produção de mudas, recuperação de áreas de desertificação, na agricultura.

Palavras-chave: Compostagem; Organismos; Diversidade; Composto.

ABSTRACT

Composting organic solid waste is seen as an effective alternative for cleaning and sanitizing the organic portion, promoting the reduction of negative environmental impacts and human health, the elimination of pathogens, the return of matter, the efficient use of energy and production of nutrient-rich compost. However, studies on the physical, chemical, biological, sanitary and technological factors for composting efficiency are still introductory, especially in an environment in the Agreste of Paraíba. In this context, the objective was to evaluate the application of social technologies in the aerobic treatment of household organic solid waste, which favor the synergistic action of a diverse set of essential phylogenetic groups, through the ecological succession of populations that participate in the different phases of the composting system, producing a compost with sanitary quality and ideal characteristics for different agricultural uses. Organic solid waste was previously selected and collected (202.5 kg) in the vertical residential condominium Dona Lindú IV, Campina Grande, Paraíba, Brazil and destined for the decentralized scale experimental system (SITRADERO) at the State University of Paraíba. The experiment consisted of three models of composters (CCR; CAR; CPC) in triplicate scale, totaling nine mobile composters. Each compost bin was fed with 22 kg of substrate. Physical, chemical, biological and sanitary analyzes were carried out weekly and the temperature was monitored daily. The system was monitored until stabilization (93 days). Initial results showed that the organic solid waste collected at the generating source had considerable moisture content (71%), acidic pH (5.3), unstable material and high parasitic load (9.5 eggs/gST), requiring adequate treatment. The substrate showed a significant abundance of (2,471 individuals) mesoinvertebrates, distributed in 9 orders and 16 families, which found organic solid waste as a source of food and adequate conditions for development. Through on-site analyzes and observations, it was possible to monitor the dynamics of the species that participated in the composting process, pointing out their contribution to the system's successional process, predation, competition, ecological relationships, oxygenation and drilling of galleries, degradation of matter, biological control and the limits of tolerance to the environment. All species were important for treatment efficiency and community functioning. The composting system proved to be efficient in the aerobic treatment of organic solid waste, promoting the elimination of helminth and enterobacteria eggs (100%) and favoring the transformation of 23.1% of sanitized and stabilized compost that can be used in fertilization of soil or soil conditioning, seedling production, recovery of desertification areas, in agriculture.

Keywords: Composting; Organisms; Diversity; Compost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão aérea do condomínio residencial Dona Lindú.	70
Figura 2. Coleta, armazenamento e triagem dos resíduos sólidos gerados no residencial Dona Lindú IV. Campina Grande, estado da Paraíba.	71
Figura 3. Localização do pátio de compostagem em relação ao condomínio residencial Dona Lindú IV.	72
Figura 4. Sistema de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos gerados em condomínio residencial. Campina Grande – PB.	73
Figura 5. Sistemas de composteiras. Foto A: composteiras de aço inoxidável (CAR); Foto B: composteiras de concreto retangular (CCR); Foto C: composteiras de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande – PB.	73
Figura 6. Composteira de concreto retangular. Campina Grande-PB.	75
Figura 7. Composteira de aço inoxidável. Foto A: parte frontal interna, externa e posterior da tecnologia. Foto B: modificações feita nas lâminas internas.	76
Figura 8. Composteiras de polietileno cilíndrico. Campina Grande-PB.	77
Figura 9. Montagem do sistema de compostagem. Foto A: homogeneização dos resíduos orgânicos. Foto B: trituração do material compostado.	78
Figura 10. Quantidade de resíduos sólidos orgânicos compostados durante o experimento.	79
Figura 11. Estruturante adicionado no sistema de compostagem. Foto A: folhas secas. Foto B: composto do tipo rejeito. Foto C: maravalha de madeira. Campina Grande-PB.	80
Figura 12. Etapas para montagem do sistema. Foto A: método do quarteamento para retirada das amostras. Foto B e C: pesagem do substrato. Foto D: montagem das composteiras.	81
Figura 13. Monitoramento do sistema de compostagem. Foto A: observação in loco de fungos no sistema. Foto B: observação de larvas e pupas de moscas. Foto C: reviramento da massa do substrato.	81
Figura 14. Resíduos sólidos misturados, coletados no residencial Dona Lindú IV. Campina Grande, Estado da Paraíba.	97
Figura 15. Prevalência de ovos de helmintos nos resíduos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.	103
Figura 16. Valores médios de teor de umidade para os diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos coletados em residencial. Campina Grande-PB. As setas indicam os dias de adição de água no sistema CCR (azul) e CAR (vermelho). Não foi adicionado água no sistema CPC.	109

Figura 17. Quantidade de chorume gerado em uma composteira do sistema CAR. Campina Grande-PB.	111
Figura 18. Valores de temperatura (°C) no sistema de composteira de concreto retangular (CCR) de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.	114
Figura 19. Valores de temperatura (°C) no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.	114
Figura 20. Valores de temperatura (°C) no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC) de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.	115
Figura 21. Concentração de pH ao longo do sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	117
Figura 22. Sólidos voláteis nos diferentes tratamentos. Campina Grande-PB.	118
Figura 23. Carbono orgânico total durante o processo de compostagem nos sistemas CCR, CAR e CPC. Campina Grande-PB.	120
Figura 24. Demanda química de oxigênio ao longo do processo de compostagem. Campina Grande-PB.	120
Figura 25. Curva de acumulação (esquerda) e curva de rarefação (direita) dos sistemas de compostagem, CCR, CAR e CPC, respectivamente. Campina Grande-PB.	122
Figura 26. Classificação dos táxons coletados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	125
Figura 27. Famílias de Coleoptera observada no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Foto A: sp.1 (incertae sedis); Foto B: Larva de Phalacridae; Foto C: Adulto de Phalacridae; Foto D: Silvanidae. Campina Grande-PB.	133
Figura 28. Postura de ovos de <i>Hermetia illucens</i> sob estereomicroscópio. Campina Grande-PB.	135
Figura 29. Larvas de <i>Hermetia illucens</i> sob estereomicroscópio. Campina Grande-PB.	135
Figura 30. Divisão do torácico, abdominal e cabeça da larva da <i>Hermetia illucens</i> . Campina Grande-PB.	138
Figura 31. Estrutura da <i>Hermetia illucens</i> . Foto A: Região anal. Foto B: Cabeça. Campina Grande-PB.	138
Figura 32. Vista ventral da pupa da <i>Hermetia illucens</i> . No detalhe, destaca-se as cerdas.	140
Figura 33. <i>Hermetia illucens</i> na forma adulta. Foto A: Exúvia solta na massa do substrato. Foto B: Adulto da <i>Hermetia illucens</i> saindo da pupa. Foto C: Asas atrofiadas da <i>Hermetia illucens</i> logo após emergência. Campina Grande-PB.	142
Figura 34. <i>Hermetia illucens</i> adulto. Foto A: Halteres. Foto B: Destaque no escutelo e primeiro segmento abdominal. Foto C: Antena espatulada. Foto D: pernas. Foto E: Olhos compostos. Foto F: Asas hialinas. Campina Grande-PB.	144

Figura 35. Dimorfismo sexual de adulto de <i>Hermetia illucens</i> sob estereomicroscópio. Foto A - Fêmea. B – Macho. Campina Grande-PB.	145
Figura 36. <i>Musca domestica</i> na forma larval 3ª instar, com seus 12 segmentos, com pseudocéfalo (pc), segmentos torácicos (t1 a t3), segmentos abdominais (a1 a a3) e a divisão anal (ad). Em destaque: Es.a: Espiráculo anterior; Es.p: Espiráculo posterior; l.a: Lobo anal. Campina Grande-PB.	147
Figura 37. Larva de 3 instar da <i>Musca domestica</i> . Foto A: Esqueleto cefalofaríngeo de larva madura, aspecto lateral. Foto B: Aspecto ventral do pseudocéfalo. b - boca. Foto C e D: Aspecto frontal e lateral da extremidade anterior da larva madura com destaque: p.c – pseudocéfalo; t.o – tubérculo óptico; e.m – esclerito mandibular. Campina Grande-PB.	148
Figura 38. Larva da <i>Musca domestica</i> . Foto A: Espiráculo anterior. Foto B e C: Extremidade posterior da larva com destaque do espiráculo posterior em forma de M. Campina Grande-PB.	149
Figura 39. Estágio pupário da <i>Musca domestica</i> . Foto A: pupa. Foto B: exúvia deixada na massa de substrato. Campina Grande-PB.	150
Figura 40. <i>Musca domestica</i> na forma adulta. Foto A: espécime saindo da pupa. Foto B: espécime recém emergida com asas atrofiadas (em destaque).	151
Figura 41. Adulto da <i>Musca domestica</i> . Foto A: Vista dorsal. Foto B: Vista frontal. Foto C: Destaque no aparelho bucal lambedor. Campina Grande-PB.	151
Figura 42. Vista dorsal do exemplar adulto de <i>Musca domestica</i> evidenciando (em destaque) a posição dos olhos dicópticos utilizada na caracterização sexual.	152
Figura 43. Fases da <i>Ornidia obesa</i> durante o sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB. Foto A: Larva; Foto B: Pupas; Foto C e D: <i>Ornidia obesa</i> na forma adulta. Campina Grande-PB.	155
Figura 44. Espécimes de <i>Drosophila melanogaster</i> no sistema de compostagem resíduos sólidos orgânicos. Foto A: Larva. Foto B: Larva com destaque no aparelho bucal. Foto C e D: <i>Drosophila melanogaster</i> adulto. Campina Grande-PB.	155
Figura 45. Ácaros da família Parasitidae sobre o corpo de formigas observadas no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	157
Figura 46. Espécimes da <i>Paratrechina longicornis</i> carregando pupas de <i>Musca domestica</i> no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	158
Figura 47. Estágio de Formicidae observados no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB. Foto A: Larva; Foto B: Pupa; Foto C: Adulto. Campina Grande-PB.	158
Figura 48. Estrutura morfológica do corpo da família Formicidae observada no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	159

Figura 49. Pteromalidae (Spalangia sp.). Foto A: Espécime de Pteromalidae observada no sistema de compostagem. Foto B. Destaque de ácaros sobre o corpo da vespa. Campina Grande-PB.	161
Figura 50. Espécime da família Gryllidae na parede da composteira CCR. Campina Grande-PB.	162
Figura 51. Espécime da família Theridiosomatidae. Campina Grande-PB.....	163
Figura 52. Indivíduos de Cubaris murina observados no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB. Foto A e B: o adulto mostrando sua capacidade volvocional. Foto C: visão ventral da espécie. Foto D: visão dorsal da espécie. Campina Grande-PB.....	164
Figura 53. Ninfa e adulto de Orius insidiosus. Foto A: Ninfa de estágio 3. Foto: Ninfa de estágio 4. Foto C: Ninfa de estágio 5. Foto D: Adulto. Vista dorsal. Foto E: Adulto. Vista ventral. Foto F: Adulto. Vista lateral. Campina Grande-PB.....	167
Figura 54. Macho da família Anisolabididae. Foto A: Vista dorsal. Foto B: Vista ventral. .	169
Figura 55. Ácaros da família Macrochelidae analisados em microscópio estereomicroscópio. Campina Grande-PB.....	170
Figura 56. Ácaros da família Parasitidae analisados em microscópio estereomicroscópio. Em destaque, ácaros de diferentes tamanhos sob um graveto. Campina Grande-PB.....	170
Figura 57. Em destaque, diferentes tamanhos de ácaros sobre graveto de madeira, analisado em microscópio estereomicroscópio.	171
Figura 58. Gráficos de superfície dos ácaros da família Parasitidae e Macrochelidae no sistema de compostagem CCR, CAR e CPC, respectivamente. Campina Grande-PB.	172
Figura 59. Formas imaturas de ácaros nos resíduos orgânicos domiciliares. Objetiva de 40x. Foto A: ovos de ácaros. Foto B: larva de ácaro. Foto C e D: protoninfa de ácaro.....	173
Figura 60. Associação dos ácaros com os demais insetos no sistema de compostagem. Foto A: Ácaros no Coleóptero da família Phalacridae. Foto B: Ácaros sobre a Spalangia sp. Foto C: Ácaros na Hermetia illucens. Foto D: Ácaros sobre o corpo de Paratrechina longicornis.....	175
Figura 61. Paramecium sp. observados no sistema de compostagem. Objetiva de 10x.....	178
Figura 62. Fungos observados no sistema de compostagem. Foto A, B, D e E: filo Ascomycota. Foto C e F: filo Basidiomycota. Campina Grande-PB.	179
Figura 63. Líquens observados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	179
Figura 64. Concentração de ovos de helmintos ao longo do processo de compostagem. Campina Grande-PB.....	181
Figura 65. Valores médios de ovos de helmintos no sistema de composteira de concreto retangular (CCR) durante a compostagem. Campina Grande-PB.....	183
Figura 66. Valores médios de ovos de helmintos no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) durante a compostagem. Campina Grande-PB.....	183

Figura 67. Valores médios de ovos de helmintos no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC) durante a compostagem. Campina Grande-PB.	184
Figura 68. Ovos total de helmintos no sistemas de compostagem.....	185
Figura 69. Quantidade de helmintos identificados em material composto orgânico submetido a diferentes sistemas de compostagem e tempo.	186
Figura 70. Ovos de helmintos observados no sistema de compostagem em objetiva de 40x. Foto A: ovo de <i>Ascaris lumbricoides</i> viável; Foto B: ovo de <i>Ascaris lumbricoides</i> viável com destaque na membrana mamilonada; Foto C: ovo de <i>Ancylostoma</i> sp. No centro destaca-se a larva. Foto D: ovo de <i>Trichuris trichiura</i> inviável. Foto E: <i>Enterobius vermiculares</i> viável. Foto F: ovos de <i>Hymenolepsis nana</i> . Campina Grande-PB.....	189
Figura 71. Diferentes estágios de desenvolvimento larvais e pupário de <i>Musca domestica</i> , <i>Hermetia illucens</i> e <i>Drosophila melanogaster</i> sobre a massa de substrato. Campina Grande-PB.	190
Figura 72. Mesoinvertebrados coletados nas diferentes fases do sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.	198
Figura 73. Mesoinvertebrados coletados nas diferentes fases do sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.....	201
Figura 74. Mesoinvertebrados coletados nas diferentes fases do sistema de composteira de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande-PB.	203
Figura 75. Representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema CCR. Campina Grande-PB.	216
Figura 76. Análise de componentes Principais (PCA) no sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.....	217
Figura 77. Representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema CAR. Campina Grande-PB.	218
Figura 78. Análise de componentes Principais (PCA) no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.....	219
Figura 79. Representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema CPC. Campina Grande-PB.	220
Figura 80. Análise de componentes Principais (PCA) no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC). Campina Grande-PB.	221
Figura 81. Dendrograma obtido pela UPGMA, representando a similaridade entre as amostras (Morisita-Horn), baseado nas espécimes encontradas no sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.....	222
Figura 82. Dendrograma obtido pela UPGMA, representando a similaridade entre as amostras (Morisita-Horn), baseado nas espécimes encontradas no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.....	223

Figura 83. Dendrograma obtido pela UPGMA, representando a similaridade entre as amostras (Morisita-Horn), baseado nas espécimes encontradas no sistema de composteira de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande-PB.	224
Figura 84. Correlação entre os principais parâmetros monitorados no sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.	225
Figura 85. Correlação entre os principais parâmetros monitorados no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.	226
Figura 86. Correlação entre os principais parâmetros monitorados no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC). Campina Grande-PB.....	226
Figura 87. Taxa de biodegradação de STV nos diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.	229
Figura 88. Sólidos totais voláteis em relação aos dias de compostagem sobre os mesoinvertebrados. Campina Grande-PB.....	232
Figura 89. Composto gerado no experimento de compostagem de resíduos orgânicos. Foto A e D: adubo tipo pó. Foto B: adubo tipo farelo. Foto C: adubo tipo rejeito. Foto E: os três adubos gerados. Campina Grande-PB.	234
Figura 90. Germinação de sementes de tomateiro (<i>Solanum lycopersicum</i>). Foto A: dia 01. Foto B: dias 02-03. Foto C: dia 04-06. Foto D: dia 08-12. Foto E: dias 14-18. Campina Grande-PB.	239
Figura 91. Porcentagem de germinação de sementes em composto gerado pelo tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar e composto controle adquirido em supermercado. Campina Grande-PB.	240
Figura 92. Índice de crescimento de germinação das sementes em composto gerado pelo tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar e composto controle adquirido em supermercado. Campina Grande-PB.	241

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração máxima permitida de agentes patogênicos no composto orgânico em diferentes países.....	64
Tabela 2. Concentração limites de metais pesados para composto orgânico de acordo com a legislação de diferentes países.	65
Tabela 3. Sistemas de composteiras. Foto A: composteiras de aço inoxidável (CAR); Foto B: composteiras de concreto retangular (CCR); Foto C: composteiras de polietileno cilíndrico (CPC).....	74
Tabela 4. Interpretação referente ao coeficiente de correlação (r).	94
Tabela 5. Quantificação dos resíduos orgânicos domiciliares gerados pelas famílias participante da pesquisa. Campina Grande-PB.	96
Tabela 6. Características físicas, química, biológicas e sanitárias dos resíduos sólidos orgânicos coletados no condomínio residencial Dona Lindú IV. Campina Grande-PB.....	101
Tabela 7. Prevalência de ovos de helmintos encontrado nos resíduos orgânicos. Campina Grande-PB.	103
Tabela 8. Famílias e espécies presentes nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares e os respectivos valores de abundância e frequência relativa (%) nos três sistemas de compostagem. Campina Grande-PB.....	126
Tabela 9. Densidade de mesoinvertebrados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	128
Tabela 10. Índices ecológicos de mesoinvertebrados nos sistemas de compostagem. Campina Grande-PB.	129
Tabela 11. Análise de variância da quantidade de helmintos identificados em material composto orgânico submetido a diferentes sistemas de compostagem e tempo.	185
Tabela 12. Análise de variância da quantidade de ovos de helmintos encontrados em material composto orgânico submetido a diferentes sistemas de compostagem e tempo.	187
Tabela 13. Abundância dos mesoinvertebrados ao longo dos dias de coleta e das fases de decomposição no sistema de concreto retangular (CCR). Legenda = MF: Mesófila; TM: Termófila ou degradação ativa; SC: Semi-cura; EZ: Estabilização. Campina Grande-PB....	200
Tabela 14. Abundância dos mesoinvertebrados ao longo dos dias de coleta e das fases de decomposição no sistema composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Legenda = MF: Mesófila; TM: Termófila ou degradação ativa; SC: Semi-cura; EZ: Estabilização. Campina Grande-PB.	202
Tabela 15. Abundância dos mesoinvertebrados ao longo dos dias de coleta e das fases de decomposição no sistema composteiras de polietileno cilíndrica (CPC). Legenda = MF:	

Mesófila; TM: Termófila ou degradação ativa; SC: Semi-cura; EZ: Estabilização. Campina Grande-PB.	205
Tabela 16. Resumo das relações quantitativas e mesoinvertebrados representativos das diferentes fases da decomposição de resíduos sólidos orgânicos em sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.	206
Tabela 17. Resumo das relações quantitativas e mesoinvertebrados representativos das diferentes fases da decomposição de resíduos sólidos orgânicos em sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.	207
Tabela 18. Resumo das relações quantitativas e mesoinvertebrados representativos das diferentes fases da decomposição de resíduos sólidos orgânicos em sistema de composteira de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande-PB.	207
Tabela 19. Dados quantitativos da massa de biodegradação obtidos nos sistemas de compostagem.	228
Tabela 20. Composição inicial e final da massa dos diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.....	233
Tabela 21. Características dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares e do composto resultante nos diferentes tratamentos de compostagem. Campina Grande-PB.....	235
Tabela 22. Macronutrientes em compostos resultante nos diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.....	237
Tabela 23. Micronutrientes em compostos resultante nos diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.....	238
Tabela 24. Concentração de metais pesados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.	238
Tabela 25. Autovalor e porcentagem cumulativa de variância no sistema de composteiras CCR	272
Tabela 26. Autovalor e porcentagem cumulativa de variância no sistema de composteiras CAR	272
Tabela 27. Autovalor e porcentagem cumulativa de variância no sistema de composteiras CPC.....	273

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Principais componentes dos resíduos orgânicos	32
Quadro 2. Estratégias e regulamentos atuais que regem os resíduos orgânicos em diferentes países.	37
Quadro 3. Características taxonômicas dos organismos que participam do processo de compostagem	51
Quadro 4. Exemplos de organismos patogênicos encontrados durante a compostagem e doenças humanas associadas.	55
Quadro 5. Condições adversas à sobrevivência de organismos patogênicos.....	57
Quadro 6. Tipos de resíduos orgânicos compostados e efeitos observados no solo.	61
Quadro 7. Parâmetros físicos, químicos e biológicos dos resíduos sólidos orgânicos coletados em condomínio residencial, em Campina Grande-PB.....	82
Quadro 8. Tratamento e repetições do teste de fitotoxicidade por metais pesados. Campina Grande-PB.	93
Quadro 9. Características, avanços e limitações das composteiras utilizadas no tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.....	107
Quadro 10. Dominância e constância de mesoinvertebrados no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos coletados em condomínio residencial. Campina Grande-PB.....	130
Quadro 11. Fases observáveis no período de 93 dias do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos coletados no condomínio residencial. Campina Grande-PB.....	191
Quadro 12. Guildas no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.....	213
Quadro 13. Serviços ecossistêmicos prestados pelos organismos no sistema de compostagem	214
Quadro 14. Quantidade de NPK no composto gerado no sistema de compostagem e as quantidades de NPK em 10 t/ha, 15 t/ha e 20 t/ha que podem ser levada ao solo. Campina Grande-PB.....	237

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

BNDS - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES

CE – Conselho Europeu

CAR – Composteiras de Aço Inoxidável Retangular

CCR - Composteiras de Concreto Retangular

CPC - Composteiras de Polietileno Cilíndrico

CIC - Catação, Identificação e Contagem

C/N – Relação de Carbono e Nitrogênio

COT – Carbono Orgânico Total

DQO – Demanda Química de Oxigênio

gST – Gramas por Sólidos Totais

LabGGEA - Grupo de Extensão e Pesquisa em Gestão e Educação Ambiental

MDS - Escalonamento Multidimensional

NMP – Número Mais Provável

NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio

OMS – Organização Mundial de Saúde

pH – Potencial Hidrogeniônico

RSO - Resíduos Sólidos Orgânicos

SF – Sólidos Fixos

ST – Sólidos Totais

STV – Sólidos Totais Voláteis

SITRADERO - Sistema Móvel de Tratamento Aeróbio Descentralizado de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

UFC – Unidades Formadoras de Colônias

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	20
2 OBJETIVOS.....	23
2.1 Geral.....	23
2.2 Específicos.....	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1 Resíduos sólidos e a problemática ambiental.....	25
3.2 Resíduos sólidos orgânicos e seu potencial de transformação sustentável.....	31
3.3 Compostagem dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares em diferentes países.....	35
3.3.1. Tecnologias sociais e sistemas descentralizados para tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos.....	40
3.3.2 Parâmetros físico-químicos e biológicos durante a compostagem.....	43
3.3.3 Composto orgânico.....	59
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	68
4.1 Caracterização da pesquisa.....	68
4.2 Caracterização da área de estudo.....	68
4.3 Etapas e instrumentos de coleta de dados.....	72
4.3.1 Características do sistema experimental.....	72
4.3.2 Tecnologias sociais.....	73
4.3.3 Coleta dos resíduos sólidos orgânicos.....	77
4.3.4 Montagem das composteiras.....	78
4.3.5 Variáveis analisadas.....	82
4.3.6 Avaliação da qualidade do composto orgânico originado em sistema de compostagem.....	91
4.4 Análise estatística.....	94
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	96
5.1 Caracterização dos resíduos sólidos.....	96
5.2 Caracterização física, química e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.....	100
5.3 Descrição das ocorrências diárias nas composteiras.....	106
5.4 Parâmetros físicos e químicos do sistema de compostagem.....	109
5.4.1 Teor de umidade.....	109
5.4.2 Temperatura.....	113

5.4.3	Potencial hidrogeniônico (pH)	116
5.4.4	Sólidos voláteis, Carbono Orgânico Total e Demanda Química de Oxigênio.....	118
5.5	Curva de acumulação e rarefação das espécies amostrais.....	121
5.6	Organismos identificados no sistema de compostagem.....	124
5.6.1	Ecologia, comportamento e bionomia das famílias	131
5.7	Sucessão ecológica durante as fases do tratamento aeróbio dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.....	190
5.8	Análise temporal dos mesoinvertebrados	197
5.9	Caracterização estrutural e funcional da comunidade na compostagem	208
5.10	Análise multivariada	216
5.11	Análise de correlação entre os principais parâmetros monitorados durante a compostagem	225
5.12	Massa de biodegradação	228
5.13	Transformação do substrato em composto nos tratamentos	233
5.14	Teste de fitotoxicidade.....	239
5.15	Impactos mitigados	241
6	CONCLUSÃO.....	243
7	DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES	245
	REFERÊNCIAS	247
	ANEXOS	272

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos constituem foco de debates em diferentes setores da sociedade brasileira, seguindo o perfil de outros países, tendo em vista os impactos negativos acarretados aos sistemas ambientais, econômicos e sociais (SILVA *et al.*, 2020). Dentre os resíduos sólidos urbanos, os resíduos sólidos orgânicos acarretam riscos à saúde ambiental e humana, pois o acúmulo e descarte inadequado beneficia a ação de organismos anaeróbios e, conseqüentemente, promove a formação de chorume e gases do efeito estufa, a exemplo do metano e dióxido de carbono, contribuindo para o aquecimento global (KAZA *et al.*, 2018). Além da proliferação de vetores transmissores de doenças, como salmonelose, amebíase, ascaridíase (FREITAS *et al.*, 2020); todas as doenças resultantes da insalubridade ambiental.

Ressalta-se que os efeitos combinados das mudanças climáticas e das práticas insustentáveis de uso da terra, a exemplo do descarte dos resíduos sólidos orgânicos, sem nenhuma forma de tratamento, estão promovendo a contaminação e erosão dos solos a uma taxa insustentável, ameaçando a segurança alimentar em todo o mundo. No entanto, Ricci-Jürgensen; Gilbert e Ramola (2020) destacam que a erosão e a perda de matéria orgânica sanitizada do solo podem ser potencialmente reduzidas com a aplicação de composto de alta qualidade.

O desafio é, portanto, vincular a coleta seletiva, especialmente nas cidades, com o tratamento e destinação final adequada dos resíduos sólidos orgânicos, promovendo o retorno da matéria orgânica do solo na forma de húmus. Sem essa circularidade, parece provável que a capacidade de nosso solo de se manter produtivo diminui ano a ano; juntamente com uma população global crescente (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

Como forma de eliminar e/ou minimizar os impactos negativos oriundos da geração e descarte inadequado dos resíduos sólidos urbanos, e promover um manejo eficiente, especialmente da parcela orgânica, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída na Lei nº 12.305/2010, possui um conjunto de ações que visa a busca de soluções para os resíduos sólidos, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável, destacando, dentre elas, a compostagem como uma forma de destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos orgânicos (BRASIL, 2010).

A compostagem é alternativa eficaz para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, recuperando os nutrientes e energia a partir da ação de uma população diversificada de organismos autóctones em ambiente com condições favoráveis. Além disso, elimina e/ou inviabiliza a concentração de patógenos. Consiste em um caminho que conduz à

sustentabilidade (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017). Contribui, dessa forma, para redução dos danos ao meio ambiente e à saúde pública (SILVA, 2020). Araújo *et al.* (2019b) acrescentam que o uso da tecnologia social para compostagem de resíduos sólidos orgânicos é uma técnica que precisa ser construída e estudada a partir das necessidades que se deseja alcançar.

A compostagem dos resíduos sólidos orgânicos promove a transformação de um material tóxico ao meio ambiente e à saúde pública, em um composto sanitizado e higienizado, que pode ser usado como condicionador e melhorador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como fonte de nutrientes para plantas, além de ser benéfica à produtividade na agricultura, de hortas, jardins e parques públicos, reduzindo a erosão, a acidez e melhorando o escoamento superficial (ARAÚJO *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2021).

A compostagem vem ganhando notoriedade por ser uma técnica simples e de baixo custo para sanitização da matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2020c). Sob os princípios da tecnologia social, a compostagem além de ser uma alternativa para tratamento da parcela orgânica em escala comunitária e/ou descentralizada, constitui um importante passo ao alcance dos objetivos delineados na Política Nacional de Resíduos Sólidos. De fato, devido à complexidade do sistema de compostagem, a qual envolve uma diversidade de organismos aeróbios e exotérmicos, a exemplo de bactérias, fungos, actinomicetes, protozoários e mesoinvertebrados (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020), a natureza do organismo e/ou comunidade, o número de espécies e a intensidade da atividade de decomposição dependem das condições favoráveis do meio (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017). Logo, o modelo da tecnologia usada para o tratamento da parcela orgânica por meio da compostagem é fundamental para criar condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento dos organismos. Sendo assim, quando mal projetada pode ser um fator limitante aos organismos aeróbios, influenciando diretamente na qualidade final do composto (ARAÚJO, 2018).

Avaliando o processo de compostagem de resíduos vegetais e esterco em dois sistemas de fardos e um sistema controle, Delgado *et al.* (2015) observaram que a quantidade e diversidade de artrópodes variaram entre os fardos e foram significativamente maiores que o controle, identificando que o tipo de sistema de compostagem pode influenciar nos organismos que participam da decomposição da matéria orgânica e na qualidade do composto.

Dessa forma, para obter um composto orgânico de qualidade, os organismos devem encontrar na compostagem, um habitat que favoreça seu nicho ecológico, ao qual disponham

dos recursos necessários para sua existência e dos seus descendentes, como espaço, habitat, alimento, água e local para descarte dos dejetos (MADIGAN *et al.*, 2016).

Entende-se que a ação dos organismos aeróbios durante o tratamento da parcela orgânica dos resíduos sólidos em sistema de compostagem, expressa as relações de um sistema ecológico, logo, ocorrem dentre outras, as cadeias tróficas, o ciclo da matéria, o fluxo de energia, a sucessão ecológica e as atividades que permitem a homeostase do próprio sistema (ARAÚJO, 2018). Por conseguinte, a compostagem favorece a continuidade das espécies, ao mesmo tempo em que soluciona um dos principais problemas que concorrem para o desequilíbrio ambiental. Embora, poucos estudos tenham-se voltados para a temática.

Diante do exposto, alguns questionamentos fundamentaram a elaboração deste trabalho: A aplicação de sistemas de compostagem, com base nos princípios da tecnologia social, promoverá o tratamento aeróbio dos resíduos sólidos orgânicos, minimizando os riscos sanitários ao meio ambiente e a saúde humana? O modelo de tecnologia aplicado influenciará na ação biológica dos organismos e, conseqüentemente, na qualidade do composto final? Como ocorre a sucessão ecológica desses organismos? Quais são os níveis de tolerância dos organismos ao meio? Quais são os organismos que participam das diferentes fases de degradação dos resíduos sólidos orgânicos, correlacionando com os parâmetros físicos e químicos? Qual é o papel desses organismos na degradação da matéria orgânica?

Esses questionamentos constituem a base para a formulação da hipótese: a aplicação de modelos de tecnologias sociais para o tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares permitirá a análise da ação sinérgica de um grupo diversificado de organismos, que atua conforme os princípios da sucessão ecológica, possibilitando o entendimento das diferentes fases que compõem o processo e resultando na produção de composto com qualidade sanitária e agrícola.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar a aplicação de tecnologias sociais no tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, que favoreçam a ação sinérgica de um conjunto diversificado de táxons essenciais.

2.2 Específicos

- Investigar a eficiência dos modelos de composteiras de resíduos sólidos orgânicos domiciliares para atividade metabólica dos organismos;
- Analisar os parâmetros físicos, químicos e biológicos nas diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares;
- Identificar os mesoinvertebrados nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, com ênfase na ampliação do conhecimento ecológico dos táxons;
- Fornecer informações binômicas associadas aos mesoinvertebrados durante as fases do processo de compostagem;
- Compreender a diversidade e a sucessão ecológica de organismos associados ao tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em sistema descentralizado.
- Analisar o potencial dos mesoinvertebrados como possíveis bioindicadores da qualidade do composto orgânico;
- Correlacionar os organismos com os parâmetros físico-químicos monitorados durante o sistema de tratamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares;
- Avaliar a qualidade sanitária do composto resultante dos sistemas de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares;

- Verificar a diferença taxonômica da composição da entomofauna em diferentes tratamentos de compostagem
- Avaliar a fitotoxicidade do composto gerado no sistema de compostagem.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos sólidos e a problemática ambiental

O debate sobre população e o crescimento demográfico teve início antes mesmo dos escritos de Thomas Malthus no final do século XVIII e começou de forma otimista, impulsionado pelas esperanças iluministas que apostaram todas as suas fichas no desenvolvimento (ALVES, 2014). Essas discussões voltaram a ser fortalecidas nas últimas décadas, em decorrência do processo de urbanização e dos níveis elevados de exploração de recursos naturais para atender as demandas das sociedades.

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, realizada em junho de 1992, na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, firmou um compromisso de um desenvolvimento urbano que propiciasse condições à criação de cidades sustentáveis, para as presentes e futuras gerações. O desabamento de diferentes ideologias e as transformações geopolíticas mostraram que era imperativo a formação de um senso comum ambientalmente sustentável, justo e corresponsável, capaz de mitigar os impactos negativos oriundos do processo de produção e consumo desenfreado exercido entre os países (PHILIPPI JÚNIOR; PELICIONI, 2014).

Passadas três décadas após a Eco-92, um número expressivo de comunidades em todo o mundo ainda enfrenta vários problemas ambientais, principalmente em relação ao manejo e descarte dos resíduos sólidos. É quase burlesco conceber que em pleno século XXI, marcado pela era tecnológica e acesso à informação, os países não tenham uma frente de combate aos impactos negativos oriundos dos resíduos sólidos.

Todo ano, cerca de 11,2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos são gerados no mundo (UNEP, 2018b). Aproximadamente 50% dos resíduos sólidos urbanos gerados em Gana sequer são coletados (SARFO-MENSAH *et al.*, 2019). Esse percentual chega a 66% na África do Sul (KUBANZA; SIMATELE, 2019) e 80% na Tanzânia (NYAMPUNDU; MWEGOHA; MILLANZI, 2020).

Segundo o diagnóstico do Sistema Nacional de Informação de Saneamento – SNIS, no ano de 2021, embora o serviço regular de coleta urbana de resíduos sólidos no Brasil seja significativo (89,9%), ainda não abrange a totalidade da população. Esses resíduos, na maioria das vezes, são aterrados sem nenhum tipo de triagem ou tratamento prévio, diminuindo a vida útil dos aterros sanitários e gerando impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública. A coleta seletiva na fonte geradora ocorre em apenas 32% dos municípios (BRASIL, 2021),

muitas vezes, como resultado de ações pontuais ou trabalho de associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis que, comumente, não recebem remuneração pelos serviços prestados às prefeituras.

O Brasil enfrenta problemas básicos relacionados aos resíduos sólidos, como as dificuldades no aumento da abrangência do serviço público de coleta e limpeza, persistência de lixões, coleta seletiva ineficaz, ausência de alternativas tecnológicas para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos (MANNARINO *et al.*, 2016), logística reversa ineficiente, exclusão social dos catadores de materiais recicláveis, ausência de responsabilidade compartilhada dos resíduos sólidos gerados pela população (CAVALCANTE, 2018), e carência de programas de educação ambiental (SILVA *et al.*, 2020b).

Esses problemas tornaram-se mais significativos durante a pandemia da Covid-19. De acordo com Araújo (2021b) ocorreu flexibilidade dos serviços de saneamento básico em todo o mundo. Mesmo os países que já tem investimentos como automação dos serviços, coleta diferenciada e equipamentos de proteção individual e coletiva, apresentaram dificuldades e alguns países interromperam a coleta seletiva.

A má gestão dos resíduos sólidos decorre da falta de conhecimento de como os resíduos sólidos podem ser bem geridos e que isso leva à tomada de decisões erradas (KUBANZA; SIMATELE, 2019). O cerne da questão, na maioria das situações, não é a ausência de Políticas Públicas voltadas para gestão integrada de resíduos sólidos, mas a falta de aplicabilidade dessas Políticas e Leis, contribuindo para um sistema de gestão pobre e ineficaz (SARFO-MENSAH *et al.*, 2019).

Este é o principal desafio para garantir a gestão sustentável dos resíduos sólidos. Isso se tornou um grande obstáculo institucional que muito contribui para a atual má gestão de resíduos sólidos nas grandes cidades e em comunidades rurais do país (SARFO-MENSAH *et al.*, 2019). Há evidências frustrantes por parte das autoridades locais em aplicar os estatutos relativos à sanção de infratores.

O Brasil é um dos países com arcabouço legal mais rico e abrangente, composto por diversidade de leis, decretos e instruções normativas e jurídicas que buscam a preservação e conservação ambiental, bem como a mitigação dos efeitos deletérios ao meio ambiente e à saúde pública. No que refere à gestão de resíduos sólidos, destacam-se: a Política Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 1981), a Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988), a Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998), o Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001),

a Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Na verdade, as pessoas reconhecem os resíduos sólidos como um problema de ordem humana e ambiental (CAVALCANTE, 2018; SILVA, 2020), mas a ironia é que esse reconhecimento e preocupação, infelizmente, não os impedem de continuarem descartando seus resíduos em terrenos baldios e canais pluviométricos.

Nyampundu, Mwegoha e Millanzi (2020) realizaram pesquisa com fornecedores e comerciantes no mercado público da cidade de Dodoma, Tanzânia, e identificaram que o mercado tinha um plano de gestão de resíduos sólidos, muito embora nenhum dos entrevistados tivesse qualquer conhecimento sobre o manejo correto e sustentável dos resíduos sólidos, promovendo um sistema ineficaz de coleta, armazenamento e destinação final dos resíduos sólidos locais. Segundo os autores, não havia aplicação do princípio de corresponsabilidade entre os entrevistados pelos resíduos sólidos gerados. Os fornecedores e comerciantes entrevistados acabavam por transferir a responsabilidade apenas aos gestores públicos. Como resultado, as pessoas descartam resíduos sólidos no chão, deixando-os sujos, cheios de moscas e com mau cheiro.

Araújo (2018) realizou entrevista com moradores de um bairro de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil e observou que o público entrevistado reconheceu os impactos negativos relacionados à falta de gestão de resíduos sólidos, mas a maioria não realizava a coleta seletiva, destinando tais resíduos de forma misturada e não higienizada à coleta pública, mesmo com conhecimento de catadores de materiais recicláveis formais e informais atuando no bairro. Além disso, os moradores citaram que, por vezes, tendem a descartar os resíduos sólidos nos terrenos baldios do entorno, a exemplo de resíduos oriundos da poda de árvores e resíduos de construção civil.

Cavalcante e Silva (2015) identificaram que a ausência de coleta seletiva na fonte geradora expõe os catadores de materiais recicláveis ao contato direto com diferentes materiais, a exemplo de resíduos sanitários, orgânicos e perfurocortantes.

Cavalcante, Silva e Lima (2016) realizaram procedimento com raspagem do conteúdo das mãos dos catadores de materiais recicláveis. Nas amostras resultantes das culturas bacteriológicas foi possível identificar a presença de *Enterobacter* spp. (50,0%) e *Citrobacter* spp. (25,0%); para as culturas fúngicas foi encontrado o gênero *Candida* spp (75,0%). De acordo com os autores, esses resultados mostram que além do risco biológico, há exacerbação

de problemas socioambientais representados, sobretudo pelas condições insalubres a que estão expostos esses profissionais, atingindo ainda mais aqueles que atuam na informalidade.

Destaca-se que, em tempo de pandemia do Coronavírus, os riscos tornaram-se ainda mais significativos, em virtude da geração de resíduos sólidos potencialmente contaminados com o vírus SARS-CoV-2 (Coronavírus) e suas variações, responsável pela pandemia que já matou milhões de pessoas no mundo (ARAÚJO *et al.*, 2021b).

Se o hábito de separar os resíduos sólidos na fonte geradora for acolhido pela população, os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos serão obtidos e vários impactos serão mitigados (SILVA *et al.*, 2020b). Contudo, há uma percepção predominante que esses materiais não servem mais e que devem ser descartados, sem a devida preocupação com as consequências (SILVA, 2020).

Tal postura acaba transformando corpos d'água em lixeiras, contamina solos, entope galerias pluviométricas, promove o alagamento de cidades, o ar fica imerso à poluição, ocorre deploração do aspecto visual, favorece a proliferação de vetores, e afeta o desenvolvimento socioeconômico (MENDES *et al.*, 2020; NYAMPUNDU; MWEGOHA; MILLANZI, 2020). Provocam a diminuição ou mesmo a perda da biodiversidade nas áreas de abrangência direta e indireta de onde são dispostos (SILVA, 2020; SILVA *et al.*, 2020d); prejudicam o trabalho dos catadores de materiais recicláveis quando não são segregados na fonte geradora, restringindo o valor econômico da parcela reciclável seca e põem em risco a saúde desses trabalhadores (CAVALCANTE, 2018).

Segundo *et al.*, (2020b) os resíduos sólidos descartados em locais inadequados representam riscos de contaminação para os seres humanos, sobretudo, ao ponderar a composição da parcela orgânica que detém condições favoráveis para abrigar organismos diferentes, dentre esses, os patógenos, como helmintos, bactérias, fungos e vírus, a exemplo do coronavírus.

No Líbano, o fracasso em desenvolver e executar um Plano Nacional de Gestão de Resíduos de longo prazo com base nos princípios de saúde pública levou a centenas de lixões a céu aberto, e o problema é agravado com a queima desses materiais a céu aberto (BORJAC *et al.*, 2020). Os autores ainda complementam que o descarte de resíduos sólidos nesses locais tem promovido à contaminação da população local com metais pesados, compostos como ftalatos, bisfenóis e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Os habitantes são expostos por meio de contato dérmico ou ingestão da água contaminada através do lençol freático.

Além disso, em aterros, terrenos baldios e lixões, os resíduos sólidos orgânicos se decompõem em condições anaeróbias (ausência de oxigênio), criando gases potencialmente nocivos ao meio ambiente (CEC, 2017). Sem um sistema de coleta e controle, esses gases são liberados para a atmosfera atuando como gases do efeito estufa que aprisionam calor, contribuindo para aumento da temperatura global e promovendo doenças respiratórias, poluição do ar e, nos piores casos, smog fotoquímico.

Nos últimos anos, a concentração de dióxido de carbono alcançou a marca de 407,8 partes por milhão (ppm), nível ligeiramente acima da média obtida na década anterior (ONU, 2019). Segundo Kaza *et al.* (2018) cerca de 5% das emissões globais dos gases do efeito estufa equivalente de dióxido de carbono foram gerados a partir dos resíduos sólidos orgânicos, quando manejados de forma incorreta.

Além disso, considerado 25% mais poluente que o dióxido de carbono, a concentração média global de metano cresceu de 715 partes por milhão (ppm) durante o período pré-industrial para 1,869 partes por bilhão (ppb) em 2018, um aumento de 147%. Esse crescimento contínuo da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera implica que as gerações futuras enfrentarão impactos negativos significativos de mudanças climáticas (CEC, 2017). Alguns efeitos já podem ser observados atualmente, como aumento da temperatura global, derretimento das calotas polares, maior quantidade de raios e trovões, secas severas e perdas de ecossistemas inteiros.

Nessa perspectiva, observa-se que o fator de impacto dos resíduos sólidos no mundo é agressivo e acumulativo. Não é só um problema de países em desenvolvimento, mas é um problema que acomete a todos indiscriminadamente. Apesar disso, a quantidade de lixões e terrenos baldios a céu aberto ainda é bastante significativa (CAVALCANTE *et al.*, 2017; CAVALCANTE, 2018; SILVA, 2020d).

Atualmente, cerca de 15 milhões de toneladas de resíduos sólidos são descartados em lixões e aterros controlados no Brasil (BRASIL, 2019), contrariando a Política Nacional de Resíduos Sólidos que previu prazos para desativação dos lixões até 2014 e recursos financeiros para que os resíduos sólidos passassem a ter uma melhor destinação no país (BRASIL, 2010). Passados treze anos da instituição da Lei 12.305/2010 e nove anos do vencimento do prazo para o fim dos lixões nos municípios brasileiros, observa-se que na prática, a Lei não foi cumprida.

Pesquisa realizada em mesorregiões do estado da Paraíba identificou 200 lixões a céu aberto e a maioria localiza-se no interior do estado (CAVALCANTE, 2018). Lima *et al.* (2020) complementam que grandes áreas do bioma Caatinga são desmatadas para darem espaços a

lixões, favorecendo, desse modo, a exploração errônea e desordenada, colocando em risco a sustentabilidade ambiental. Segundo os autores, a paisagem desfigurada do bioma é impactante e expressa um ambiente de severa degradação.

Em estudo realizado em dois lixões desativados situados em municípios do agreste e Cariri Paraibano, Faustino, Silva e Lima (2020) observaram que as áreas se encontram invariavelmente degradadas. Embora desativados, continuam gerando chorume e gases contribuintes para o efeito estufa. Os impactos adversos persistiram por vários anos, especialmente aqueles relativos à decomposição da matéria orgânica, em contaminação biológica e aos resíduos eletroeletrônicos.

Souza, Artigas e Lima (2015) também constataram que em áreas degradadas a fertilidade dos solos é sensivelmente alterada apresentando, principalmente, baixos níveis de potássio, podendo influenciar negativamente em relação ao estabelecimento de espécies mais exigentes quanto a esse elemento, sendo possível que várias espécies apresentem dificuldades para colonizar novamente esses ambientes. Situação que compreende um fator limitante à recuperação da área.

Estima-se que cerca de um terço do solo mundial esteja altamente degradado devido ao uso inadequado dos recursos naturais, à erosão, ao esgotamento de nutrientes e poluição. Nos últimos 40 anos, cerca de 30% das terras cultiváveis do mundo tornaram-se improdutivas, com uma estimativa de 10 milhões de hectares de terras agrícolas sendo perdidos pela erosão do solo todos os anos (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

A erosão dos solos pode levar à degradação do carbono orgânico do solo, que pode ser liberado como dióxido de carbono ou metano; ambos são gases de efeito estufa. A erosão do solo, portanto, pode contribuir para a mudança climática; enquanto, inversamente, aumentar a matéria orgânica do solo pode ajudar a sequestrar carbono (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

Scharlemann *et al.* (2014) observaram que a conversão da vegetação nativa em terras agrícolas gerou perdas entre 25-50% de carbono orgânico do solo na camada superficial. Lin *et al.* (2019) citam que nos últimos anos, a acidificação do solo se tornou um problema sério para a agricultura moderna na China, em decorrência, principalmente, do uso prolongado de fertilizantes nitrogenados acidificantes ou a ciclagem incompleta das espécies de nitrogênio no solo.

Sabe-se que a acidificação pode aumentar a mobilidade dos metais pesados no solo, os quais podem ser absorvidos pelas plantas (YANG *et al.*, 2010). Segundo Lin *et al.* (2019) o

solo poluído por metais pesados tem a capacidade de afetar a estrutura da comunidade e a biomassa microbiana.

Por outro lado, aumentar a concentração de matéria orgânica sanitizada é fundamental para recuperar o solo, uma vez que a matéria orgânica decomposta no solo contém compostos que promovem a nutrição vegetal, tanto no suprimento de nutrientes essenciais quanto no fornecimento de partículas físicas que, atraem e retêm íons, que influenciam diretamente no pH do solo. A matéria orgânica sanitizada também tem capacidade de ligar partículas minerais entre si, estabilizando agregados, de modo que a porosidade do solo seja mantida, além de regular a atividade de metais pesados e elementos potencialmente fitotóxicos como Al^{3+} e Mn^{2+} , em solos ácidos. Sendo amplamente reconhecida por seus efeitos benéficos aos organismos do solo (RICKLEFS; RELYEA, 2016).

3.2 Resíduos sólidos orgânicos e seu potencial de transformação sustentável

O conceito de resíduos sólidos orgânicos não está consolidado e sofre divergência em vários países. À medida que avança o conhecimento, novos conceitos são formados. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, resíduos sólidos orgânicos são qualquer material proveniente de uma planta ou animal que pode ser decomposto por microrganismos ou consiste em restos, resíduos ou produtos residuais de qualquer organismo (REFED, 2016).

Na Austrália é definida como matéria orgânica com capacidade de ser decomposta pela ação de processos biológicos (EPA, 2019). Segundo a União Européia, os resíduos sólidos orgânicos são os resíduos de jardim biodegradáveis, os resíduos alimentares e de cozinha das habitações, dos restaurantes, das unidades de produção e transformação de alimentos (UE, 2008).

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente conceitua resíduos sólidos orgânicos como aqueles representados pela fração orgânica dos resíduos sólidos, passível de compostagem, sejam eles de origem urbana, industrial, agrossilvipastoril ou outra (CONAMA, 2017).

Nesse contexto, resíduos sólidos orgânicos podem ser entendidos como todo material de origem animal ou vegetal, gerado pelas populações humanas é constituído por uma variedade de compostos orgânicos que são decompostos pela ação diversificada de organismos exotérmicos em ambiente com condições favoráveis (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

Os resíduos sólidos orgânicos podem variar em relação à sua origem, promovendo mudanças nas características químicas e físicas do material e na qualidade do produto final

resultante. Mas, de forma geral, a maior parte dos resíduos sólidos orgânicos apresenta os componentes encontrados no quadro 1.

Quadro 1. Principais componentes dos resíduos sólidos orgânicos

Componentes	Descrição
Carboidratos	<ul style="list-style-type: none"> • Uma boa fonte de energia; • Prontamente degradada durante a compostagem.
Proteínas	<ul style="list-style-type: none"> • Substâncias orgânicas complexas ricas em nitrogênio, enxofre e, às vezes, fósforo, além de carbono, hidrogênio e oxigênio; • Incluem componentes celulares e enzimas; • Particularmente predominante em resíduos alimentares; • Rapidamente degradadas durante a compostagem; • São hidrolisadas em aminoácidos, amidas e amônia; • Durante a decomposição, vários álcoois, ácidos orgânicos e aldeídos são produzidos e posteriormente transformados em dióxido de carbono e água.
Celulose	<ul style="list-style-type: none"> • Um polímero de glicose, presente nas plantas; • Uma boa fonte de energia; • Componente estrutural; • Facilmente degradado por fungos, bactérias e isópodes durante compostagem.
Lignina	<ul style="list-style-type: none"> • Um polímero complexo que forma o componente estrutural da madeira; • Presente em resíduos verdes lenhosos; • Degradada lentamente durante a compostagem; • Geralmente não degradada anaerobicamente.
Hemicelulose	<ul style="list-style-type: none"> • Composto da parede celular de sementes, palhas, madeira e algas; • Uma fonte de energia.
Pectina	<ul style="list-style-type: none"> • Polímero de ácido galacturônico; • Presente na parede celular de sementes, frutos e em partes de madeira; • Degradado durante a compostagem pela maioria dos microrganismos.
Lipídeos	<ul style="list-style-type: none"> • Gorduras e óleos, presentes como compostos de armazenamento e como componentes de células; • Rapidamente degradados durante a compostagem; • Fonte de energia; • Particularmente predominantes em resíduos de alimentos.
Lactose	<ul style="list-style-type: none"> • Presente no leite e derivados; • Facilmente degradada por bactérias de ácido lático.

Fonte: adaptado de Khatoon *et al.* (2017) e Gilbert; Ricci-Jürgensen; Ramola (2020).

Esses componentes dos resíduos sólidos orgânicos são importantes, pois são esses compostos que se transformam em substâncias mais simples durante o tratamento para ajudar a sustentar a atividade microbiana e criar subprodutos para manutenção do solo (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

Nessa perspectiva, os resíduos sólidos orgânicos são um recurso valioso, pois quando estabilizado, contém nutrientes para as plantas, aumenta a ação microbiana do solo, promove o retorno do húmus orgânico ao solo, pode ser utilizado como corretivo da acidez do solo e ao reciclá-los por meio de compostagem ajuda a devolver esses nutrientes e energia ao solo de onde foram originalmente derivados (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020); do contrário, pode constituir uma fonte potencial danosa ao meio ambiente e à saúde Pública (GOMES *et al.*, 2021).

Na concepção de Silva *et al.* (2020) a concentração de nutrientes nos resíduos sólidos orgânicos indica potencialidade para aplicação no solo, o que requer a estabilização e higienização adequada, e isso só será possível, através da técnica de compostagem.

Os resíduos sólidos orgânicos são gerados diariamente, principalmente nos grandes centros urbanos. Esses materiais compreendem cerca de 46% da produção global total de resíduos sólidos urbanos, representando, aproximadamente 2,6 milhões de toneladas de resíduos orgânicos gerados por dia (KAZA *et al.*, 2018).

Nos Estados Unidos, a produção da parcela orgânica chega ao percentual de 28% do total de resíduos urbanos gerados no país, provavelmente devido ao consumo elevado de produtos industrializados. Embora o percentual esteja abaixo da produção global, apenas 8,9% desses materiais são compostados, observando que a maioria da parcela orgânica termina em aterros sanitários (CEC, 2017; EPA, 2018).

Entre os países da América Latina e Caribe, a geração da parcela orgânica alcança o percentual de 52%, sendo a maior parcela dos resíduos provenientes de áreas urbanas de assentamentos locais na região (KAZA *et al.*, 2018). A quantidade de resíduos sólidos orgânicos chega ao percentual de 49% na Argentina, contudo 42,6% é resultado de desperdício alimentar (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020). No Brasil, estima-se que o percentual da geração de resíduos sólidos orgânicos seja de 50%, aproximadamente 40 milhões de toneladas de resíduos sólidos orgânicos por ano (KAZA *et al.*, 2018).

Na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil, foram realizados estudos sobre a composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos gerados pelos moradores em bairros

distintos, identificando um percentual de geração da fração orgânica de 52% no bairro Jardim Tavares (DANTAS, 2017), 68% no bairro Malvinas (NASCIMENTO *et al.*, 2017) e 80% no bairro Santa Rosa (SILVA *et al.*, 2014). De acordo com Silva (2020) essa geração pode variar, em virtude da realidade e consciência ambiental de cada região.

Apesar da grande quantidade de resíduos sólidos orgânicos ser gerada diariamente, estima-se que um terço deles não sejam gerenciados de uma maneira ambientalmente segura, levando à criação de odores, liberação de gases do efeito estufa na atmosfera, proliferação de organismos patogênicos e promovendo contaminação e poluição ambiental (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

Segundo Ricci-Jürgensen, Gilbert e Ramola (2020) menos de 13% dos resíduos sólidos orgânicos são coletados separadamente e tratados em instalações de compostagem. Esta estimativa não se refere apenas aos resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar, mas inclui resíduos sólidos orgânicos gerados em hotelaria, restaurante, estabelecimento de alimentação e do setor de produção.

Atualmente, locais como a cidade do México e Rosário, na Argentina, realizam a compostagem em cerca de 10% de seus resíduos (KAZA *et al.*, 2018). No Brasil, a compostagem dos resíduos orgânicos não ultrapassa 1% (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020), refletindo a falta de aplicabilidade legal.

A própria Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil (BRASIL, 2010) não tem um artigo amplo e específico que contemple as estratégias e recomendações mais adequadas para o manejo dos resíduos sólidos orgânicos. De acordo com Silva *et al.*, (2020) isso é resultado, possivelmente, da percepção inadequada de que resíduos sólidos orgânicos não constituem riscos potenciais, ao contrário dos resíduos sanitários, alvo de Lei específica. Diante disso, a falta de preocupação com esses materiais têm gerado impactos ambientais negativos.

Uma breve citação no Artigo 36, inciso V da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelece a necessidade de “implantar sistema de compostagem para resíduos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido” (BRASIL, 2010).

Pesquisas têm se debruçado na análise da transformação de resíduos sólidos orgânicos em composto estabilizado através da compostagem. De acordo com Araújo (2018) e Silva *et al.* (2020b) essa técnica tem sido, nos últimos anos, uma alternativa bastante aceita, pois é uma possibilidade de resposta ao problema cada vez mais complexo de disposição final de resíduos

sólidos orgânicos nos municípios e é uma opção ao esgotamento dos solos por práticas agrícolas e pecuárias intensivas, que geralmente não propiciam o retorno do húmus orgânico.

3.3 Compostagem dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares em diferentes países

A compostagem é um processo biológico de transformação rápida da matéria orgânica em condições aeróbias e controladas; realizado num período de tempo ajustado. Por meio desse processo, obtém-se um produto chamado de composto, que pode ser utilizado no solo como fonte de nutrientes, reduzindo a erosão, a acidez e melhorando o escoamento superficial, além de ser benéfico à produtividade em hortas e jardins (ARAÚJO *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2021).

A compostagem é conhecida há séculos e, apesar de recentemente terem surgido sistemas modernos de escala industrial, com uso de tecnologias sofisticadas, ainda há quem prefira a utilização das técnicas simplificadas e tradicionais, em caráter domiciliar e artesanal (HERBETS *et al.*, 2005).

A compostagem de resíduos sólidos orgânicos era praticada entre os países da América Latina e Caribe há várias décadas. Na década de 60, existiam usinas de compostagem instaladas no México, El Salvador e Equador. A partir da década de 1970, unidades mais modernas foram instaladas em algumas cidades do Brasil, México e Venezuela (KAZA *et al.*, 2018).

No Brasil, as primeiras usinas de triagem e compostagem foram resultado da parceria do Governo Federal com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. Além da vertente ambiental, buscou-se dar oportunidade de trabalho aos catadores de materiais recicláveis que comumente coletavam os resíduos recicláveis nos lixões (HERBETS *et al.*, 2005; SIQUEIRA; ABREU, 2016), realizando a triagem dos resíduos sólidos urbanos e destinação dos materiais orgânicos em pátios de compostagem.

Tanto no Brasil como nos demais países, prevalecem o uso de modelos de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos de forma centralizada, no qual os resíduos gerados por um ou mais municípios são destinados a uma área específica para a prática da compostagem. Contudo, o modelo de compostagem centralizada passou a apresentar desvantagens, pois os resíduos sólidos urbanos chegavam misturados, necessitando a realização de um processo de triagem antes da disposição final, que submetia os funcionários a condições insalubres. Para os resíduos sólidos orgânicos as instalações incorporaram um sistema mecanizado de biodegradação aeróbia por meio do empilhamento em sistemas de compostagem ou por digestores anaeróbios de tambor rotativo (KAZA *et al.*, 2018).

Como não ocorreu manejo adequado nesses sistemas centralizados, as usinas foram transformadas em lixões, a exemplo da usina implantada no município de Esperança, estado da Paraíba.

É importante destacar que a ideia do aproveitamento total dos resíduos sólidos urbanos era uma alternativa almejada por muitos governos. No entanto, a exequibilidade do modelo esbarrou tanto nos custos como na qualidade dos produtos gerados (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Os custos operacionais não haviam sido avaliados inicialmente e eram substancialmente maiores do que os municípios podiam pagar, fazendo com que apenas algumas usinas sobrevivessem (KAZA *et al.*, 2018). Isso porque utilizavam-se equipamentos elétricos, que demandam custos elevados para utilização e manutenção, como tratores, caminhões e esteiras elétricas.

Além disso, a ausência de coleta seletiva na fonte geradora contribuiu para problemas na qualidade sanitária e agrícola do produto resultante. A produção de um composto com características nutricionais insuficientes, a presença de metais pesados e resíduos inertes desestimulam a procura pelo composto produzido, que, com frequência, permanece estocado em grandes quantidades nessas unidades (GIROUX, 2020).

A coleta seletiva dos resíduos sólidos orgânicos, além da compostagem com critérios técnicos, é essencial para a obtenção de composto de qualidade para uso agrícola e para tornar a gestão viável economicamente. A inviabilidade técnica, econômica e gerencial foi um dos principais motivos pelo qual a maioria das unidades de tratamento centralizado foram desativadas no Brasil a partir da década de 80 (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Ricci-Jürgensen, Gilbert e Ramola (2020) descrevem que as técnicas para tratamento de resíduos sólidos orgânicos nas cidades são imaturas e alguns projetos de compostagem, em modelos centralizados, não atingem as expectativas. Isso ocorre, pois, em muitos locais, a coleta seletiva é incipiente, gerando composto com qualidade sanitária e agrônômica duvidosa.

Kaza *et al.* (2018) citam que as instalações de compostagem na cidade do Cabo, na África do Sul, recebem cerca de 62.400 toneladas de resíduos sólidos orgânicos e produzem, em média, 19.000 toneladas de composto. No entanto, os autores alertam que a falta de coleta seletiva na fonte geradora faz com que 50% dos resíduos recebidos sejam considerados rejeitos. Além disso, embora o composto seja comercializado na região, encontra-se cheia de impurezas, como pequenas frações de plástico, pedras e vidro, sendo, portanto, potencialmente contaminado e inviável.

Diante dos desafios enfrentados em produzir um composto de qualidade sanitária e agrícola, muitos países têm investido cada vez mais em sistemas de compostagem eficientes e sustentáveis, de forma a promover o espírito de responsabilidade compartilhada da população. Para isso, cada país tem desenvolvido as ações que mais se adequam ao modelo de gestão de resíduos sólidos desenvolvido, conforme observado no Quadro 2.

Quadro 2. Estratégias e regulamentos que regem os resíduos sólidos orgânicos em diferentes países.

País	Estratégias de gestão
Escócia	<ul style="list-style-type: none"> ● Plano de resíduo zero; ● Exigem que as autoridades locais ofereçam um serviço de reciclagem de resíduos alimentares em áreas não rurais; ● Meta de proibição dos resíduos sólidos urbanos biodegradáveis em aterros até janeiro de 2021.
Japão	<ul style="list-style-type: none"> ● Lei de Reciclagem de Alimentos criou um sistema para registrar operadores de negócios que fabricam fertilizantes e rações e uso de recursos alimentares recicláveis como matéria-prima. ● Introdução de sistema para implementar programas para que operadores de negócios relacionados com alimentos, operadores de reciclagem e agricultores utilizem fertilizantes e rações obtidas em programas de reciclagem ● Novas indústrias são obrigadas a reduzir a quantidade de resíduos orgânicos gerados e atingir novas metas de reciclagem; ● Taxa de reciclagem dos orgânicos é baixa; ● Industrialização de biomassa para promover a produção de etanol e tecnologias de biogaseificação do metano.
Índia	<ul style="list-style-type: none"> ● Instalação de unidades de compostagem movidas à energia (em grandes cidades) e unidades de compostagem mecânica (em cidades pequenas). ● Incentivo a tecnologias de digestão anaeróbia para resíduos industriais, agrícolas, municipais, resíduos gerados em mercados de vegetais e resíduos de quintal. ● Instalação de tratamento biológico de resíduos sólidos orgânicos através da compostagem, digestão anaeróbia e vermicompostagem.
Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> ● Plano de Ação de Reciclagem de Resíduos de Alimentos; ● Estratégia de Crescimento Limpo, que visa desviar os resíduos alimentares dos aterros; ● Plano Ambiental de 25 anos.
Itália	<ul style="list-style-type: none"> ● Implementação da Lei de resíduos (DL 152/2006); ● Resíduos sólidos urbanos com alto teor de matéria orgânica não podem ser depositados em aterro sem pré-tratamento; ● Resíduos sólidos orgânicos devem ser coletados por meio de bioplástico compostável.
Irlanda do Norte	<ul style="list-style-type: none"> ● Regulamentos de Resíduos Alimentares; ● Coleta seletiva e tratamento subsequente de resíduos de alimentos; ● Proibição do descarte de resíduos sólidos orgânicos na rede de esgoto.

Fonte: CIC (2017); UNEP (2018); ENVIS (2019).

Quadro 2. Estratégias e regulamentos que regem os resíduos sólidos orgânicos em diferentes países (Continuação).

Nigéria	<ul style="list-style-type: none"> ● Projeto piloto de compostagem processa cerca de 1.500 toneladas de resíduos sólidos orgânicos por dia; ● Durante a temporada agrícola, o Governo compra toneladas métricas para seus agricultores.
País de Gales	<ul style="list-style-type: none"> ● Programa de desperdício zero; ● Resíduos alimentares coletados separadamente são enviados em instalações de digestão anaeróbia.
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> ● Programa de ação de resíduos e recursos; ● 96% dos residentes realizam coleta seletiva de resíduos vegetais; 38% dos resíduos sólidos orgânicos alimentares e 19% resíduos sólidos orgânicos e vegetais.

Fonte: CIC (2017); UNEP (2018); ENVIS (2019).

A aplicabilidade do sistema de gestão de resíduos sólidos de origem orgânica nos diferentes países tem contribuído para mudança de cenário ambiental. Entre 2000 e 2010, a compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e resíduos de jardim teve um aumento maciço de 125% no mundo. Esse aumento pode ser atribuído principalmente a programas de coleta de orgânicos porta a porta e à compostagem domiciliar (GIROUX, 2020). Na maioria dos casos, foi resultado de esforços entre os países da União Europeia para reduzir a quantidade de resíduos sólidos orgânicos descartada em aterros sanitários (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020). De acordo com a Diretiva 1999/31/CE os Estados-Membros devem elaborar estratégias de redução dos resíduos biodegradáveis dispostos em aterro sanitário, incentivando, dentre outras medidas, a compostagem (UE, 1999).

Embora o desvio da parcela orgânica dos aterros e o tratamento em sistema de compostagem ou digestores anaeróbios sejam promissores e tenham entradas e saídas úteis (por exemplo, insumos industriais, biogás, digerido, composto estabilizado), a participação e a conformidade (por exemplo, falta de coleta seletiva, vontade política, responsabilidade social) são bastante criticadas (CEC, 2017). Diante disso, várias comunidades têm despertado para criar e implementar iniciativas e programas de incentivo para a gestão da parcela orgânica.

No ano de 2011, um investimento significativo foi feito para melhorar a infraestrutura de tratamento de resíduos sólidos em nível municipal na China, em 100 cidades antes de expandi-la nacionalmente. Progressivamente, a China passou a programar a seleção prévia de resíduos sólidos orgânicos comerciais e industriais, com o objetivo de transformar resíduos sólidos em recursos. Desde então, a China tem concentrado esforços para garantir a economia

circular dos resíduos sólidos orgânicos, focando assim, no tratamento e na reciclagem da parcela orgânica (GIZ, 2018).

As províncias de Nova Escócia e Ilha do Príncipe Edward têm programas interessantes de desvio de orgânicos para os setores domésticos e industriais, bem como para o comércio e setores institucionais. Assim como os países da União Européia, as províncias canadenses também contam com proibição em vigor para aterro de resíduos sólidos orgânicos (GIROUX, 2020).

Estimativas sugerem que a província de Quebec tem uma taxa de desvio de 2% de todos os resíduos sólidos orgânicos dos aterros. Em 2015, a província decretou a proibição da disposição de materiais compostáveis em aterros e, desde então, tem se empenhado para atingir a taxa de desvio de 60% (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020).

Em 2015, o Departamento de agricultura dos Estados Unidos anunciou as primeiras metas nacionais de gestão dos resíduos sólidos orgânicos. Entre as estratégias estão a redução do desperdício de alimento em 50% até 2030 e a proibição do descarte de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e resíduos de jardins em aterros sanitários. Atualmente, a proibição é aplicada nos estados da Califórnia, Vermont, Massachusetts, Connecticut e Rhode Island (CEC, 2017).

Além disso, o Departamento de Reciclagem e Recuperação de Recursos da Califórnia fornece financiamento para projetos de gestão de resíduos sólidos públicos e privados, como compostagem. O objetivo deste programa de concessão é expandir a capacidade existente ou estabelecer novas instalações de processamento de orgânicos em todo o estado para reduzir a quantidade de materiais orgânicos ou cobertura diária alternativa enviada para aterros sanitários (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020).

Na Lituânia, os centros regionais de gestão de resíduos sólidos são responsáveis pela organização dos resíduos sólidos orgânicos. De 2011 a 2015, todas as regiões estavam construindo e iniciando locais de compostagem de resíduos verdes. A partir de 2016 todas as regiões passaram a ter estações de tratamento mecânico dos resíduos. A coleta seletiva de resíduos sólidos orgânicos domiciliares começou em 2018 e deve ser introduzida em mais cidades nos próximos anos (ECN, 2020).

Cidades norte-americanas e canadenses têm empenhado esforços para que seus cidadãos reduzam a quantidade de resíduos sólidos gerada. Entre as estratégias está o programa PAYT, que exigem que os residentes pagam pelo descarte de resíduos com base no volume, ou seja,

quanto mais resíduos gerados mais serão os custos para o descarte (CEC, 2017), obrigando, desse modo, que a população reduza a quantidade de resíduos sólidos urbanos produzida.

Apenas em 2014 foram desviados dos aterros sanitários do Canadá 2,69 milhões de toneladas de resíduos sólidos orgânicos. A responsabilidade compartilhada pelos resíduos orgânicos é praticada por todos os segmentos da sociedade. Cerca de 63% da população canadense realiza a compostagem de seus resíduos de jardim, enquanto que 60% fazem a compostagem dos resíduos sólidos orgânicos produzidos na cozinha, seja em composteiras ou em pilhas. Por volta de 5% da população entrega os resíduos sólidos orgânicos em centros de compostagem municipal (CANADA, 2018).

Países como Áustria, Suíça, Alemanha, Itália, Holanda, Bélgica, Suécia e Noruega contam com sistemas separados de coleta e tratamento de resíduos sólidos orgânicos há mais de 15 anos; enquanto que países como o Reino Unido, Finlândia, Irlanda, Eslovênia, Estônia e França fizeram avanços significativos durante esse período. Observa-se que ao longo dos últimos anos, vários países têm feito avanços na gestão da parcela orgânica, com importante predominância na compostagem (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020). Pesquisa realizada em países da União Europeia mostra que atualmente existem 4300 instalações de tratamento de resíduos sólidos orgânicos municipais, sendo 79% destas instalações sistemas de compostagem (KAZA *et al.*, 2018).

O Brasil está empenhado em reduzir a geração de resíduos sólidos urbanos e aumentar as taxas de reciclagem. Isso exige que os municípios introduzam sistemas de gestão de resíduos sólidos eficientes, incluindo, entre as estratégias, programas de coleta seletiva e compostagem. Apesar de tímidas as ações para promover uma gestão eficiente da parcela orgânica, nas últimas décadas, o estímulo à separação prévia dos resíduos sólidos orgânicos na fonte geradora tem se desenvolvido, através iniciativas locais por meio de compostagem domiciliar e comunitária e serviços dedicados de coleta em grandes produtores comerciais (RICCI-JÜRGENSEN; GILBERT; RAMOLA, 2020).

3.3.1. Tecnologias sociais e sistemas descentralizados para tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos

No ano de 2006, entrou em vigor a Diretiva 2006/12/CE do Parlamento Europeu e do Conselho sobre o “enquadramento legal para o tratamento de resíduos na Comunidade”, reafirmando as diretrizes quanto ao incentivo e à valorização dos resíduos e à utilização dos materiais valorizados como matérias-primas, a fim de que a comunidade, no seu conjunto se

torne autossuficiente no que se refere à eliminação de resíduos, sendo conveniente que cada Estado-Membro se esforce por atingir essa autossuficiência (UE, 2006).

Segundo Silva (2020) isso significa que a gestão de resíduos sólidos deve ser compartilhada por todos os segmentos da sociedade; não deve ser resultado apenas da ação de gestores Públicos, mas a consciência cidadã sobre a gestão de resíduos sólidos deve estar alicerçado, dentro dos princípios precaução, sustentabilidade e corresponsabilidade (SILVA, 2020).

Tomando por base esses princípios, entende-se que as estratégias para o alcance dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos requerem a participação efetiva da sociedade, em todas as etapas do processo, sobretudo, dos catadores de materiais recicláveis por permearem praticamente todas as etapas dessa gestão (SILVA *et al.*, 2020c).

Instalações de sistemas de compostagem descentralizados têm sido vistas como promissoras para gestão e tratamento da parcela orgânica (SIQUEIRA; ASSAD, 2015). A instalação de sistemas descentralizados em pequena escala em residências, bairros, associações, escolas, feiras livres e instituições públicas e privadas tem se tornado fundamental para o alcance dos objetivos da gestão integrada de resíduos sólidos e melhoria da consciência ambiental (NASCIMENTO *et al.*, 2017; CHAVES; CONTRARA, 2017).

O gerenciamento de sistemas descentralizados de compostagem é mais flexível; mais próximo aos atores sociais; garante maior vigilância em relação à qualidade do produto final; pode se adaptar às necessidades socioeconômicas do grupo envolvido; por serem de baixo custo, favorecerem o aporte de recursos financeiros; reduzirem custos municipais com transporte, aterramento, energia e maquinários sofisticados; garantirem a maior eficiência da seleção prévia dos resíduos sólidos (NASCIMENTO *et al.*, 2017; GOMES, 2019). Segundo Nascimento *et al.* (2017) o sistema descentralizado de compostagem contribui para o exercício da cidadania e para a responsabilidade compartilhada em prol da melhoria da qualidade de vida.

Ancorando-se nessa linha de raciocínio, a tecnologia social compõe uma alternativa tecnológica eficiente, principalmente para modelos descentralizados, pois enquanto a tecnologia convencional busca o aumento do lucro independentemente da necessidade da população, a tecnologia social promove a reapropriação e inclusão da população. Segundo Souza (2018), surge como resposta aos problemas da sociedade, levando em conta suas tradições, seus arranjos organizacionais, os saberes locais, o potencial natural da região, sua realidade histórica, econômica, social e cultural. A tecnologia social é um instrumento que agrega informação e conhecimento para mudar a realidade.

Segundo Garcia (2014), tecnologia social refere-se à criação e utilização de conhecimentos por populações duplamente desfavorecidas, seja por ausência de acesso ao conhecimento científico moderno ou por perda das condições mais favoráveis à reprodução de seu conhecimento tradicional, de modo que seja vislumbrada a sustentabilidade econômica e o fortalecimento cultural e político desses grupos sociais.

Contudo, a tecnologia social não é uma receita pronta, mas é um sistema que precisa ser construído e estudado a partir das necessidades do grupo envolvido (ARAÚJO *et al.*, 2019b). No entendimento de Silva *et al.* (2020b) há tecnologias que podem ser aplicadas ao tratamento descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e que são eficientes, no que tange a transformação desses resíduos em compostos com características sanitárias e agrônomicas viáveis.

Silva *et al.* (2020c) acrescentam que para o sucesso da compostagem em sistemas descentralizados é necessário o desenvolvimento de tecnologias sociais, pois vêm se consolidando como estratégia oportuna e eficaz de estímulo à adoção de um modelo de desenvolvimento sustentável, sendo essencial aliar o saber popular, conhecimento técnico ou científico, organização social e participação da comunidade, procurando desenvolver soluções facilmente apropriáveis e reaplicáveis.

Com interesse de desenvolver e adaptar tecnologias sociais para o tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, de maneira a favorecer a implantação em domicílios e condomínios, ou seja, sistema descentralizado, Gomes *et al.* (2021) identificaram que a tecnologia analisada alcançou os anseios do público envolvido, promoveu a higienização e sanitização da parcela orgânica e atendeu aos princípios da sustentabilidade e tecnologia social.

Araújo *et al.* (2019b) realizaram uma análise comparativa sobre a qualidade e eficiência de diferentes modelos de composteiras dos resíduos sólidos orgânicos. Segundo os autores, o desenvolvimento de tecnologias sociais para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos através da compostagem deve levar em conta a utilização de materiais de fácil aquisição, manejo simples, baixo custo, estética e que possibilite a sanitização e higienização da matéria orgânica.

O desenvolvimento de alternativas tecnológicas centradas nos princípios da tecnologia social, além de ser uma alternativa para tratamento da parcela orgânica em escala comunitária e/ou descentralizada, constitui um importante passo ao alcance dos objetivos delineados na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010.

3.3.2 Parâmetros físico-químicos e biológicos durante a compostagem

3.3.2.1 Teor de umidade

Diante da complexidade da tecnologia desenvolvida, o próximo passo para o sucesso da compostagem dos resíduos sólidos orgânicos é o controle dos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Essa etapa é muito importante, pois delimitam o andamento do sistema e a qualidade do composto resultante (KIEHL, 2012).

O controle dos parâmetros físicos são essenciais, pois excessos ou déficit nos parâmetros de temperatura, teor de umidade e aeração podem levar a inativação dos organismos responsáveis pela degradação e/ou condições de anaerobiose. O primeiro parâmetro a ser analisado é o teor de umidade, uma vez que a água é fundamental para atividade metabólica e fisiológica dos organismos. Em quantidades elevadas pode compactar a massa de substrato, impedindo a passagem de oxigênio e provocando zonas de anaerobiose, promovendo resultado lento, diminuição da temperatura, produção de mau odor e geração de chorume (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014; LIMA JÚNIOR, 2015). Do mesmo modo, o déficit de água no sistema de compostagem reduz a atividade metabólica dos organismos e a velocidade de biodegradação.

Naturalmente os resíduos sólidos orgânicos apresentam um teor de umidade por volta de 50 a 60% (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017). Chen *et al.* (2011) citam que a compostagem de materiais com muita fibra, como palha e galhos de madeira, geralmente são mais secos e necessitam aumentar o teor de umidade, ou seja, superior a 60%. Enquanto que materiais úmidos, a exemplo de grama, lodo de esgoto e restos de alimentos, apresentam pouca resistência estrutural, então o controle do teor de umidade deve ser mais rigoroso.

Em análise de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, Araújo *et al.* (2019) identificaram um percentual inicial de 90% de teor de umidade, número significativamente maior do que o recomendado na literatura. Para o processo de compostagem, a adição de resíduos de folhas, galhos e composto tipo rejeito e do tipo farelo de outros sistemas de compostagem, adicionados previamente como estruturante, foram fundamentais para diminuição dos valores iniciais de água. Além disso, a aeração regular foi importante para homogeneização da massa do substrato, contribuindo para a oxigenação do material, uma vez que é um sistema aeróbio.

3.3.2.2 Oxigenação e aeração

O oxigênio tem duas funções nas reações metabólicas: como acceptor terminal de elétrons na respiração aeróbica; e como um substrato necessário para o funcionamento da classe de enzimas chamada oxigenase (LIMA JÚNIOR, 2015).

A matéria orgânica geralmente se degrada mais rápido e completamente se houver oxigênio em abundância. Isso pode ser explicado pela presença de grande quantidade de energia livre produzida para o crescimento microbiano, tendo como acceptor de elétrons o oxigênio. O oxigênio pode ser incorporado em moléculas desprovidas desse elemento com a função de oxigenases de enzimas induzíveis e não específicas de substrato, amplamente distribuídas. Frequentemente, esse é o primeiro passo necessário nas sequências metabólicas que levam à degradação de moléculas resistentes ao ataque biológico. As classes de microcontaminantes orgânicos sob a ação da oxigenase incluem alcanos saturados, hidrocarbonetos aromáticos e hidrocarbonetos halogenados (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017).

Nos sistemas aeróbios, a oxigenação é um fator importante para a decomposição da matéria orgânica pelos organismos. Dessa forma, o oxigênio precisa ser reabastecido, por meio de aeração passiva ou forçada da pilha de composto, principalmente durante a fase de degradação ativa, pois o reviramento da massa de substrato promove a perda do calor em excesso para as moléculas de ar circundante (KIEHL, 2012).

Segundo Araújo (2018) o reviramento periódico do sistema de compostagem além de fornecer oxigênio, proporciona a dissipação de valores altos de temperatura, rápida estabilização da matéria orgânica, controle do teor de umidade e favorece para que as mudanças ocorram igualmente em toda massa de substrato.

A compactação ou a ausência de reviramento periódico da massa do material promove a diminuição da circulação de oxigênio, fazendo com que os organismos aeróbios sejam substituídos pelos anaeróbios, causando, conseqüentemente, a respiração anaeróbia e fermentação, que não caracterizam a compostagem (NASCIMENTO *et al.*, 2017; ARAÚJO *et al.*, 2019). Por sua vez, promove a geração de odor desagradável, devido à redução de compostos orgânicos contendo o radical enxofre (KIEHL, 2012).

Para Polprasert e Koottatep (2017) concentrações de O₂ de mais de 10% são consideradas ideais em pilhas de substrato. Em pesquisa sobre efeitos da aeração no processo de compostagem, Xiong *et al.* (2017) identificaram que em baixas taxas de oxigenação, os compostos apresentam baixo pH (<5,0) e altos níveis de sais solúveis, fósforo e amônia. Em contraste, na taxa mais alta de oxigenação, o composto final apresenta um pH alcalino. Ainda

segundo o autor, a aeração regular promove o controle da água e nitrogênio no composto resultante.

3.3.2.3 Temperatura

Entre os parâmetros físicos monitorados durante o sistema de compostagem, a temperatura é a mais facilmente detectável, pois a compostagem apresenta quatro fases distintas de temperatura: a primeira fase de decomposição corresponde ao período de colonização e multiplicação dos organismos mesófilos, que degradam os nutrientes disponíveis, diminuindo sua granulometria. Nessa fase, os níveis médios de temperatura alcançam valores entre 25 °C e 40 °C, durante as primeiras 24 ou 72 horas iniciais (LIMA JÚNIOR, 2015).

Após um período de latência curta, as condições favoráveis promove crescimento da atividade microbiana, favorecendo o aumento das temperaturas dentro das pilhas. Organismos termófilos assumem quando as temperaturas da pilha de compostagem alcancem 40 a 70 °C (CHEN *et al.*, 2011), devido a quantidade de carbono disponível, e pode permanecer nesses níveis por dias e até semanas, dependendo das propriedades da matéria-prima, tamanho da pilha e condições das ambientais (LIMA JÚNIOR, 2015). É durante essa fase onde ocorre destruição das sementes de ervas daninhas e inativação dos organismos patógenos (SILVA, 2017).

Essa etapa é chamada de fase ativa da compostagem, durante a qual a decomposição é mais rápida e corresponde o momento no qual ocorre a eliminação e/ou inativação de organismos patógenos, alergênicos, sementes de ervas daninhas e compostos fitotóxicos (ARAÚJO, 2018). Essa fase continua até que a maior parte dos materiais que contêm nutrientes e energia dentro das pilhas seja transformada novamente.

Nesse estágio de decomposição, os organismos classificados como consumidores de segundo e terceiro nível, como ácaros e besouros, crescerão e se alimentarão dos consumidores de primeiro nível, a exemplo de bactérias, fungos e actinomicetes (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017). Segundo Chen *et al.* (2011), é necessário ter cuidado para que as temperaturas não se tornem muito elevadas (> 70 °C), pois inibem fortemente o crescimento da maioria dos organismos presentes, retardando a decomposição da matéria orgânica. Inversamente, temperatura baixa durante a fase termófila induz os organismos a um estágio de latência, paralisando o processo e promovendo um desempenho insatisfatório.

A quarta fase, denominada de maturação é caracterizada pelo declínio da quantidade de carbono, contribuindo para minimizar as populações microbianas, resultando na redução da temperatura até atingir a faixa entre 25 e 30 °C, fase que compreende o estado mesófilo

(ARAÚJO, 2018). Durante essa fase, a taxa de consumo de O₂ diminui. Logo após, os organismos mesófilos recolonizam a pilha e o composto entra na fase de cura, atingindo a temperatura ambiente à medida que o processo de humificação avança (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014). Ácidos orgânicos e compostos resistentes também são estabilizados durante a cura (CHEN *et al.*, 2011).

Uma longa fase de cura é necessária se o composto estiver inacabado ou imaturo. Isso pode acontecer se a pilha estiver com baixa concentração de O₂ e valores altos ou potencialmente baixos de umidade. Compostos imaturos podem conter altos níveis de ácidos orgânicos, altas proporções C/N, valores baixos de pH ou alto teor de sal, todos os quais podem danificar ou matar plantas se o composto for aplicado ao solo como fonte de adubo orgânico. Não há um tempo claramente definido para cura. As práticas comuns em operações comerciais de compostagem variam de 1 a 4 meses (CHEN *et al.*, 2011).

3.3.2.4 Potencial hidrogeniônico (pH)

A matéria orgânica imatura, seja vegetal ou animal, possuem pH ácido, gerando um substrato inicial com reação ácida, alta concentração de ácidos fúlvicos, ácido acético e ácido fórmico, componentes que dão ao material propriedades fitotóxicas. Esses ácidos são importantes para inibir a germinação de sementes de ervas daninhas e crescimento de raízes (SMIDT *et al.*, 2008).

O pH do sistema de compostagem tem capacidade de afetar o crescimento e as atividades dos organismos e o destino dos compostos de nitrogênio. Dessa forma, no início do processo, quando o pH comumente está em torno de 4,5 e 5,5, o nitrogênio na compostagem encontra-se na forma orgânica (LIMA JÚNIOR, 2015).

À medida que o processo de decomposição avança, uma pequena porção desse nitrogênio orgânico é mineralizado em nitrogênio amídico e seguido de nitrogênio amoniacal, através de reações de amonificação resultantes das atividades dos organismos quimiorganotróficos, os quais produzem hidroxilas que aumentam o pH (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017). Isso faz com que a concentração desses ácidos iniciais diminuam, enquanto que os níveis de ácido húmico aumentem (SMIDT *et al.*, 2008). O ácido húmico passa a reagir com os elementos químicos básicos e, como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, formando um composto alcalino.

Caso ocorra a falta de oxigenação nas leiras, os organismos podem utilizar NO₃⁻ como fonte de oxigênio, o que resulta na desnitrificação e paralisa a nitrificação (GUERMANDI,

2015). À medida que a compostagem avança, os compostos húmicos aumentam em complexidade estrutural, o que é um fator importante quando são aplicados ao solo. A concentração relativa de ácidos húmicos é, portanto, um indicador da maturidade do composto (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

Há evidências também que a co-compostagem de materiais ricos em lignina com uma fonte de carbono facilmente degradável, a exemplo de restos de alimentos, podem aumentar a formação de ácido húmico (PRASAD; LEE; GAFFNEY, 2012).

3.3.2.5 Relação C/N

O nitrogênio aliado ao carbono no sistema de compostagem é geralmente encontrado em torno de 30:1. Em proporções mais baixas, o nitrogênio será fornecido em excesso e terá maior probabilidade de se perder como gás amônia, causando odores indesejáveis. Proporções mais altas significam que não há nitrogênio suficiente para o crescimento ideal das populações microbianas, de modo que o composto permanecerá relativamente frio e a degradação ocorrerá em um ritmo lento (CHEN *et al.*, 2011).

A decomposição do carbono orgânico é impulsionada, principalmente pelas atividades de organismos heterótrofos presentes no sistema de compostagem (KHATOON *et al.*, 2017). O carbono é utilizado como fonte de energia e estrutura, constituindo cerca de 50% da massa das células dos organismos (HUBBE; NAZHAD; SÁNCHEZ, 2010).

O nitrogênio, por sua vez, é o componente crucial das proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas, o qual a vida se baseia e, portanto, é o componente mais indispensável do protoplasma das plantas, animais e microrganismos. Apesar de seu papel crucial na nutrição das plantas, o nitrogênio é assimilado quase inteiramente no estado inorgânico como nitrato (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017).

O nitrogênio na forma amoniacal pode ser imobilizado pelos organismos que a utilizam como fonte de nitrogênio nas células microbianas e, posteriormente, são liberados assim que essas células morrem, transformando-o novamente para nitrogênio orgânico (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017). O nitrogênio amoniacal também pode ser desprendido através da volatilização, fato que acontece quando se tem altas temperaturas e pH acima de 7,5 (GUERMANDI, 2015).

Além disso, nitrogênio amoniacal também pode ser transformado por bactérias nitrificantes do gênero *Nitrosomonas* que oxidam íon amônio (NH_4^+) em nitrito (NO_2^-), enquanto que as bactérias do gênero *Nitrobacter* que transformam nitrito em nitrato (NO_3^-), a

forma de nitrogênio que está prontamente disponível para absorção pelas culturas, conforme citam Ricklefs e Relyea (2016). Contudo, as bactérias nitrificantes têm uma taxa de crescimento relativamente lenta e são inativas em temperaturas superiores a 40 °C, portanto, elas se tornam ativas normalmente sob condições de aeração favoráveis e após as reações de decomposição termófila dos resíduos sólidos orgânicos estarem completas.

Quando o CO₂ reage com o teor umidade do substrato, uma pequena porção (menos de 1%) é hidratada para formar H₂CO₃ (ácido carbônico). Parte desse ácido se dissocia formando HCO₃⁻, bem como íons de hidrogênio, reduzindo assim o pH. Porém, em sentido contrário, esta reação resulta em outro próton. Se o pH aumenta, como resultado da absorção de CO₂ pelos organismos, o equilíbrio move-se para produção de CO₃⁻. Por outro lado, valores mais baixos de pH são resultantes do processo de decomposição e respiração, predominando-se as formas de CO₂ e H₂CO₃ (GUARMANDI, 2015).

À medida que a compostagem avança, a proporção C/N diminui gradualmente de cerca de 30:1 para 15:1 no produto resultante, o que, conseqüentemente, contribui para um pH em torno de 7,5 e 9,0 (LIMA JUNIOR, 2015). A diminuição da relação C/N ocorre porque cada vez que cerca de 20 a 40% do carbono são oxidados pelos organismos como fonte de energia, uma parte do nitrogênio é usada como síntese protéica (GUERMANDI, 2015). No processo, eles usam O₂ e produzem dois terços do carbono que são emitidos como CO₂ e liberados no meio ambiente. Conforme a atividade biológica aumenta na pilha em decomposição mais O₂ será consumido. O terço restante é incorporado juntamente com o nitrogênio nas células microbianas e, mais tarde, liberado para uso posterior assim que essas células morrem. Cerca de 20% do carbono é assimilado em novas células microbianas (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017).

Com a perda de carbono, o composto torna-se mais condensado e os espaços de ar dentro da pilha tornam-se menores. O oxigênio (O₂) remanescente na pilha é rapidamente consumido pelos organismos residentes e deve ser reabastecido, por meio da aeração, para evitar que o sistema se torne anaeróbico (CHEN *et al.*, 2011).

Semelhante ao nitrogênio, os elementos fósforo e potássio também são nutrientes inorgânicos e desempenham um papel fisiológico importante na acumulação e liberação de energia durante o metabolismo celular. Todos os elementos também são adicionados ao solo como adubos orgânicos e transformados no solo por meio dos organismos (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017).

3.3.2.6 Granulometria

A composição dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares é extremamente heterogênea, podendo variar na porosidade, na estrutura, na textura e no tamanho das partículas do substrato. A granulometria é uma propriedade física do resíduo sólido orgânico considerado interveniente nos sistemas aeróbios, uma vez que pode limitar, principalmente, a fase de hidrólise e reduzir a eficiência do sistema de tratamento (GUERMANDI, 2015).

Nessa perspectiva, é fundamental selecionar um tamanho de partícula adequado para a transformação de componentes recalcitrantes, como a lignocelulose, uma vez que a exposição do interior das partículas pode ajudar na degradação da celulose, reduzindo o tempo de processamento. Assim sendo, é necessário fragmentar previamente os resíduos, para homogeneizar e reduzir o volume do material, aumentando a área de superfície, promovendo a degradação das substâncias recalcitrantes e permitindo a infiltração de água, o que também reduz a evaporação a partir da superfície (ZHANG; SUN, 2014).

Partículas muito pequenas podem provocar a compactação do substrato, dificultando a oxigenação e, conseqüentemente, criando zonas de anaerobiose. Inversamente, partículas muito grandes, como folhas de castanhola, podem retardar a ação dos organismos. Dessa forma, a literatura recomenda que as dimensões ideais para fazer a compostagem dos resíduos sólidos orgânicos variam entre 5 e 7 cm (LIMA JÚNIOR, 2015; SILVA, 2017).

Quando as partículas do substrato são muito pequenas, o uso de estruturante é recomendado para evitar compactação e zonas de anaerobiose. Polprasert e Koottatep (2017) sugerem a adição de materiais sólidos, como cavacos e serragem de madeira, a fim de melhorar a sustentação e porosidade e evitar a compactação.

Outros materiais também podem ser adicionados, como composto do tipo rejeito e farelo (material de difícil degradação e que fica retido, respectivamente na peneira de 4 mm e 2 mm), folhas secas, palhas de trigo e cascas de arroz (LIMA JÚNIOR, 2015; SILVA, 2017; ARAÚJO, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2019).

A trituração, muitas vezes é utilizada visando à redução granulométrica, apresenta também a vantagem do aumento da densidade dos resíduos, através da diminuição das partículas. Dessa forma, é possível que uma massa maior de resíduos seja adicionada em um determinado volume, o que resulta na otimização da área das leiras e, conseqüentemente, na economia (GUERMANDI, 2015).

3.3.2.7 Parâmetros biológicos

A compostagem é um sistema complexo e envolve comunidades de organismos que coexistem (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020). Estes organismos incluem microrganismos como bactérias, fungos, actinomicetes e protozoários; também podem envolver mesoinvertebrados, a exemplo dos nematóides, minhocas, ácaros, besouros, entre outros.

Muitos dos organismos envolvidos na decomposição estão presentes nos próprios resíduos, a exemplo dos mesoinvertebrados, helmintos (ARAÚJO *et al.*, 2019), bactérias (GOMES, 2020), fungos e protozoários. Eles também podem ser introduzidos quando entram em contato com o solo (CHEN *et al.*, 2011).

Segundo Kiehl (2012) os organismos são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem, digerindo as partículas do substrato em micelas coloidais, gerando uma elevada superfície específica. Dessa forma, é importante criar condições adequadas para alcançar uma decomposição correta do substrato e obter um composto com qualidade sanitária e agrícola, é necessário que as condições ambientais do sistema de compostagem sejam favoráveis para ação metabólica dos organismos.

Os organismos da comunidade são fundamentais para o processo de degradação da matéria orgânica, todos tendo sua importância para a ciclagem da matéria e fluxo de energia do sistema, embora, alguns grupos de espécies exercem maior influência em virtude do número de espécies, o tamanho, a produção e maior capacidade de resistência. Ou seja, existem grupos de espécies que controlam em maior grau a corrente de energia e afetam fortemente o ambiente de todas as outras espécies (ODUM; BARRET, 2007).

Todos os organismos que participam deste processo encontram na compostagem, um nicho ecológico que dispõe dos recursos necessários para sua existência e dos seus descendentes, como espaço, habitat, alimento, água e local para descarte dos dejetos. Os recursos do meio, por sua vez, são limitados. Quando a densidade ocupacional ultrapassa a capacidade de resiliência do ambiente, o nível de competição por recurso se torna alto, os recursos se tornam escassos e quando os dejetos expelidos se tornam fonte de poluição, a população estagnou; processo esse denominado de capacidade de tolerância (MAZOYER; ROUDART, 2010; MADIGAN *et al.*, 2016).

Os fatores limitantes para o desenvolvimento de uma espécie variam de uma espécie para outra, do mesmo modo que, na mesma espécie, podem variar de um meio para outro. Outras espécies, no entanto, apresentam capacidade de tolerância em relação ao meio, tendo sua valência ecológica elevada e sua área de extensão geográfica ampla (MAZOYER;

ROUDART, 2010). Essas espécies são mais dominantes e frequentes no sistema e, por isso, são mais observadas ao longo do processo de compostagem.

Inversamente, algumas espécies exigem condições de meio estreitamente definidas, a exemplo dos ácaros, comumente encontrados em teor de umidade e temperatura mais amenas, fazendo com que só seja observado na compostagem durante fases específicas (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Cada comunidade que cresce no sistema de compostagem altera os parâmetros físicos, químicos e biológicos da massa de substrato, promovendo condições adequadas para seu desenvolvimento. Esse processo continua até que as condições ambientais criadas pela ação metabólica dos organismos não sejam mais ideais, fazendo com que outras comunidades se instalem, dando continuidade ao processo (ARAÚJO, 2018).

Compreender a biota da compostagem é fundamental para compreensão do próprio sistema e encontrar novos métodos para impulsionar o processo e melhorar a qualidade do produto final (STEEL; BERT, 2011). No Quadro 3 estão expostas as características taxonômicas dos organismos que participam do sistema de compostagem.

Quadro 3. Características taxonômicas dos organismos que participam do processo de compostagem

Características	Microfauna	Mesofauna	Macrofauna
Ciclo de vida	Vivem em biofilmes de água	Habitam os espaços entre os poros	Criam seus próprios espaços por escavação
Tamanho	< 0,2 mm	0,2-10 mm	>10 mm
Grupos	Protozoários, nematóides, bactérias, actinomicetos e fungos	Ácaros, pseudoescorpiões, colêmbolos, insetos e oligoquetas	Oligoquetas, gastrópodes, diplópodes, moluscos, quilópodes, isópodos, dermápteros

Fonte: Steel e Bert (2011); Polprasert e Koottatep (2017).

Os microrganismos são organismos unicelulares, capazes de viver por conta própria. Eles se alimentam secretando enzimas fora de suas células e no ambiente circundante; essas enzimas então digerem as matérias-primas, permitindo que os microrganismos consumam os produtos de decomposição como alimento (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020).

As bactérias que participam da compostagem são decompositores quimioheterótrofas e dominam durante a fase mesófila do processo de compostagem (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014), quebrando compostos prontamente degradáveis, incluindo ácidos orgânicos,

promovendo valores baixos de pH. A energia térmica também é liberada, contribuindo para o aumento da temperatura. Esse aumento significa que apenas os organismos capazes de tolerar ou prosperar em temperaturas mais altas sobrevivem (HUBBE; NAZHAD; SÁNCHEZ, 2010; MADIGAN *et al.*, 2016).

As bactérias utilizam uma ampla gama de enzimas para decompor a matéria orgânica quimicamente (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014). Bactérias termofílicas, principalmente *Bacillus* spp., possuem como característica a produção de enzimas hidrolíticas extracelulares que degradam polímeros complexos (polissacarídeos, ácidos nucleicos e lipídeos), permitindo assim que organismos utilizem esses produtos como fontes de carbono e doadores de elétron (SMIDT *et al.*, 2008).

De acordo com Chandna *et al.* (2013), a diversidade de bactérias do gênero *Bacillus* sp. é bastante alta em temperaturas de 50 °C, mas quando a temperatura alcança valores desfavoráveis (acima de 60 °C), os bacilos formam endósporos de paredes espessas que são resistentes, retornando a forma ativa quando as condições ambientais estão favoráveis. Nessa fase de decomposição ativa, as bactérias da nitrificação passam a transformar amônia e compostos de amônia em NO₃, causando aumento no pH ao longo do processo (XIONG *et al.*, 2017).

Os fungos são microrganismos quimiorganotróficos e crescem geralmente após 5-10 dias de compostagem. Através da produção e secreção de enzimas extracelulares são capazes de digerir materiais poliméricos, como polissacarídeos ou proteínas, transformando-os em monômeros que são assimilados como fonte de carbono e energia (MADIGAN, 2016). Os fungos da espécie *Phanerochaete chrysosporium*, são organismos eficientes na degradação de celulose, ligninas e outros materiais mais resistentes. Entretanto, os mesmos não toleram temperaturas elevadas e são eliminados na fase termófila (GUERMANDI, 2015).

Por sua vez, os fungos que conseguem tolerar a fase termófila são importantes agentes de biodegradação (JURADO *et al.*, 2014). No entanto, se a temperatura ficar muito alta, isto é, maior que 65 e 70 °C, a maioria dos organismos ficam inativos e apenas bactérias formadoras de esporos podem se desenvolver (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017).

Os fungos desempenham um papel importante na formação do composto por causa de sua contribuição ativa na decomposição e degradação de resíduos sólidos orgânicos complexos. A maioria dos fungos é encontrada em grande número durante as fases termofílica e mesofílica da compostagem. As hifas dos fungos mantêm o composto fisicamente em pequenas partes,

esta ação das hifas melhora a drenagem e aeração do composto (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014).

Os actinomicetes são semelhantes aos fungos, mas na verdade, são bactérias Gram-positivas que formam filamentos. As colônias dos filamentos são espalhadas por toda a pilha de composto por essas bactérias, ao passo que, elas estão relacionadas à quebra dos compostos interativos. Eles desempenham papel fundamental na degradação de materiais orgânicos, como lignina, proteínas, celulose e quitina. Esses organismos aparecem na fase de semi-cura do sistema de compostagem (HUBBE; NAZHAD; SÁNCHEZ, 2010).

As principais espécies de actinomicetes presentes durante a compostagem são *Arthrobacter rusicus*, *Brachybacterium paraconglomeratum*, *Corynebacterium casei*, *Microbacterium gubbeenense*, *Streptomyces ssp.* e *Microbacterium indicum* (JURADO *et al.*, 2014).

Embora sejam representados por um grupo diversificado de organismos, poucos estudos analisam o papel dos mesoinvertebrados na decomposição da matéria orgânica em sistemas de compostagem, no qual, muitas vezes são associados a vetores mecânicos, por potencialmente transportarem agentes patogênicos, a exemplo das moscas.

A estrutura corporal e o comportamento alimentar dos mesoinvertebrados os tornam excelentes decompositores mecânicos, mineralizando e liberando compostos químicos da matéria orgânica. Esses organismos são amplamente encontrados nos solos e em serapilheira, decompondo a parcela orgânica em nutrientes do solo, enquanto que os dejetos enriquecem o meio com nutrientes e matéria orgânica. Muitas vezes, representam os organismos mais atuantes na transformação química e física do solo e na renovação da biota (ANTUNES *et al.*, 2019). Na compostagem, é essencial para ingestão da matéria orgânica, decompondo em partículas com menor granulometria para ação microbiana, processo este facilitado pela secreção de enzimas de digestão da celulose, a exemplo dos Isópodes terrestres (STEEL; BERT, 2011).

Durante a fase mesófila, as espécies da ordem Diptera encontram-se na forma de ovos, possivelmente depositados pelas fêmeas nas verduras, nas cascas de frutas ou restos de alimentos. Nessa fase, as moscas não degradam a matéria orgânica. As larvas de dípteros são comumente observadas nos estágios iniciais da compostagem. São considerados organismos vorazes e se alimentam de uma variedade de substratos orgânicos (STEEL; BERT, 2011). Durante a fase termófila, os ovos eclodem e larvas da ordem Diptera passam a percorrer todo o sistema, devorando a matéria em decomposição, e contribuindo, significativamente, para

aumento da temperatura. As larvas geralmente são pálidas, apresentam corpo ápole e vermiforme. É nessa fase que a maioria das espécies se alimentam de forma mais incisiva, no intuito de adquirir reservas de energia para a metamorfose, durante a fase de pupa (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Além dos dípteros, outros grupos de mesoinvertebrados podem participar do processo de decomposição da matéria orgânica em sistema de compostagem, a exemplo das minhocas, que são insaciáveis na alimentação de dejetos orgânicos e mesmo que utilizem apenas uma pequena porção para a síntese de seu corpo, enviam grande parte desses resíduos em uma forma parcialmente digerida (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014).

Os ácaros, por sua vez, cobrem múltiplos níveis da teia alimentar, variando desde a remoção de detritos orgânicos até a alimentação fúngica, alimentação bacteriana e predadores, e muito provavelmente pode ter certo efeito estruturante sobre o processo de compostagem. Alguns ácaros são predadores, predando nematóides, ovos, larvas de insetos e outros ácaros (STEEL; BERT, 2011).

De acordo com Araújo *et al.* (2019), os ácaros são comumente observados no sistema de compostagem quando a temperatura se encontra mais amena, com o pH acima de 7,5 e teor de umidade está entre 40 e 50%, sendo fundamental para predação de insetos que estão completando seu ciclo de vida e polimento da massa do substrato.

Os isópodes também podem participar do sistema de compostagem. De acordo com Steel e Bert (2011), os isópodes são um grupo de crustáceos terrestres que atuam na quebra mecânica da matéria orgânica, agindo na degradação da celulose e lignina, juntamente com os fungos, durante a fase de maturação.

Delgado *et al.* (2015) também observou a presença de coleópteros no sistema de compostagem. Segundo os autores, esses organismos são fundamentais na perfuração de túneis dentro do substrato, facilitando a mobilidade de outros organismos dentro do sistema e contribuindo para aeração, permitindo, dessa forma, a ação de organismos exigentes em relação à presença de oxigênio.

Mesmo sendo importantes na decomposição da matéria orgânica, muitos dos organismos da compostagem podem atuar como agentes patogênicos e/ou ser um veículo de transmissão patogênica quando dispostos de forma inadequada, causando infecções subsequentes para os animais e para a população, principalmente, nos locais com ausência ou condições precárias de saneamento básico (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Do mesmo modo, se o sistema de compostagem não for monitorado adequadamente, pode gerar um composto com elevado potencial contaminante para saúde ambiental e humana. O contato ou inalação de ar, contendo uma alta densidade de esporos de patógenos secundários, pode causar riscos à saúde daqueles que manipulam os resíduos sólidos orgânicos sem o devido cuidado (Quadro 4).

Quadro 4. Exemplos de organismos patogênicos encontrados durante a compostagem e doenças humanas associadas.

Grupos taxonômicos	Exemplos	Doenças
Bactéria	<i>Salmonella</i> sp.	Salmonelose
Protozoário	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase
Helminto	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase
Vírus	Hepadnaviridae	Hepatite infecciosa
Fungos	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Aspergilose
Actinomicetes	<i>Micromonospora</i> spp.	Pneumonite por hipersensibilidade

Fonte: Ivakin; Pandya e Saraf (2014); Neves (2016).

Espécies como o fungo *Aspergillus fumigatus* podem causar infecções graves nos pulmões e em outros órgãos humanos, e deve-se tomar o cuidado adequado para evitar a absorção desses esporos (CHEN *et al.*, 2011). O crescimento de *Aspergillus fumigatus* na compostagem pode ser controlável através do controle do teor de umidade, porque os fungos tendem a prosperar em material que é ligeiramente seco demais para o crescimento bacteriano abundante (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017).

De acordo com Niu (2017), entre os grupos de actinomicetos também existem aqueles que são patogênicos, a exemplo dos gêneros *Corynebacterium* (responsável pela Difteria), *Mycobacterium* (responsável por doenças como lepra, tuberculose e infecções por micobactérias não tuberculosas) e *Nocardia* (infecção).

Entre os organismos patogênicos presentes nos resíduos sólidos orgânicos, os ovos de helmintos são os que apresentam grande relevância, em virtude de sua importância sanitária, ampla distribuição geográfica e resistência a fatores ambientais (SILVA *et al.*, 2020). Os ovos de helmintos têm grande capacidade de aderência à superfície, sendo de difícil remoção quando presentes no ambiente e dos resíduos sólidos orgânicos (NEVES, 2016).

A profilaxia para tais organismos reside, sobretudo, no saneamento ambiental e, para isso, os resíduos sólidos orgânicos precisam ser vistos enquanto veículo de infecção de agentes patogênicos, necessitando tratamento adequado (ARAÚJO *et al.*, 2019).

Estudos têm relatado a presença da família Enterobacteriaceae durante os processos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e em outros tipos de resíduos sólidos orgânicos (SÁNCHEZ; OSPINA; MONTOYA, 2017; SOOBHANY, 2018). Embora sejam biodegradadores da matéria orgânica, as enterobactérias na compostagem são consideradas um risco eminente. Gomes (2019) destaca que a presença desse grupo de bactéria na compostagem pode ser advinda do próprio resíduo sólido orgânico utilizado no processo, devido às condições e nutrientes disponíveis essas bactérias estabelecem seu desenvolvimento.

Em virtude de sua carga contaminante, são raros os tratamentos que conseguem eliminar os organismos patogênicos, principalmente os helmintos (NEVES, 2016). Contudo, estudos recentes têm mostrado a compostagem enquanto procedimento eficaz para inativação dos patogênicos (NASCIMENTO *et al.*, 2017; GOMES, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020). Gomes (2019) realizou um estudo microbiológico em resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar coletados na fonte geradora e identificou nove gêneros de enterobactérias: *Citrobacter* (25,9%), *Enterobacter* (14,1%), *Escherichia* (11,7%), *Klebsiella* (5,9%), *Morganella* (1,2%), *Proteus* (35,4%), *Providencia* (1,2%), *Serratia* (2,3%) e *Salmonella* (2,3%). Segundo a autora, não foram observadas essas bactérias no composto final, identificando a eficiência do processo de compostagem.

Em análise de resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar realizada por Nascimento *et al.* (2017) identificaram incidência de ovos de helmintos em resíduos sólidos orgânicos domiciliares (1,9 ovos/gST), em resíduos de flores (2,8 ovos/gST) e resíduos de folhas (5,2 ovos/gST), com ordem de prevalência: *Ancylostoma* sp. (45%), *Ascaris lumbricoides* (28%), *Hymenolepis nana* (16%) e *Enterobius vermiculares* (11%). De acordo com os autores, a compostagem é uma técnica eficiente, uma vez que, promoveu não apenas a remoção dos ovos de helmintos, mas a inativação e destruição da membrana externa de todos os helmintos identificados, inviabilizando-os (100%) em todos os subsistemas investigados e obtendo um produto final com características agrônômicas viáveis. No quadro 5 observam-se as condições adversas para destruir os organismos patogênicos durante a compostagem dos resíduos sólidos orgânicos.

Quadro 5. Condições adversas à sobrevivência de organismos patogênicos.

Organismo	Condições adversas
<i>Salmonella</i> spp.	Morte em 1 hora a 55 °C; morte em 20 minutos a 60 °C
<i>Escherichia coli</i>	Morte em 1 hora a 55 °C e em 20 minutos a 60 °C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte em 10 minutos a 54 °C
<i>Taenia saginata</i>	Morte em baixa umidade; Morte em 7 minutos a 50 °C
<i>Entamoeba histolytica</i>	Morte em baixa umidade e temperatura de 68 °C
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Morte em baixa umidade e em três dias a 50 °C

Fonte: Polprasert; Koottatep (2017); Neves (2016); Silva (2021).

A péssima qualidade sanitária dos resíduos sólidos orgânicos comprova que esses materiais constituem fonte de contaminação e o negligenciamento de ações para o tratamento adequado põe risco à saúde humana e ambiental (ARAÚJO *et al.*, 2019; SILVA, 2021). Dessa forma, a compostagem é a alternativa mais adequada para a inativação e/ou destruição de organismos patogênicos, tornando-se necessário o controle e monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, ao qual irá promover um composto de qualidade sanitária e agrícola.

3.3.2.7.1 Sucessão ecológica

A maior parte dos trabalhos experimentais sobre a sucessão ecológica tem focado em alterações significativas em comunidades vegetais, a exemplo da erupção vulcânica na ilha de Anak Krakatoa. Isso porque os estudos dos botânicos de Cowles (1899), Clements (1916) e Gleason (1917) são sempre identificados na literatura moderna como fundamentais por formalizarem uma estrutura conceitual da sucessão ecológica em plantas, definida aqui como mudanças graduais e progressivas na comunidade ao longo do tempo (ODUM; BARRET, 2007). Embora, muitos anos antes, autores como Francesco Redi (1668) e Pierre Mégnin (1883) tenham se destacado ao trabalhar a sucessão ecológica em cadáveres - alicerçando o que hoje chama-se por entomologia forense - foi a sucessão ecológica das plantas que ganhou força e se consolidou (MICHAUD; SCHOENLY; MOREAU, 2015).

Contudo, Rycklefs (2016, p.362) cita que a “sucessão ocorre sempre que uma nova oportunidade ambiental surge”. E, de fato, um esterco, uma serapilheira, frutos caídos, toras de árvores apodrecidas, uma floresta, um cadáver, um sistema de compostagem, são todos sistemas

ecológicos complexos, às vezes incluindo milhares de diferentes organismos, coexistindo no mesmo espaço e tempo, interagindo e afetando direta ou indiretamente a dinâmica uma das outras.

Compreender como as comunidades variam de lugar para lugar, é o primeiro passo para compreender os processos que influenciam a estrutura e o funcionamento dos sistemas ecológicos (RYCLKEFS, 2016), principalmente na compostagem. Isso porque, embora a sucessão ecológica seja alvo de bastante interesse na ecologia, especialmente pelos naturalistas de plantas, a sucessão de organismos na compostagem ainda é incipiente. Poucos estudos se debruçaram sobre a dinâmica ecológica na compostagem e o papel dos organismos no processo, a exemplo das contribuições de Morales e Wolff (2010), Araújo *et al.* (2019) e Silva (2021).

Devido à alta quantidade de matéria orgânica e as condições físico-químicas favoráveis, os resíduos sólidos orgânicos são ambiente naturalmente favorável para alimentação, depósito de ovos e cistos e desenvolvimento de indivíduos. E, se esses resíduos sólidos orgânicos não forem tratados de forma correta, podem causar riscos ambientais e de saúde pública (ARAÚJO *et al.*, 2019b). Em um sistema de compostagem a diversidade ecológica é importante, pois são esses organismos que transformam um material altamente contaminado em composto estabilizado e higienizado; trituram a matéria orgânica; promovem o controle de vetores patogênicos; favorecem a ciclagem da matéria e à transformação eficiente de energia ao longo de seu fluxo. Nesta perspectiva, identificar a densidade e diversidade de mesoinvertebrados durante o processo é fundamental para garantir a melhoria da qualidade do produto final (ARAÚJO *et al.*, 2021).

Ao contrário de sistemas florestais (SANTANA *et al.*, 2018), ambientes aquáticos (YU *et al.*, 2019), madeira em decomposição (WESLIEN *et al.*, 2011) que pode levar anos para se entender a sucessão dos organismos, na compostagem de resíduos sólidos orgânicos a sucessão dura poucos meses, sendo possível analisar os padrões de interações complexas da estrutura comunitária.

Em sistema de compostagem experimental, Araújo *et al.* (2019) constataram que o tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos não constitui apenas um processo de decomposição controlada da matéria orgânica, governado por mudanças dos parâmetros físicos e químicos, como a literatura frequentemente ressalta, mas também há um sistema dinâmico e complexo, representado pela atividade metabólica combinada de um conjunto de organismos que interage no ambiente em condições favoráveis. Nesse ambiente, cada espécie assume funções diferentes e sua abundância em determinadas fases reflete como coexistem e

se relacionam ao meio. Essas relações interespecíficas acabam influenciando na estrutura e no funcionamento de todo o sistema.

A sucessão ecológica no sistema de compostagem fornece um contexto para a compreensão e previsão de adaptação individual, estratégia populacional, organização e regulação de processos ecossistêmicos. Durante a compostagem, algumas populações são inibidas pela presença de outras espécies, através dos processos de predação e competição, enquanto outras exploram as condições alteradas. As estratégias populacionais e as interações com outras espécies também afetam as propriedades do sistema de maneira que aumentam a probabilidade de mudanças físicas e químicas do meio e favoreçam espécies mais tolerantes a essas mudanças (RYCLKEFS, 2016).

Entende-se que neste sistema experimental, a sucessão não tem clímax, por que a maioria dos insetos se dispersa do sistema na forma adulta ao completar o ciclo de vida, tornando qualquer ponto final de comunidade clímax inexistente. Embora, esses mesmos insetos façam parte de um clímax maior, a comunidade regional (ODUM; BARRET, 2007).

Para identificar a sucessão em sistema de compostagem, deve-se considerar todo o processo das modificações da estrutura física do meio; substituição das espécies pioneiras; as condições ideais para o desenvolvimento de novas espécies; aumento da diversidade e, portanto, da biomassa; o crescimento da teia de relações entre as espécies; o ajuste das comunidades ao meio; aumentando sua homeostase e o complemento do ciclo de vida de algumas espécies presentes no sistema.

3.3.3 Composto orgânico

Com a promessa de alimentar adequadamente a população e maximizar o rendimento das colheitas, grandes quantidades de fertilizantes químicos estão sendo aplicados em campos aráveis nas últimas décadas (SUN *et al.*, 2015; IPCC, 2019). Nas regiões em que a agricultura é massiva, insustentável e desigual, prevalece o uso crescente de fertilizantes químicos e agrotóxicos, utilização de sementes transgênicas, a preferência por monocultura e a retirada da mata ciliar, levando a diferentes tipos de poluição, erosão, contaminação dos alimentos e daqueles que manipulam direta ou indiretamente os defensivos químicos, perda da qualidade ambiental, esterilidade do solo, mitigação das fontes de água, aumento da miséria rural, abandono de regiões inteiras e desemprego (LEWIS; MASLIN, 2015).

A falta de suprimento adequado de nutrientes e a estrutura do solo pobre, em decorrência, especialmente das práticas agrícolas intensas, são os principais empecilhos à

produtividade das culturas, principalmente na região do Bioma Caatinga (SOUZA; ARTIGAS; LIMA, 2015).

Em análise comparativa da aplicação entre composto orgânico e fertilizante químico no solo rizosférico de pomares de chá, Lin *et al.* (2019) identificaram que nos tratamentos com composto orgânico ocorreu aumento do conteúdo de aminoácidos do chá, o solo apresentou um pH mais elevado e houve redução dos níveis de metais pesados, como cádmio, arsênio, chumbo e cobre, em comparação ao fertilizante químico. Além disso, os autores observaram um aumento significativo na diversidade e riqueza de bactérias potencialmente benéficas. Esses efeitos também foram analisados em solos não rizosférico.

Os autores também observaram que os teores de NPK não foram significativamente diferentes entre os tratamentos com fertilizantes orgânicos e químicos. Esses resultados indicaram que os fertilizantes orgânicos fornecem teores de NPK semelhantes aos fertilizantes químicos, invalidando a narrativa de que o uso de químicos na agricultura seria a melhor opção para aumentar a produtividade da colheita e, assim, evitar a escassez de alimentos em todo o mundo.

De fato, nos primeiros anos da plantação com agrotóxicos a produtividade agrícola aumenta, mas na concepção de Sun *et al.* (2015) ao longo do tempo, o uso excessivo de fertilizantes químicos gera vários problemas, como grave degradação do solo, lixiviação de nitrogênio, compactação do solo, redução da matéria orgânica do solo e perda de carbono do solo. Além disso, a eficácia dos fertilizantes químicos na produtividade da cultura tem vindo a decrescer ao longo do tempo.

Por conta dessa questão, nos últimos anos, tem-se visto um retorno progressivo ao uso de composto orgânico (LIN *et al.*, 2019), para manter a fertilidade do solo e a produtividade das colheitas (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020). O uso doméstico e agrícola de resíduos sólidos orgânicos estabilizados oferece um método atraente para sua destinação segura e uma fonte valiosa de aditivos orgânicos e nutrientes. A aplicação de material de resíduos sólidos orgânicos submetido a compostagem influencia a estrutura e fertilidade do solo com adição especial de conteúdo nutricional particularmente maior quantidade de oligoelementos (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014).

O uso de compostos orgânicos gera efeitos significativos ao meio ambiente, promovendo o retorno do húmus ao solo, a troca catiônica, e o aumento da diversidade biológica (RICKLEFS; RELYEA, 2016). Segundo Ivakin, Pandya e Saraf (2014) o composto é geralmente usado como melhorador do solo através do enriquecimento oportunizado pelo uso

de matéria orgânica estável. A aplicação de composto no solo é uma medida valiosa para o sequestro de carbono no solo, pois contém matéria orgânica estável que ajuda a acumular carbono orgânico tardio do solo em curto prazo.

Martínez-Blanco *et al.* (2014) analisaram o uso do composto por meio da avaliação do ciclo de vida. Segundo os autores, o composto orgânico no solo promoveu o suprimento de nutrientes, sequestro de carbono, supressão de pragas e doenças fúngicas, melhoria do rendimento da cultura, diminuição da erosão do solo, retenção da umidade do solo, aumento da capacidade de trabalho do solo, beneficiamento das propriedades biológicas do solo e da biodiversidade e qualidade nutricional da cultura. Ainda de acordo com os autores, a aplicação de composto pode contribuir para aumentar a disponibilidade de alimentos e, portanto, esforços devem ser feitos para aliviar as restrições socioeconômicas para a adoção de tecnologia de composto.

Os produtos compostados após a estabilização podem ser usados como adubo orgânico ou condicionadores de solo para as culturas. Desta forma, os nutrientes devolvidos como composto, estão na forma de protoplasma microbiano e/ou compostos orgânicos que se decompõem lentamente (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017). Diferentes tipos de resíduos orgânicos podem ser compostados e transformados em compostos orgânicos sanitizados e higienizados, capazes de contribuir para recuperação do solo, conforme observado no Quadro 6.

Quadro 6. Tipos de resíduos sólidos orgânicos compostados e efeitos observados no solo.

Tipo de resíduo	Local	Solo	Efeitos observados
Cascas de frutas, resíduos de jardins e resíduos sólidos orgânicos domiciliares.	Brasil	NE	O composto orgânico desenvolvido pelos pesquisadores apresentou comportamento superior ao NPK em relação ao diâmetro, peso fresco e seco das espécies de mudas das plantas analisadas.
Resíduos de plantas agrícolas, esterco de vaca e palhas de trigo.	Chile	Argissolo	A aplicação do composto aumentou o pH, principalmente para trigo e pastagem; a micorrização radicular; os níveis de glomalina; o comprimento do micélio fúngico e a porcentagem de agregados estáveis em água

Esterco de galinha e codorna, esterco de gado, serragem de eucalipto, carvão, substrato de planta, resíduos sólidos orgânicos domiciliares, cascas de café, fibras de coco e cascas de pinus.	Brasil	Latossolo e neossolo	O uso do composto aumentou o pH para níveis adequados para o crescimento das plantas. A condutividade elétrica do solo foi ligeiramente aumentada no Neossolo e no Latossolo de textura média. O uso de esterco de frango, gado e codorna, casca de café e composto aumentou significativamente os níveis de K ⁺ ; adição de esterco de frango, porco e codorna, lodo de esgoto 2 e composto aumentou significativamente os níveis de P; Houve aumento na disponibilidade de Ca 2 ⁺ e Zn 2 ⁺ ;
Resíduos de jardim	Reino unido	Arenoso	20-24% do carbono orgânico foi retido no solo; Aumento 24% do conteúdo de matéria orgânico do solo quando o composto de resíduo de jardim foi aplicado.
Resíduos orgânicos sólidos domésticos e de jardim	Dinamarca	Arenoso	45% do carbono orgânico permaneceram na camada de arado após 12 anos de aplicação anual; os tratamentos com composto e esterco bovino tiveram maior estabilidade térmica do que os tratamentos com lodo e NPK, o que foi consistente com a estabilidade térmica dos resíduos aplicados. Solos corrigidos com adubo e solos corrigidos com esterco também tiveram um maior conteúdo de lignina com um menor grau de oxidação e uma maior contribuição de amino-açúcares bacterianos, comparação com solos do tratamento NPK.
Esterco, lodo de esgoto, resíduos sólidos orgânicos, algas, resíduos de moinho de oliva e amêndoas	Tunísia	Solo franco-argiloso arenoso	Após 90 dias de aplicação do composto orgânico no solo, ocorreu diferença na distribuição vertical de carbono orgânico nas camadas do solo; a taxa de composto melhorou a capacidade de troca catiônica e da porcentagem de saturação da base do solo; a concentração da relação C/N aumentou em 20% quando comparado ao solo controle; o composto foi capaz de aumentar a capacidade de sorção do solo.

Fonte: Zago; Victoriano (2019)¹; Valarini *et al.* (2009)²; Carmo; Lima; Silva (2016)³; Bhogal *et al.* (2019)⁴; Peltre *et al.* (2017)⁵; Masmoudi *et al.* (2020)⁶.

NE: Não especificado

De acordo com os regulamentos da União Europeia EC 834/08 para agricultura orgânica, pode-se usar todo tipo de composto, exceto o composto à base de lodo de esgoto (UE, 2008b). Compostos de resíduos sólidos urbanos são permitidos em qualquer caso, embora, sua qualidade aumenta quando o composto está sendo preparado a partir da coleta seletiva, especialmente quando a fração orgânica foi separada na fonte (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014).

É importante destacar que o sucesso da compostagem dos resíduos sólidos orgânicos acontece quando promove a geração de composto de alta qualidade sanitária e agrícola, ou seja, que não esteja previamente contaminado. Contaminantes físicos e químicos, como plásticos, vidro e metais pesados podem poluir o solo e tem o potencial de se acumular ao longo do tempo após a aplicação repetida de composto contaminado (GILBERT; RICCI-JÜRGENSEN; RAMOLA, 2020). Contaminantes biológicos, como resíduos sólidos orgânicos não maturados, resíduos sanitários e resíduos de serviço de saúde trazem uma carga alta de agentes patogênicos, necessitando serem tratados antes da destinação final (CAVALCANTE, 2018).

Em diferentes regiões, a coleta seletiva na fonte geradora ainda é pouco executada, devido às dificuldades de ordem econômica e de logística, fazendo com que os resíduos sólidos orgânicos, que servem como matéria-prima para o processo de compostagem, cheguem aos locais de tratamento de forma misturada, diminuindo a qualidade sanitária e agrícola do composto. Além disso, a realização incorreta do processo de compostagem também pode acarretar em um produto de qualidade duvidosa (ARAÚJO *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2021). Dessa forma, mesmo gerando um composto orgânico, como resultado da gestão de resíduos sólidos, esse material, provavelmente tem um potencial contaminante, a exemplo dos metais pesados.

O composto orgânico para ser utilizado de forma eficiente, precisa ser precedido da coleta seletiva e deve estar estabilizado e higienizado. Isto significa que os resíduos sólidos orgânicos devem ser transformados em uma forma mais resistente à degradação, contenha quantidades mínimas de contaminantes tóxicos, materiais inertes e seja livre de organismos patogênicos, conforme sugerem Araújo *et al.*, (2019), Silva *et al.* (2020) e Silva (2021).

Desse modo, para que o composto tenha qualidade sanitária e agrícola, deve atender as agências regulatórias (SILVA *et al.*, 2020). Apesar da aplicação de diretivas e resoluções rigorosas para a gestão de resíduos orgânicos, não há um acordo entre os países sobre os padrões de qualidade sanitária e agrícola do composto orgânico. Cada país define os limites de parâmetros toleráveis para utilização do composto, conforme as exigências específicas, aumentando as restrições de usos do composto e fazendo com que o composto de origem orgânica gerada em um país não seja, necessariamente, adequado para as normas técnicas em outros (BRASIL, 2014; ECN, 2013; 2013b; 2019; UE, 2019).

Na tabela 1 tem-se a concentração máxima de agentes patogênicos estabelecidos por diferentes países para o composto orgânico.

Tabela 1. Concentração máxima permitida de agentes patogênicos no composto orgânico em diferentes países.

Países	<i>Salmonella spp.</i> (UFC/g)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/g)	Coliformes termotolerantes (NMP/g)	Helmintos (Ovos/gST)	Autores
Bélgica	Ausência em 25 g	NE	NE	NE	(ECN, 2019)
Brasil	Ausência em 10 g	NE	1000	1 ovo/4gST	(BRASIL, 2014)
Estônia	Ausência em 25 g	NE	NE	NE	(ECN, 2013b)
Eslovênia	Ausência em 25 g	1000 em 1 g	NE	NE	(ECN, 2013)
União Européia	Ausência em 25 g	1000 em 1 g	NE	NE	(UE, 2019)

NE: Não especificado

Mesmo considerando que o Brasil toma por base as normas dos Estados Unidos, observa-se que a normatização brasileira é mais rigorosa que as demais e busca reduzir as possibilidades de contaminação daqueles que têm contato direto com o composto orgânico, principalmente com relação aos ovos de helmintos (SILVA *et al.*, 2020), provavelmente, em virtude da sua importância sanitária, baixa dose infectante, ampla distribuição geográfica e resistência a fatores ambientais (NEVES, 2016).

Estudos evidenciam que o sistema de compostagem é eficiente para eliminação de organismos patogênicos. Em pesquisa realizada com resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar Araújo *et al.* (2019) observou que o material fresco apresentava 14,3 ovos de helmintos/gST, com viabilidade de 62,2%. Contudo, no final do processo de compostagem não foram encontrados ovos viáveis no produto final, identificando que o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, por meio da compostagem, é uma alternativa adequada, pois promoveu não apenas a remoção dos ovos de helmintos, mas, a inativação e destruição da membrana externa dos helmintos identificados, inviabilizando-os em todos os sistemas investigados (100%). Resultados parecidos foram encontrados por Nascimento *et al.* (2017) e Silva *et al.* (2020).

Gomes (2019) realizou uma análise sanitária nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares coletados e separados previamente na fonte geradora e identificou uma concentração média de $5,6 \times 10^7$ UFC/g de enterobactérias, com prevalência dos gêneros *Proteus* (35,4%), *Citrobacter* (25,9%) e *Enterobacter* (14,1%). No entanto, não foram encontradas enterobactérias no composto final, constatando-se assim que os sistemas estudados foram eficientes na sanitização dos resíduos sólidos orgânicos.

O risco de contaminação por patógenos é uma preocupação constante no composto orgânico, principalmente os utilizados nos cultivos de hortaliças, necessitando de um sistema de compostagem eficiente para eliminação desses organismos (SILVA *et al.*, 2020). No entanto, a contaminação por metais pesados é um problema ainda mais significativo, pois pode se

acumular no solo e ser lixiviado ao lençol freático depois de repetidas aplicações de composto contaminado (CAVALCANTE *et al.*, 2017; CAVALCANTE, 2018; SILVA *et al.*, 2020d)

Desta forma, compostos contaminados com metais pesados acima das concentrações estabelecidas nas instruções normativas nos diferentes países também não são aceitáveis. Embora haja uma preocupação entre os países a respeito dos limites máximos de metais pesados no composto orgânico, assim como os agentes patogênicos não há uma uniformização dos dados aceitos pelos países, podendo ocorrer significativas variações, conforme a tabela 2.

Tabela 2. Concentração limites de metais pesados para composto orgânico de acordo com a legislação de diferentes países.

Países	Elementos (mg/kg ⁻¹ de matéria seca)							Autores
	Arsênio	Cádmio	Cobre	Chumbo	Mercúrio	Níquel	Zinco	
Bélgica	< 20	< 2	< 150	< 150	< 1	< 30	< 400	ECN, 2019
Brasil	20	0,7	70	45	0,4	25	200	BRASIL (2014)
Estônia	NE	1,3	200	130	0,45	40	600	(ECN, 2013b)
Eslovênia	NE	1,5	100	120	1	50	1800	ECN, 2013
União Européia	30	1,5	300	120	1	50	800	(EU, 2019)

Não especificado: NE

Apesar da variedade de metais pesados, Arsênio (As), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn) são, em geral, os elementos mais analisados na literatura para composto orgânico. Muitos desses elementos, como Zinco, Cobre e Níquel, em quantidades vestigiais, são essenciais para o crescimento das plantas, conquanto, em níveis elevados são prejudiciais (BORJAC *et al.*, 2019).

Por outro lado, mesmo em concentrações baixas, Arsênio (As), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Mercúrio (Hg) são metais bastante perigosos, especialmente para a biota do solo, os animais e para o ser humano, através da introdução alimentar (SINGH *et al.*, 2011). Em humanos, podem causar distúrbios metabólicos, danos no fígado e rins, irritação no estômago e intestino, doenças ósseas, cardiovasculares e câncer (BORJAC *et al.*, 2019).

Além dos parâmetros limites estabelecidos pelos países para metais pesados e organismos patogênicos no composto orgânico, alguns autores sugerem o teste de fitotoxicidade para avaliar a qualidade sanitária e agrícola do composto.

A fitotoxicidade é um atraso na germinação, inibição do crescimento da planta ou qualquer outro efeito adverso causado por fitotoxinas ou por meio de condições de crescimento inadequadas promovendo prejuízo ao crescimento normal e do padrão de aparência das plantas em resposta a uma determinada substância (BARRAL; PARADELO, 2011).

A maioria das substâncias que causa fitotoxicidade é produzida durante o estágio ativo do processo de compostagem, a exemplo do amoníaco, ácidos orgânicos e substâncias fenólicas, que afetam o metabolismo e crescimento das plantas. A fitotoxicidade também pode ser originada por outros fatores, como o excesso de salinidade ou a presença de metais pesados e pesticidas já existentes na matéria-prima (KIM *et al.*, 2018).

Dessa forma, a fitotoxicidade é um dos critérios mais importantes para avaliar a qualidade do composto orgânico para fins agrícolas, paisagístico, restauração ambiental, aplicação de horticultura e representa uma forma valiosa de avaliar se a compostagem alcançou a sanitização, pois pode determinar se existe no material alguma substância que possa inibir a germinação de sementes, o crescimento das raízes ou o desenvolvimento das plantas (SANTOS *et al.*, 2015).

García *et al.* (1992) observaram maior inibição em testes de crescimento direto do que em testes com extratos aquosos. De acordo com os autores, possivelmente, as substâncias fitotóxicas não eram solúveis em água ou efeitos adversos intrínsecos, como aumento de temperatura, ocorreram devido ao uso direto de composto.

Para Kapustka (1997) os testes de crescimento direto permitem superar esse problema, pois são curtos e focalizados na germinação e alongamento das raízes. E esta fase da planta é relativamente insensível a muitas substâncias tóxicas, pois o embrião fica isolado do ambiente e muitos produtos químicos não são absorvidos pela semente, que fornece os nutrientes necessários ao embrião. Testes de crescimento direto usados para avaliar a qualidade de substratos de uso de composto feito de composto sozinho ou misturado com outros constituintes (BARRAL; PARADELO, 2011).

Outros critérios também precisam ser utilizados para julgar a maturidade ou conclusão de um processo de compostagem. Em geral, um produto compostado deve conter um baixo conteúdo orgânico quando disposto no solo; organismos patogênicos inativos e/ou eliminados; temperatura ambiente; relação C/N adequada; presença de constituintes específicos, como nitrato, e carência de outros, como amônia; ausência de larvas de insetos no produto final; ausência de odor desagradável e substâncias inertes (IVAKIN; PANDYA; SARAF, 2014).

A legislação nacional e internacional, nos últimos anos, tem mostrado avanços no que diz respeito à qualidade sanitária e agrícola do composto orgânico, através do desenvolvimento de instruções normativas eficazes e abrangentes que promova ao agricultor e os demais manipuladores um arcabouço Legal para garantir o retorno dos resíduos sólidos orgânicos de forma estabilizada e higienizada ao solo (BRASIL, 2009; 2014; 2016; 2017). Ainda há lacunas que requerem ser observadas, a exemplo da deficiência na coleta seletiva em várias localidades e as dificuldades operacionais, aos quais geram composto de qualidade duvidosa. Requerem também investimentos em pesquisas voltadas ao conhecimento de tecnologias sociais que promovam com maior eficiência a sanitização e higienização do composto (NASCIMENTO *et al.*, 2015; CAVALCANTE, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2019b; SILVA *et al.*, 2020c; GOMES *et al.*, 2021; SILVA, 2021).

Além disso, a falta de sistematização dos valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos nos países, é um problema que emerge, contribuindo para o aumento dos apelos a universalização do saneamento ambiental e promoção dos objetivos do desenvolvimento sustentável estabelecidos pela Organização das Nações Unidas em 2000, na Agenda 2030.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da pesquisa

Diante da complexidade do universo e as inter-relações e interdependências inerentes ao meio físico, social, biológico e cultural que nele se manifesta, surgem indagações, teorias e hipóteses empregados na obtenção de respostas e soluções às diferentes problemáticas, sendo a pesquisa o procedimento para construção desse conhecimento. No entendimento de Andrade (2010) a pesquisa é um conjunto de procedimentos sistemáticos, apoiado no raciocínio lógico e caráter científico, que usa métodos e técnicas para encontrar respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos.

Nessa perspectiva, cada pesquisa, naturalmente, pode ser classificada quanto à abordagem do problema, à natureza, aos objetivos e ao procedimento técnico adotado. Nesta perspectiva, o estudo tem como base os princípios da pesquisa quali-quantitativa. Na abordagem qualitativa, tem-se as observações do ambiente como foco do estudo, no qual trabalha com os fatos concretos e fenômenos perceptíveis. Nesse enfoque, há subjetividades que não são quantificáveis. Na abordagem quantitativa, cria-se hipótese e busca variáveis para garantir a precisão dos dados. Os dados não são analisados de forma subjetiva.

Em relação a natureza da pesquisa científica, trata-se de pesquisa aplicada, que busca soluções para problemas específicos e interesses locais. Segundo Gil (2019) a pesquisa aplicada depende de suas descobertas e se enriquece com seu desenvolvimento.

Quanto aos objetivos, classifica-se a pesquisa como exploratória, que segundo no entendimento de Gil (2019) têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. De todos os tipos de pesquisa, estas são as que apresentam menor rigidez no planejamento.

O procedimento da pesquisa científica refere-se ao do tipo experimental caminha apoiada a fatos reais e concretos, afirmando somente aquilo que é autorizado pela experimentação (MARCONI; LAKATOS, 2017).

4.2 Caracterização da área de estudo

Campina Grande é um município do interior do Estado da Paraíba (07°13' 50" Sul; 35°52' 52" Oeste), que está incluído na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro,

situando-se entre a zona da mata e o sertão e a 120 km da capital do Estado, João Pessoa. Apresenta altitude de 547,6 m acima do nível do mar, moderada deficiência de água no verão e com índice de aridez entre 16,7 e 33,3 mesotérmicos (MEDEIROS *et al.*, 2014).

Na cidade de Campina Grande a classificação climática de Köppen-Geiger é tropical quente e úmido com chuvas de outono a inverno do tipo *Bs'h*. Esse clima é caracterizado pelas irregularidades espaciais e temporais do regime de chuvas, e com grande condensação de nuvens formadas praticamente todos os dias em virtude da serra da Borborema (CPRM, 2005). O período de condução do trabalho foi realizado durante os meses de janeiro e abril, particularizado por intensa incidência solar, mas com chuvas fortes e irregulares.

A área de estudo foi o bairro Bodocongó (*bo* – rio e *congo* – que queima), localizada na zona oeste da cidade de Campina Grande. O bairro recebeu esse nome devido ao açude de Bodocongó, construído no ano 1917, para abastecer a cidade de Campina Grande, em virtude da ausência de reservatório natural e rios perenes nas proximidades da cidade, por localizar-se no Planalto da Borborema. A falta de água na região fez a população se mobilizar e exigir dos governantes alternativas para solucionar a problemática. Contudo, as águas do açude de Bodocongó não serviram para o abastecimento de água potável para cidade, em virtude de serem salobras (dar-se aí o significado de seu nome). Mas passaram a ser usadas para estudos limnológicos, realização de piscicultura, usos em fábricas têxteis, em matadores e os curtumes locais, também eram usados para pesca e abrigou um clube aquático. O açude é um patrimônio histórico e cultural da cidade, embora esteja urbanizado (ARAÚJO; GOMES; SILVA, 2020) e esquecido pelos poderes públicos e pela própria sociedade local.

Nos últimos anos quase 50% do volume original do açude tornou-se assoreado (ARAÚJO; GOMES; SILVA, 2020). As margens do açude são cercadas por ruas, casas, escolas, edifícios, duas universidades públicas e um centro tecnológico. Muitas dessas construções foram feitas dentro da faixa reserva de, no mínimo 15 metros de cada lado das águas que não pode ser edificável, contrariando o que está disposto na Lei 13.913/2019 (BRASIL, 2019).

Entre essas construções, está o condomínio residencial Dona Lindú, foco deste estudo. O condomínio foi construído no ano de 2011 por meio do programa Federal “minha casa, minha vida” em parceria a prefeitura municipal de Campina Grande, Estado da Paraíba e destinado às pessoas com renda de 3 a 6 salários mínimos, com possibilidade financiamento junto à Caixa Econômica Federal.

O condomínio é dividido em quatro núcleos: Dona Lindú I (270 unidades habitacionais), Dona Lindú II (270 unidades habitacionais), Dona Lindú III (288 unidades habitacionais) e Dona Lindú IV (234 unidades habitacionais). Na presente pesquisa, foram coletados resíduos sólidos orgânicos gerados no Dona Lindú IV (Figura 1). A unidade possui cerca de 702 moradores, mas apenas 50 famílias contribuíram com a pesquisa.

Figura 1. Visão aérea do condomínio residencial Dona Lindú.



Fonte: modificado do Google Earth, junho de 2022

As observações *in loco* e os registros identificaram que o condomínio é todo pavimentado, não apresentando áreas verdes, à exceção de poucas árvores paisagísticas. Apresenta áreas comuns de socialização, como quadra poliesportiva, playground e salão de festa.

Em relação ao manejo e à disposição dos resíduos sólidos, o condomínio dispõe de três coletores instalados em cada rua de passagem entre as unidades, nas cores marrom (resíduos sólidos recicláveis úmidos ou orgânicos), azul (resíduos sólidos não recicláveis ou rejeitos) e verde (resíduos sólidos recicláveis secos), com cartazes explicativos indicando os materiais que devem ser descartados em cada coletor. Diariamente, os funcionários responsáveis pela limpeza e organização do condomínio colocam dentro dos coletores, sacolas plásticas de cor preta com capacidade para 100 litros, conforme Figura 2.

Figura 2. Coleta, armazenamento e triagem dos resíduos sólidos gerados no residencial Dona Lindú IV. Campina Grande, estado da Paraíba.



Fonte: autoria própria

Duas vezes ao dia um funcionário da limpeza recolhe os resíduos sólidos nas sacolas plásticas (manhã e tarde) e encaminha até o depósito onde são empilhadas para a coleta no carro de serviço de limpeza urbana (terça-feira, quinta-feira e sábado). Nas quintas-feiras os catadores de materiais recicláveis de uma associação vão ao residencial para coletar os materiais passíveis de serem reciclados.

Buscou-se, nesse intervalo, que os resíduos sólidos orgânicos fossem previamente separados na fonte geradora e encaminhados a uma unidade descentralizada para o tratamento experimental. Para o tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos, utilizou-se três modelos de tecnologias sociais. Dessa forma, o acompanhamento comunitário não se fez necessário. Não foi proposto na pesquisa a instalação de um sistema no próprio condomínio, para o acompanhamento e envolvimento dos moradores, uma vez que este não era principal objetivo deste trabalho.

O condomínio residencial Dona Lindú IV está localizado a 1,3 km do pátio de compostagem usado na pesquisa (Figura 3), no terreno anexo do Departamento de Biologia da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB/Campus I), a qual dispõe de um sistema móvel de tratamento aeróbio descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares (SITRADERO) em escala experimental.

Figura 3. Localização do pátio de compostagem em relação ao condomínio residencial Dona Lindú IV.



Fonte: modificado do Google Earth, junho de 2022

4.3 Etapas e instrumentos de coleta de dados

4.3.1 Características do sistema experimental

A estruturação do sistema experimental aconteceu no terreno anexo do Departamento de Biologia, da Universidade Estadual da Paraíba, uma área ao qual tem previsão de serem construídos laboratórios futuramente. Dessa forma, destaca-se a importância de ser um sistema móvel e descentralizado, pois em projetos posteriores podem ser deslocados para outras áreas.

A licença para instalação do pátio de compostagem SITRADEIRO e as dimensões de área de 16 m² do sistema ocorreu na pesquisa de Nascimento (2015). O pátio era estruturado em madeiras e telas de galinheiro, delimitando a área da pesquisa, mas, observou a entrada de animais no sistema e ação direta das condições ambientais (sol e chuvas direto nas composteiras).

Por isso, ocorreu a necessidade de reconstrução do pátio de compostagem na pesquisa de Araújo (2018). O sistema (chamada pelos pesquisadores de casinha) era construído em madeiras de caibro e ripas. Para cobrir a estrutura colocou uma lona e telas, impedindo a entrada de animais e reduzindo a incidência das condições ambientais oriundas do Agreste Paraibano.

A casinha construída de caibros e ripas se mostrou viável, mas as lonas rasgaram facilmente. Diante disso, na presente pesquisa o pátio de compostagem SITRADERO, foi totalmente delimitada e isolada, montada em estrutura de madeira, telhas de polietileno e telas de nylon, para evitar a entrada de animais e pessoas não autorizadas na área de experimento.

Para reduzir a incidência direta da radiação solar ou eventuais chuvas foram instaladas telhas sobre as composteiras (Figura 4).

Figura 4. Sistema de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos gerados em condomínio residencial. Campina Grande – PB.



Fonte: autoria própria

4.3.2 Tecnologias sociais

O tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em sistema descentralizado foi composto por três modelos de composteiras móveis (composteiras de concreto retangular, composteiras de aço inoxidável retangular e composteiras de polietileno cilíndrico) em escala de triplicata, totalizando 9 composteiras (Figura 5).

Figura 5. Sistemas de composteiras. Foto A: composteiras de aço inoxidável (CAR); Foto B: composteiras de concreto retangular (CCR); Foto C: composteiras de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande – PB.



Fonte: autoria própria

As composteiras são suspensas, ou seja, não estão diretamente em contato com o solo, evitando a entrada de insetos do ambiente. As composteiras também são móveis, podendo ser

deslocadas a outros locais, e apresentam capacidade máxima de 30 kg de substrato cada (Tabela 3).

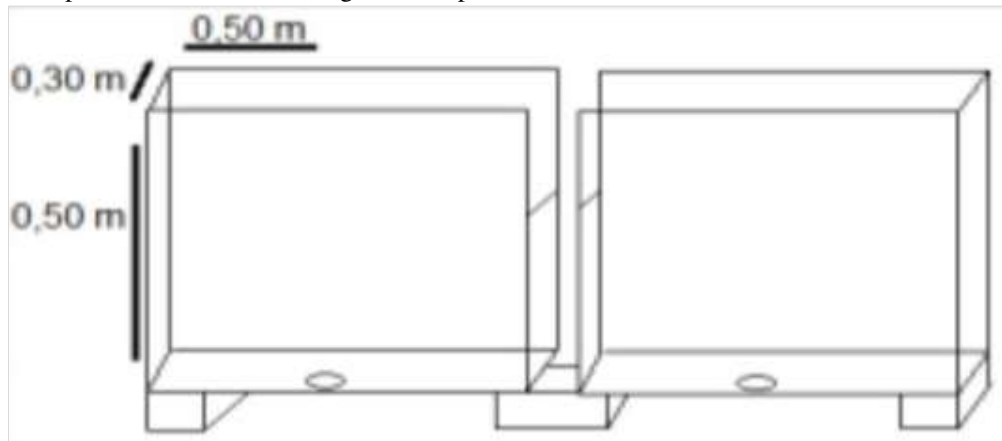
Tabela 3. Sistemas de composteiras. Foto A: composteiras de aço inoxidável (CAR); Foto B: composteiras de concreto retangular (CCR); Foto C: composteiras de polietileno cilíndrico (CPC).

Siglas	Composteiras	Dimensões				Repetições	Autores
		Largura	Comprimento	Altura	Volume		
CCR	Concreto retangular	0,30 m	0,50 m	0,50 m	0,075	CCR1; CCR2; CCR3	Nascimento (2015)
CAR	Aço inoxidável retangular	0,30 m	0,50 m	0,50 m	0,075	CAR1; CAR2; CAR3	Nascimento (2015)
CPC	Polietileno cilíndrico	0,30 m	0,54 m	0,40 m	0,065	CPC1; CPC2; CPC3	Gomes (2019)

As composteiras de concreto retangular (CCR) são formadas por dois compartimentos, com uma redução de 0,25 m em uma das laterais de cada compartimento (FIGURA 6). O compartimento permite a passagem manual do material entre os compartimentos com facilidade, por isso, são colocados um na frente do outro, para que durante o percurso não caia nenhum material nas extremidades, tão pouco caia vestígios no meio ambiente. As composteiras de concreto retangular ficam suspensas em blocos de concreto a 0,5 cm do solo para evitar o contato direto com o solo (NASCIMENTO, 2015).

Na base da composteira tinha instalado um ralo de polietileno para escoamento e coleta de chorume, caso necessário. As composteiras também apresentam uma abertura superior para acondicionamento e revolvimento do substrato, contudo, ela se torna suscetível à entrada de vetores (NASCIMENTO, 2015). Para evitar esse quadro, verificou necessário adicionar sobre as composteiras telas de nylon tipo sombrite (ARAÚJO *et al*, 2019b).

Figura 6. Composteira de concreto retangular. Campina Grande-PB.



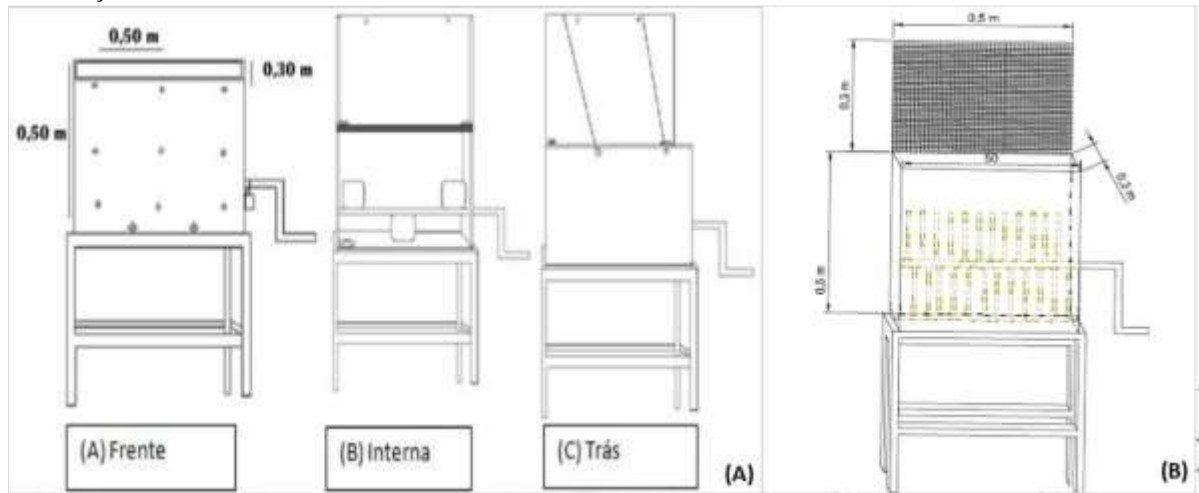
Fonte: Nascimento (2015)

As composteiras de aço inoxidável retangulares (CAR) são desenvolvidas em único compartimento e apresentam uma manivela móvel acoplada à parede lateral da tecnologia para o revolvimento do substrato, sem o contato direto com o material (FIGURA 7). A composteira é suspensa possuindo uma base de ferro de 1,0 m de altura (NASCIMENTO, 2015).

A composteira contém porta frontal e compartimento direcional para a saída do composto resultante, o que evita perdas. A porta apresenta travas de segurança para impedir a abertura antes do término. Sobre a abertura superior da composteira tem-se uma tampa em malha metálica para circulação de oxigênio e impedir a entrada de vetores na composteira. Um orifício localizado na porção inferior da composteira tem como finalidade o escoamento do chorume, caso ocorra (ARAÚJO *et al*, 2019b).

A partir de testes realizados com o modelo de composteira CAR e trabalhos anteriores (NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO, 2018), observou dificuldades no reviramento do material com a manivela móvel. Dessa forma, Gomes (2019) fez modificações nas composteiras, alterando a posição, quantidade e tamanho das hélices, de maneira que facilitou a aeração e o revolvimento da massa de substrato.

Figura 7. Composteira de aço inoxidável. Foto A: parte frontal interna, externa e posterior da tecnologia. Foto B: modificações feitas nas lâminas internas.

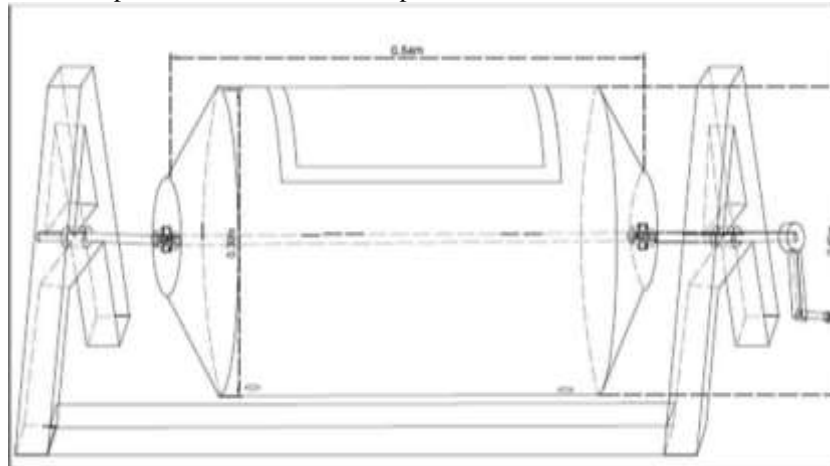


Fonte: Nascimento (2015) e Gomes (2019)

Mesmo com a manivela em hélices, cada repetição da composteira de aço inoxidável retangular tem uma espátula em aço inoxidável para auxiliar no revolvimento do material e organizar a massa do substrato em forma de pilha, evitando a dissipação do calor.

O terceiro modelo engloba as composteiras de polietileno cilíndrico (CPC) formada em um único compartimento, confeccionadas em tambor de plástico virgem (polietileno), com capacidade máxima para 40 L (Figura 8). A adoção da roda de leme facilita o reviramento sem contato direto com o substrato e a necessidade de uso de instrumentos agrícolas, o que evita contaminação, beneficiando desse modo, a possível adoção da comunidade. Destaca-se também que a aeração entre as camadas é facilitada, de forma que os organismos aeróbios se instalem e diminuam as zonas de anaerobiose para evitar a formação do chorume e de gás metano. No caso da formação destes, tinham-se orifícios para saída de chorume e de gás (ARAUJO *et al*, 2019b; GOMES, 2019).

Figura 8. Composteiras de polietileno cilíndrico. Campina Grande-PB.



Fonte: Gomes (2019)

4.3.3 Coleta dos resíduos sólidos orgânicos

Os resíduos sólidos orgânicos foram coletados no condomínio residencial Dona Lindú IV. A escolha desta unidade decorreu da iniciativa de implantação do sistema de gestão integrada de resíduos sólidos em escala piloto, realizada na pesquisa de Freitas (2020). Segundo o autor, o modelo de gestão contou com a coleta seletiva na fonte geradora dos resíduos sólidos gerados, programa de educação ambiental e inclusão social dos catadores de materiais recicláveis. Por isso, o presente estudo teve como suporte, o embasamento teórico e apoio da pesquisa citada.

O contato inicial ocorreu com a síndica do condomínio, na ocasião foram realizadas conversas informais e acordadas as estratégias para coleta e triagem do material. Logo após, foram realizadas visitas aos moradores e uma palestra para mostrar o andamento do projeto. Os dias escolhidos para a coleta do material eram os mesmos da coleta do serviço público de limpeza urbana (terça-feira, quinta-feira e sábado), pois são os dias de coleta regular no condomínio. Durante uma semana os resíduos sólidos orgânicos foram coletados, sendo realizadas três coletas, quantidade suficiente para a montagem do experimento e preenchimento das leiras.

Ao longo da semana, os moradores separavam previamente os restos de preparo de alimentos, sobras das refeições e folhagens que passaram a serem encaminhadas para área técnica do condomínio e então destinada a equipe da pesquisa. Embora a separação dos moradores tenha sido significativa, ainda teve materiais que foram dispostos de forma misturada. Por isso, houve uma verificação prévia dos resíduos orgânicos. Os materiais misturados são considerados, neste trabalho, como rejeitos e passaram a serem entregues ao

serviço público de limpeza urbana, evitando a contaminação da parcela orgânica utilizada na compostagem. Os resíduos orgânicos foram coletados pela equipe técnica do projeto (estudantes voluntários da graduação, PIBIC e Pós-Graduação).

4.3.4 Montagem das composteiras

Logo após a coleta, os resíduos sólidos orgânicos foram encaminhados ao pátio de compostagem, e realizados os procedimentos de triagem, trituração e homogeneização do material coletado (FIGURA 9). Apenas chegaram no pátio de compostagem os resíduos sólidos orgânicos passíveis de serem reciclados (resíduos sólidos orgânicos não misturados com rejeito), mas, após as sacolas serem abertas, ocorreu uma nova triagem, para evitar a entrada de materiais inertes no sistema.

Figura 9. Montagem do sistema de compostagem. Foto A: homogeneização dos resíduos sólidos orgânicos. Foto B: trituração do material compostado.



Fonte: autoria própria

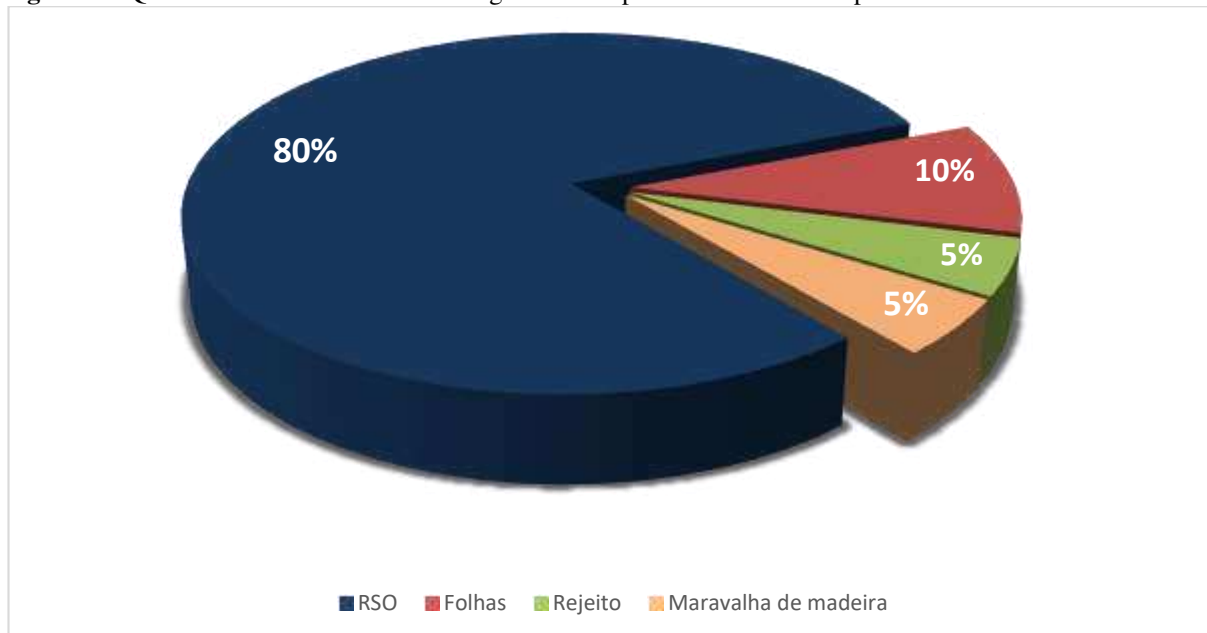
Para a trituração do material compostável, utilizou-se o triturador elétrico TR-200 TRAPP. A especificação técnica do equipamento informa que devem ser trituradas, resíduos sólidos orgânicos domiciliares, como restos de frutas e verduras, cascas de ovos, filtros de chá e café, ossos pequenos, sobras de refeições, papel, pedaços de madeira e galhos, folhas, flores e gramas, sendo ideal para o tipo de resíduo estudado e para atender às respectivas frações granulométricas.

Cabe ressaltar que a trituração dos resíduos sólidos orgânicos ocorreu segundo a recomendação da literatura que sugere antes da montagem do sistema o processo de redução das partículas de resíduos sólidos orgânicos por meio de equipamentos adequado, de forma que

não exceda 5 cm (SILVA, 2017), favorecendo a ação dos organismos e, conseqüentemente, reduzindo do período da compostagem.

Os resíduos sólidos orgânicos triturados foram despejados em uma lona plástica, e adicionado estruturante (folhas, maravalha de madeira e rejeitos de outros sistemas), formando um material homogêneo. Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares gerados no condomínio Dona Lindú IV corresponderam a 80% da massa do substrato, enquanto que 20% foram constituídos por estruturante (FIGURA 10).

Figura 10. Quantidade de resíduos sólidos orgânicos compostados durante o experimento.



RSOD: Resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Fonte: modificado de Silva (2021). Fonte: autoria própria

O estruturante¹ usado na pesquisa correspondeu a folhas secas (10%), composto tipo rejeito² (5%) e maravalha ou serragem de madeira (5%), conforme Figura 11.

¹Estruturante: função do estruturante é evitar a compactação dos resíduos orgânicos, naturalmente úmidos, ao criar áreas de oxigenação. Isso permite a ação dos organismos aeróbios e controle do teor de umidade. Além disso, o estruturante contribui para relação carbono/nitrogênio.

²Composto tipo rejeito: material gerado na peneiração do composto com peneira de 4 mm. Esse material é constituído de gravetos, galhos, sementes e outros materiais de grande granulometria e difícil degradação. É fundamental para favorecer aeração no sistema de compostagem.

Figura 11. Estruturante adicionado no sistema de compostagem. Foto A: folhas secas. Foto B: composto do tipo rejeito. Foto C: maravalha de madeira. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Com auxílio de equipamentos manuais, como enxada e pá, revolveu-se o material, formando um substrato homogêneo. Sobre a lona plástica, esse material foi montado em forma de leira e depois dividido em quatro partes iguais, através do método de quarteamento. De uma porção retirou $\frac{1}{4}$ da massa total. Esta amostra passou a ser novamente homogeneizada e quarteada para obtenção de uma subamostra. A porção retirada foi, então, quarteada em dez partes iguais e adquirida uma amostra homogênea de cada parte para análise laboratorial do material inicial, resultando na obtenção de dez amostras em cada coleta e encaminhadas ao laboratório para análises físicas, químicas e biológicas.

O material foi novamente misturado e colocado na balança mecânica com capacidade máxima de 150 kg, para a pesagem do material. O volume era verificado por meio de balde plástico (volume 30 litros). O substrato disposto no balde foi adicionado nas composteiras, iniciando assim, a montagem do sistema. As composteiras pararam de receber o substrato quando atingiram 22,5 kg. A massa do substrato foi montada em forma de leira, conforme recomenda a literatura (KIEHL, 2012; POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017) e coberto com telas do tipo sombrite para evitar incidência de insetos que comprometam a quantificação adequada dos mesoinvertebrados autóctones (Figura 12).

Figura 12. Etapas para montagem do sistema. Foto A: método do quarteamento para retirada das amostras. Foto B e C: pesagem do substrato. Foto D: montagem das composteiras.



Fonte: autoria própria

A partir do fechamento das leiras, iniciou-se o monitoramento do sistema com as análises físicas, químicas e biológicas. Diariamente eram realizadas análises de temperatura e verificação *in loco* dos organismos presentes (entre 08:00 e 10:00 horas da manhã). Essas análises diárias permitiram analisar o andamento do sistema, indicado pela ação dos organismos, principalmente em relação ao teor de umidade, corrigindo sempre que necessário (Figura 13).

Figura 13. Monitoramento do sistema de compostagem. Foto A: observação *in loco* de fungos no sistema. Foto B: observação de larvas e pupas de moscas. Foto C: reviramento da massa do substrato.



Fonte: autoria própria

O sistema passou a ser monitorado de forma a favorecer as características físicas, químicas e biológicas nos três tratamentos e suas repetições. O teor de umidade foi o único parâmetro que precisou ser diferenciado entre os tratamentos (CCR; CAR; CPC), em virtude da estrutura das composteiras divergirem (concreto – CCR; aço inoxidável – CAR; polietileno – CPC), fazendo com que cada sistema tivesse variação significativa no nível de água. Esse fenômeno não era significativo entre as repetições (R1; R2; R3). As composteiras de concreto retangular requereram maior quantidade de água, enquanto que as composteiras de polietileno cilíndrica eram as que mais conservaram a umidade. Dessa forma, a quantidade de água para manter a umidade foi diferenciada entre os tratamentos.

4.3.5 Variáveis analisadas

Após a montagem do sistema de compostagem, a pesquisa passou a ser monitorada diariamente, por meio de análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da massa do substrato (Quadro 7). As amostras foram coletadas uma vez por semana, durante o revolvimento da massa do substrato, promovendo a coleta homogênea do material.

As análises foram realizadas no laboratório do Grupo de Extensão e Pesquisa em Gestão e Educação Ambiental (LabGGEA) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB/Campus I), no laboratório do Setor de Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, na cidade de Areia-PB (UFPB) e no laboratório do Centro de Tecnologia de Couro e Calçados (SENAI/CTCC).

Quadro 7. Parâmetros físicos, químicos e biológicos dos resíduos sólidos orgânicos coletados em condomínio residencial, em Campina Grande-PB

	Parâmetros	Frequência	Método utilizado
Físico	Temperatura (°C)	Semanal	Termômetro Silva (2021)
	Umidade (%)	Semanal	Gravimétrico
	Aeração	Semanal	Silva (2021)
	Adição de água (L)	Semanal	Silva (2021)
Químico	pH (unidade)	Semanal	Phmetro (Silva 2021)
	STV (%ST)	Semanal	Gravimétrico Silva (2021)
	Nitrogênio total (%STV)	Inicial e final	Método Kjeldhal
	Carbono Orgânico Total (%STV)	Semanal	Kiehl (1998) 1,8xSTV

	Demanda Química de Oxigênio (%)	Semanal	Lossin (1971)
	Potássio (%ST)	Inicial e final	Fotometria de chama
	Fósforo Total (%ST)	Inicial e final	Espectrofotométrico com ácido ascórbico
	NH ₄ (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Ferro (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Enxofre (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Magnésio (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Cobre (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Boro (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Manganês (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Cálcio (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
	Zinco (%ST)	Final	Tedesco <i>et al.</i> , (1995)
Biológico	Ovos de helmintos (ovos/gST)	Semanal	Meyer (1978) modificado por Silva (2021)
	Mesoinvertebrados (indivíduos/gST)	Semanal	Silva (2021)
	Coliformes termotolerantes (NMP/100g ST)	Inicial, meio e final	Seção 9221 E. Ed 23 (APHA, 2017)
	Coliformes totais (NMP/100g ST)	Inicial, meio e final	Seção 9221 B. Ed 23 (APHA, 2017)
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100g ST)	Inicial, meio e final	Seção 9221 F. Ed 23 (APHA, 2017)
	Bactérias heterotróficas (UFC/100g ST)	Inicial, meio e final	Seção 9215 B. Ed 23 (APHA, 2017)
	Teste de fitotoxicidade	Final	Levy; Taylor (2003)

4.3.5.1 Parâmetros físicos analisados nos resíduos sólidos orgânicos

Ocorreu a análise dos parâmetros físicos, que corresponderam à temperatura, o teor de umidade, a aeração do substrato e adição de água nas leiras.

A análise da temperatura (°C) correspondeu a aferição do substrato com termômetros químicos com haste de vidro com líquido vermelho ecológico. A medição da temperatura das composteiras ocorreu diariamente durante todo o experimento (93 dias). O processo de aferição de temperatura foi realizado com 9 termômetros, utilizados ao mesmo tempo para medir os três estratos da massa do substrato: superfície, centro e base. Em cada estrato foram analisados três pontos, obtendo-se a média aritmética do sistema em cada estrato. Também foi aferido a temperatura ambiente do local de instalação do sistema, buscando comparar com as médias

obtidas no sistema em relação à temperatura ambiente local. Essa análise ocorreu sempre no horário das 08h00min.

Após identificar as medidas de temperatura do sistema, foi realizado o revolvimento do substrato, favorecendo a aeração do mesmo e evitando condições anaeróbias.

O monitoramento do teor de umidade do sistema de compostagem seguiu o modelo proposto por Silva (2021). As amostras foram pesadas (utilizou nesta pesquisa 25 g em cada amostra) na balança de precisão e encaminhadas para estufa a 105 °C por um período de 24 horas. Em seguida, as amostras eram resfriadas em dessecador e pesadas novamente. O percentual para identificar o teor de umidade foi então calculado, conforme Equação 1:

$$U (\%) = \frac{(P_0 - PC) - (P_1 - PC)}{P_a} \times 100 \quad [1]$$

Onde:

U : Teor de umidade (%)

P0 : peso da amostra *in natura* (g)

PC : peso do cadinho (g)

P1 : peso da amostra após secagem (g)

Pa : peso da amostra (g)

Até a 9ª semana do experimento, quando os níveis de teor de umidade encontram-se entre 40-45% foi adicionado água no sistema. Para identificar a necessidade e quantidade ideal de água nas composteiras, foi utilizado a Equação 2:

$$H_2O = PR \left(\frac{ST}{U} - 1 \right) \quad [2]$$

Onde:

PR : peso do reator/composteira

ST : unidade de sólidos totais (g)

U : umidade (%)

A adição de água nas composteiras ocorreu durante o reviramento das leiras, permitindo a rega adequada de toda a massa do substrato.

4.3.5.2 Parâmetros químicos analisados nos resíduos sólidos orgânicos

Para análise do potencial hidrogeniônico (pH) foi utilizada a metodologia proposta por Silva (2021), a qual utilizaram-se 25 g do substrato diluído em 125 mL de água destilada. A solução foi homogeneizada durante cinco minutos, filtrada com filtro de polietileno e, posteriormente, aferida com auxílio de pHmetro.

Para determinar o percentual de sólidos fixos do sistema, foi utilizada a metodologia de Silva (2021), na qual a amostra utilizada para identificação de umidade foi submetida à calcinação a 550°C durante um período de duas horas. Após esse tempo, a amostra foi pesada, retornando a mufla por uma hora, repetindo o procedimento até obter a constância ponderal, obtendo o P2, conforme equação 3:

$$STF (\%) = \frac{(P2-PC)}{ST} \times 100 \quad [3]$$

Onde:

STF : sólidos totais fixos (%)

P2 : peso da amostra calcinada (g)

PC : peso do cadinho (g)

ST : unidade de sólidos totais (g)

A diferença entre sólidos totais e sólidos fixos corresponde aos sólidos totais voláteis, e foi determinada conforme metodologia proposta por Silva (2021), observadas na equação 4.

$$STV (\%) = \frac{(ST-SF)}{ST} \times 100 \quad [4]$$

Onde:

STV : sólidos totais voláteis (%)

ST : unidade de sólidos totais

SF : unidade de sólidos fixos

Através do método da calcinação dos resíduos sólidos orgânicos também é possível estimar o teor de carbono orgânico total. De acordo com a metodologia sugerida por Kiehl (2012), necessita-se que se utilize o fator de 1,8 para conversão do percentual de sólidos totais voláteis em carbono orgânico total.

A partir do valor obtido na determinação do carbono orgânico pode-se calcular a demanda química de oxigênio (DQO). Este parâmetro constitui a quantidade de oxigênio necessária para realizar oxidação química da matéria orgânica analisada em uma amostra do composto. O cálculo pode ser feito a partir do cálculo sugerido por Lossin (1971), conforme observada na equação 5.

$$DQO = C \times 26,66 \quad [5]$$

Onde:

DQO : demanda química de oxigênio (mg/g)

C : carbono orgânico total

4.3.5.3 Parâmetros biológicos dos resíduos sólidos orgânicos

Semanalmente foram coletadas amostras para as análises biológicas. As análises de ovos de helmintos seguiram com base no método desenvolvido por Meyer (1978), modificadas por Silva (2021). As modificações consistem na preparação da amostra. Foram coletados 25g do substrato que foram lavados em água sanitária a 50% e, logo após, foi realizada filtragem dupla com filtro de nylon para garantir o máximo de recuperação de ovos de helmintos (SILVA, 2021). A análise da viabilidade dos ovos, a partir das trocas de permeabilidade da membrana vitelina dos ovos, foi realizada por meio da técnica de coloração rápida, utilizando-se de solução de safranina a 0,1% (ZERBINI *et al.*, 1999).

A quantidade de ovos de helmintos por grama de sólidos totais (ovos/gST) foi determinada pela seguinte equação:

$$Z = N \times \frac{VF}{(VC+ST)} = \text{ovos/gST} \quad [6]$$

Onde:

Z = número total de ovos na amostra

N = número de ovos identificados

VF = volume final

VC = volume da câmara de McMaster com dois retículos (0,30 mL)

ST = sólidos totais da amostra analisada

A identificação dos ovos de helmintos foi baseada na análise das características morfológicas específicas dos ovos, como forma, conteúdo do ovo, espessura da membrana externa e viabilidade através da permeabilidade ao corante, conforme os critérios destacados em Neves (2016).

Para análise microbiológica foram coletados 10 g do substrato de cada sistema e encaminhadas ao laboratório para preparação das amostras. Foram higienizados os Becker e bastão de vidro com algodão e hipoclorito de sódio, conforme a seção 9060 A (APHA, 2004).

Foram pesados os substratos em balança de precisão e diluídos em 900 ml de água destilada, obtendo uma diluição de 0,1g/10 mL. A solução foi filtrada em papel filtro e adicionada em frascos esterilizados de reagentes em vidro borossilicato. Os frascos foram armazenados em caixa de isopor com gelo e encaminhados no prazo de 24 h para o laboratório de controle da qualidade do Centro de Couro e Calçados do SENAI.

Para coleta e quantificação de mesoinvertebrados foi adotado o método de captura manual de catação, identificação e contagem (CIC), sugerida no trabalho de Silva (2021). O procedimento consiste na coleta semanal de 25 g da massa do substrato em diferentes pontos de cada composteira e encaminhamento ao laboratório. Para coleta das moscas adultas utilizou-se um puçá.

A identificação taxonômica das espécies adultas e imaturas foi realizada a partir da observação direta dos caracteres morfológicos evidenciáveis ao microscópio estereomicroscópio e utilização de chaves dicotômicas elaboradas por Peterson (1951); Lima (1962); McAlpine *et al.* (1987), Sterh (1991), Borrer e Delong (1992), Triplehorn e Johnson (2004) e Carvalho *et al.* (2012).

Os dados morfométricos registrados foram o comprimento das espécimes medido com paquímetro mecânico universal. Para análise das asas, utilizaram-se as imagens das asas para definir os marcos anatômicos.

As espécies não identificadas na forma imatura, foram coletadas e acompanhadas de seu desenvolvimento no laboratório para identificação na forma adulta. Para criação e desenvolvimento, os ovos, larvas e ninfas foram transferidos das placas de Petri para potes de amostra biológica contendo a mesma dieta, ou seja, a massa de substrato em decomposição. Esses potes eram fechados com tecido voil e preso por liga elástica.

Para identificação ecológica de mesoinvertebrados e a sucessão ecológica ao longo do processo de decomposição do substrato, foi atribuída influência numérica (qualitativa e quantitativa), ponderando as variáveis presentes no estudo, tais como: riqueza, diversidade, densidade, frequência, dominância, constância e abundância, de forma a corrigir diferenças entre quantidade e abundância de espécies presentes na amostra e a distribuição temporal das espécies.

A riqueza de espécies busca designar o número de espécies em uma determinada área, sendo importante para analisar a homogeneidade do sistema. A abundância determina o tamanho da população de uma espécie. A diversidade de espécies consiste no número de diferentes espécies que estão representados no sistema, ou seja, é a associação entre a riqueza de espécies e sua distribuição entre as amostras, não configurando apenas sua abundância (BEZERRA; ANDRADE, 2022).

A densidade de espécies compreende o número de indivíduos de uma espécie que compõem uma área. A densidade de mesoinvertebrados em cada tratamento foi determinada na equação 7.

$$Dn = \frac{N}{Q} \quad [7]$$

Onde:

Dn : índice de densidade (ind/gST)

N : número de indivíduos da espécie (n)

Q : quantidade de sólidos totais da amostra

A frequência exprime o número de ocorrência de uma espécie em unidades amostrais, podendo ser dividida em absoluta e relativa. A primeira é a quantidade total das parcelas que a espécie ocorre, enquanto que a segunda é a proporção de indivíduos de um determinado táxon

em relação ao total de indivíduos da amostra. A frequência relativa pode ser calculada pela equação 8.

$$P_i = \frac{n_i}{N} \times 100 \quad [8]$$

Onde:

P_i : índice de frequência relativa (%)

n_i: número de indivíduos da espécie i (n)

N: total de indivíduos da amostra (n)

A frequência fornece informações sobre a dispersão das espécies, principalmente em função das fases de decomposição da matéria orgânica. Táxons com elevada quantidade de indivíduos podem apresentar baixos valores de frequência, devido seus indivíduos estarem agrupados ou não serem adaptados a determinadas condições físico-químicas, do mesmo modo que outras espécies podem apresentar valores altos de frequência por seus indivíduos serem distribuídos em todas as parcelas amostradas.

A dominância consiste na prevalência de uma ou mais espécies no sistema. O cálculo de dominância das espécies capturadas foi determinado através da equação 9.

$$D = \frac{1}{S} \times 100 \quad [9]$$

Onde:

D : o índice de dominância (%)

S : número de espécies totais (n)

Segundo essa análise, quando o valor desta relação for maior que dez, a espécie será considerada dominante no sistema. Quando o valor dessa relação for abaixo deste valor, a espécie passa a ser considerada não dominante (SILVEIRA-NETO *et al.*, 1976).

Para identificar a constância da interação entre um indivíduo e seu ambiente foi utilizada a equação 10:

$$C = \frac{p \times 100}{N} \quad [10]$$

Onde:

C : constância em percentual do táxon

p : número de coletas contendo o grupo em questão

N : número total de coletas efetuadas

Os valores de constância foram classificados em constantes (presentes em mais de 50% das coletas), acessórios (de 25% a 50%) ou acidentais (< 25% das coletas), conforme metodologia descritas por Silveira Neto *et al.* (1976).

Para identificar a diversidade entre diferentes tratamentos utilizou o teste de Shannon-Wiener (H'). É índice baseado na abundância proporcional da espécie na comunidade. Para essa análise, os indivíduos foram coletados aleatoriamente de uma grande e infinita população, assumindo que todas as espécies estão representadas na amostra (DIAS, 2004). Esse cálculo foi feito com a utilização da equação 11.

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i \quad [11]$$

Onde:

H : é a mensuração da distribuição

p_i : proporção dos indivíduos de cada espécie

Para avaliar a taxa de dominância entre as fases, foi usado o índice de Simpson. O cálculo do índice foi de acordo com a equação 12.

$$D = \sum p_i^2 \quad [12]$$

Onde:

p_i : proporção de indivíduos da espécie i ou N_i/N

Para identificar a uniformidade de espécies foi utilizado o índice de Equitabilidade de Pielou. Esse é um teste derivado do índice de diversidade de Shannon, permitindo representar

a uniformidade entre as espécies existentes. Seu valor representa uma amplitude entre 0 e 1, obtido com auxílio da equação 13.

[13]

$$J' = \frac{H'}{H' \max}$$

Onde:

H' : é o índice de Shannon-Weaner

H' valor máximo de H' : $\log S$

4.3.6 Avaliação da qualidade do composto orgânico originado em sistema de compostagem

Quando o material analisado alcançou a fase de estabilização, ocorreu a desmontagem do sistema (93 dias). O composto obtido nos tratamentos (CAR; CCR; CPC) com suas repetições (R1, R2 e R3) foram peneirados com uma peneira aramada de 4 mm, o material retido compreendeu o composto caracterizado do tipo rejeito que pode ser utilizado em outros experimentos de compostagem como estruturante. O material que passou foi denominado composto do tipo farelo. Este foi peneirado em peneira de 2 mm para obtenção do composto do tipo pó.

Os compostos orgânicos obtidos nas diferentes composteiras foram classificados em três tipos: rejeito, farelo e pó, conforme Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento nº 25 de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009).

Para conhecer a qualidade do composto foram analisadas as concentrações de sólidos totais (ST%), sólidos totais voláteis (STV%), carbono orgânico total (%), demanda química de oxigênio (%), teor de umidade (%), potencial hidrogeniônico (pH), e NPK (%), realizadas no Lab.GGEA/UEPB.

Também foram analisadas as concentrações de macronutrientes primários: Nitrogênio total (N); Fósforo (P); Potássio (K), macronutrientes secundários: Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Enxofre (S) e os micronutrientes: Ferro (Fe); Manganês (Mn); Zinco (Zn) e Boro (B), realizadas no laboratório de Areia, Universidade Federal da Paraíba, campus II.

Foram analisados metais pesados como: Cobre (Cu), Chumbo (Pb) e Cádmiio (Cd), realizadas no laboratório de Areia, Universidade Federal da Paraíba, campus II. Para análise da

qualidade sanitária e agrícola do composto resultante, foi feita a investigação qualitativa e quantitativa de ovos de helmintos (SILVA, 2020), a concentração de coliformes termotolerantes (APHA, 2017a), coliformes totais (APHA, 2017b), *Escherichia coli* (APHA, 2017c) e bactérias heterotróficas (APHA, 2017d).

Para análise de protozoários ocorreu a diluição de 25 g do substrato em 100 mL de água destilada. O material ficou 24 horas em descanso. Depois o material foi filtrado em gaze estéril e analisado em microscópio eletrônico.

Para análise microbiológica, foi diluído 25 g do substrato em 100 ml de água destilada. Cada amostra foi filtrada em gaze estéril e adicionada em coletores individuais (100 mL), esterilizado e etiquetado. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em caixa térmica com gelo por período máximo de 10 horas e encaminhadas para análise laboratorial. Optou pela técnica de diluição. O material foi encaminhado para laboratório do Centro de Tecnologia de Couro e Calçados (SENAI/CTCC).

Para os testes biológicos da viabilidade do uso do composto, optou-se pelo uso da produção de sementes de tomateiro (*Solanum lycopersicum*) devido sua alta sensibilidade e por ser uma cultura de curta duração. Os estudos se concentraram nos estágios iniciais de crescimento das plantas, nos quais as deficiências nutricionais ou efeitos inibitórios são mais perceptíveis e, portanto, as diferenças entre os tratamentos e a amostra controle foram mais fáceis de observar, conforme sugere Levy e Taylor (2003). As sementes foram compradas em supermercado.

Para as amostras foram empregados 100 g de substrato e dez sementes por sacos plásticos para mudas. Os testes foram aplicados utilizando diferentes frações do composto (25%, 50% e 100%), originados dos três tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos (T1, T2 e T3) e suas respectivas repetições (R1, R2, R3) comparando-se com composto de resíduo vegetal comercializado em supermercado local, utilizado nesta pesquisa como tratamento controle (T4). O solo utilizado na formação do substrato foi a areia grossa lavada e terra vegetal (Quadro 8).

Quadro 8. Tratamento e repetições do teste de fitotoxicidade por metais pesados. Campina Grande-PB.

Tratamentos		Repetições		
T1	CCR	T1 R1 (25%)	T1 R2 (25%)	T1 R3 (25%)
		T1 R1 (50%)	T1 R2 (50%)	T1 R3 (50%)
		T1 R1 (100%)	T1 R2 (100%)	T1 R3 (100%)
T2	CAR	T2 R1 (25%)	T2 R2 (25%)	T2 R3 (25%)
		T2 R1 (50%)	T2 R2 (50%)	T2 R3 (50%)
		T2 R1 (100%)	T2 R2 (100%)	T2 R3 (100%)
T3	CPC	T3 R1 (25%)	T3 R2 (25%)	T3 R3 (25%)
		T3 R1 (50%)	T3 R2 (50%)	T3 R3 (50%)
		T3 R1 (100%)	T3 R2 (100%)	T3 R3 (100%)
T4	CONTROLE	T4 R1 (25%)		
		T4 R1 (50%)		
		T4 R1 (100%)		

R: repetições; T₁: tratamento em sistemas de composteiras de concreto retangular (CCR); T₂: tratamento em sistemas de composteiras de aço inoxidável retangular (CAR); T₃: tratamento em sistemas de composteiras de polietileno cilíndrico (CPC); T₄: composto de resíduo vegetal oriundo de supermercado (Controle).

Os testes fitotóxicos foram realizados na área do sistema de compostagem. Por ter cobertura os testes obtiveram luz solar indireta. As amostras foram colocadas em ordem aleatória sob a luz e foram reorganizadas sempre que necessário. A irrigação do experimento foi realizada pela manhã, sempre no mesmo horário, manualmente. As plantas foram regadas com as águas de abastecimento da cidade de Campina Grande-PB. Para evitar a concentração de cloro, a água utilizada passou a ser coletada em torneira com filtro e armazenada previamente antes das irrigações diárias.

As variáveis analisadas foram: os números de brotos emergidos com sucesso do composto, as taxas de crescimento das mudas, percentual de emergência, primeira contagem e índice de velocidade emergência, o potencial de promoção do crescimento das emendas e o número das folhas. Testes subsequentes de metais pesados examinaram mais precisamente os índices de toxicidade do composto. Foram consideradas como plântulas normais todas aquelas emergidas com as folhas cotiledonares totalmente abertas e expandidas.

A porcentagem de germinação foi calculada pelo método global através da equação 14:

$$G = \left[\frac{N_t \times 100}{n} \right] \quad [14]$$

Onde:

G = porcentagem de germinação

N_t = proporção de sementes germinadas na contagem final

n = número de sementes usadas no experimento

Para avaliação do índice de crescimento das mudas, foi utilizado a equação sugerida no trabalho de Tam e Tiquia (1994), seguindo a equação 15:

$$IC = \frac{A \times G}{100} \quad [15]$$

Onde:

IC : índice de crescimento (%)

A : comprimento de semeadura (cm)

Ac : percentual de germinação (%)

4.4 Análise estatística

Os dados descritivos neste trabalho foram apresentados e analisados tomando por base a média aritmética e variância dos tratamentos. O grau de dispersão analisado foi o desvio padrão entre as análises.

A correlação entre os parâmetros físico-químicos e mesoinvertebrados foram verificados por meio do teste correlação de Pearson. O coeficiente de correlação igual a um ($r = 1$) indica correlação perfeita positiva entre duas variáveis. Coeficiente de correlação igual a menos um ($r = -1$) indica correlação negativa perfeita entre duas variáveis. Quando o coeficiente é igual a zero entende-se que as duas variáveis não são dependentes uma da outra (SHIMAKURA, 2006). O tipo de correlação pode ser observado na tabela 4. Os dados foram apresentados através do coeficiente de correlação com combinação gráfica e numérica pelo *pairs plot*.

Tabela 4. Interpretação referente ao coeficiente de correlação (r).

Tipo de correlação	Valor de r
Bem fraca	0,00 a 0,19
Fraca	0,20 a 0,39
Moderada	0,40 a 0,69
Forte	0,70 a 0,89
Muito forte	0,90 a 1,00

Fonte: Modificado de Shimakura (2006)

Para observar a suficiência amostral durante as coletas semanais realizadas e determinar se o número de coletas efetuado foi representativo, construiu-se uma curva de acumulação de espécies a partir das amostras do tipo UGE. Para contornar a arbitrariedade na ordem de entrada das unidades amostrais, a curva foi suavizada por procedimento de aleatorização das unidades amostrais pela função *specaccum* no pacote do RStudio. Logo após, foi realizada uma curva de rarefação para calcular o número esperado de espécies em cada sistema, tendo como base comparativa um valor em que todas as amostras atingiram um tamanho padrão.

Com base nos estudos de Colwell (2013) e Barbosa, Hammond e Nigel (2002) foram adotados os seguintes termos: *Singleton* = espécies com um único indivíduo; *Doubleton* = espécies com dois indivíduos; espécies “raras” = espécies com abundância de 1 - 9 indivíduos; espécies “comuns” = espécies com abundância acima de 10 indivíduos.

A similaridade entre as amostras foi calculada utilizando-se o índice de Morisita-Horn (WOLDA, 1981). O principal método hierárquico foi obtido pela UPGMA, e as distorções geradas foram avaliadas com o Índice de Correlação Cofenética (ROMESBURG, 1984).

Para identificar a presença dos diversos táxons entre as diferentes fases de decomposição, foi aplicado o teste de Kolmorov-Smirnov para verificar a normalidade dos resíduos. Seguidamente, foi realizada análise de variância de Kruskal-Wallis para dados não paramétricos de um fator, para verificar a diferença entre os sistemas e entre as fases. Quando houve diferença significativa foi realizado o teste *post-hoc* de Dunn *a posteriori*.

Foi estudada a similaridade dos principais parâmetros monitorados nos sistemas de compostagem, através da análise multivariada pela Análise de agrupamento hierárquico (HCA) e pela Análise dos Componentes Principais (PCA). Também foram realizadas análises de agrupamento (Cluster), que consiste na verificação da similaridade e dissimilaridade entre amostras a partir da construção de um dendrograma (CLARKE; WARWICK, 2001).

Para as análises de ovos de helmintos, foi realizado análise estatística, considerando os tipos de compostagem (3) e ao tempo - semanas (13) como fator de variação, esquema fatorial 3x13, e três repetições, através do software SISVAR (Ferreira *et al.*, 2019). Para padronização dos gráficos de diversidade e equitabilidade foi usado o Excel.

A normalidade dos dados para o teste de fitotoxicidade foi verificada através do teste de Shapiro-Wilk com $p > 0,05$, enquanto a homogeneidade foi testada pela ANOVA de Teste *Post-Hoc* de Tukey. As análises dos dados passaram a serem utilizadas os programas estatísticos RStudio, Jamovi e Sisvar.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização gravimétrica

Foram coletados 202,5 kg de resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar, o que equivale à uma média de 67,5 kg/coleta. Isto representa a geração de 24.638 kg de resíduos sólidos orgânicos ao ano, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Quantificação dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares gerados pelas famílias participantes da pesquisa. Campina Grande-PB.

Coleta/dia	Quantidade (kg)
1 ^a	35,2
2 ^a	72,2
3 ^a	95,1
Total	202,5
Média	67,5
Desvio padrão	30,2

Fonte: autoria própria

A quantidade de resíduos orgânicos gerados diariamente no condomínio, justifica a implementação de sistema de gestão dos resíduos sólidos. Além disso, cumprir com a Lei Municipal 4900/2010 que tornou obrigatória a coleta seletiva para condomínios residenciais com mais de 30 unidades individuais (CAMPINA GRANDE, 2010) e a Lei Complementar 087/2014 que instituiu a Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (CAMPINA GRANDE, 2010; 2014), seguindo o perfil da Lei 12.305/2010 e o Decreto 10.305/2022, que estabelece a separação dos resíduos sólidos na fonte geradora (BRASIL, 2010; 2022).

Torna-se evidente que a separação dos resíduos sólidos urbanos na fonte geradora é um passo importante para alcançar a gestão integrada de resíduos sólidos. A reciclagem depende da responsabilidade compartilhada de todos os segmentos envolvidos.

Mesmo aqueles que estavam participando do projeto ainda tiveram dificuldade de cumprir com o papel cidadão. De maneira semelhante a outros estudos, uma parte dos resíduos sólidos orgânicos encontrava-se erroneamente misturada aos demais resíduos sólidos urbanos.

Esses materiais não foram coletados pelos pesquisadores e não fizeram parte da quantidade total de material encaminhado ao sistema de compostagem, justificando o desvio padrão alto.

Contudo, observa-se que mesmo com as estratégias de formação e sensibilização em Educação Ambiental da pesquisa anterior (FRAGAS, 2020), não ocorreu tempo suficiente para fazer mudança de percepção e atitudes sustentáveis. A seleção prévia dos resíduos sólidos no condomínio Dona Lindú IV ainda não abrange a totalidade dos moradores. A coleta realizada pelos funcionários também não é tão enérgica. Mesmo quando separados previamente nas residências, os resíduos sólidos acabam dispostos em sacolas de cor preta - com capacidade de 100 litros - sem nenhuma identificação.

Isso termina sendo um obstáculo para os catadores de materiais recicláveis das associações que coletam os resíduos sólidos recicláveis semanalmente, após acordado com os moradores em realizarem a coleta seletiva. Contudo, há pouca preocupação e cuidado com a separação e higienização dos resíduos sólidos na fonte geradora, acabando por gerar um resíduo orgânico domiciliar com significativo potencial contaminante (Figura 14).

Figura 14. Resíduos sólidos misturados, coletados no residencial Dona Lindú IV. Campina Grande, Estado da Paraíba.



Fonte: autoria própria

Foi observada a mistura dos resíduos sólidos recicláveis secos (papel, papelão, plástico, metal, vidro), orgânicos (restos de comida, cascas, frutas, verduras e folhas), os rejeitos (papel higiênico, fraldas descartáveis, absorventes e preservativos), além dos resíduos perigosos (aerossóis, pilhas, solventes e inseticidas) e de serviço de saúde (medicamentos vencidos).

No entendimento de Dantas (2017) uma parcela significativa dos condomínios ainda não está sensível à prática da coleta seletiva. Muitos condomínios acabam por agir de forma paliativa quando são multados.

Em entrevista realizada com catadores de materiais recicláveis nas mesorregiões paraibana foi constatado que a coleta seletiva em condomínios não se efetiva e os impactos ambientais e sociais adversos tornam significativos. Segundo os profissionais que trabalham na catação dos materiais recicláveis (CAVALCANTE, 2018, p.205):

“Condomínios já foram multados, mas até agora ninguém separou! A gente pega três vezes na semana e é o mais difícil, porque os condomínios não separam, vem tudo misturado, comida, coco de cachorro... O mau cheiro é horrível... Se tivesse máscara eu usava...”.

“Nos condomínios, além de tá tudo misturado, a gente ainda tem que lavar tudo, varrer e deixar tudo limpo! É muito chato isso, não é obrigação minha lavar balde!”

Quando os resíduos sólidos são destinados à coleta de forma misturada e mal higienizados põem em risco a saúde dos moradores, dos funcionários da limpeza do condomínio, dos funcionários da coleta de serviço pública, dos catadores de materiais recicláveis e até mesmo dos próprios pesquisadores (ARAÚJO, 2018).

Em relação aos riscos biológicos, o contato com os resíduos sólidos de origem orgânica pode levar a contaminações graves, uma vez que nesses materiais há concentração significativa de organismos patógenos, conforme descrevem Cavalcante *et al.* (2017), Nascimento *et al.* (2017), Araújo (2018), Cavalcante (2018), Gomes (2019), Silva *et al.* (2020), Silva *et al.* (2020d).

Segundo Gomes (2019) os resíduos sólidos orgânicos, independentemente da origem, apresentam densidades elevadas de organismos indicadores de contaminação fecal de interesse em clínica médica, na ordem de 10^7 UFC/g⁻¹ de resíduos orgânicos. Os estudos realizados identificaram microrganismos patogênicos: *Citrobacter* (25,9 %), *Enterobacter* (14,1%), *Escherichia* (11,7%), *Klebsiella* (5,9%), *Morganella* (1,2%) *Proteus* (35,4%), *Providencia* (1,2%), *Serratia* (2,3%) e *Salmonella* (2,3%).

Trabalhos realizados no estado da Paraíba identificaram concentração de ovos de helmintos nos resíduos sólidos orgânicos na prevalência de 3,26 ovos/gST (ARAÚJO *et al.*, 2017), 4,1 ovos/gST (GOMES, 2019) e 14,3 ovos/gST (ARAÚJO *et al.*, 2019). Concentrações de ovos de helmintos em resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar revela um quadro bastante preocupante ao considerar o percentual de ovos viáveis, alta resistência às condições ambientais e a baixa dose infectante (SILVA, 2021).

No entendimento de Silva (2020), a problemática ambiental revela a incapacidade humana de convivência mutualística com as outras espécies, zelo pelas riquezas naturais, bem como, o entendimento das leis que protegem a natureza e que permitem a continuidade de vida.

Para Araújo (2018) atitudes como essa necessitam ser evitadas e os causadores devem ser esclarecidos que são responsáveis pelos resíduos sólidos que geram e os impactos negativos que causam.

Mais do que cuidar do meio ambiente, a gestão de resíduos sólidos envolve o cuidado e respeito ao próximo. As ações devem se voltar no sentido de colocar-se no lugar do outro, requerendo um olhar mais sensível e humanizado, para que os resíduos perigosos e aqueles causadores de acidentes, de fato, recebam o tratamento adequado, sem colocar em risco a saúde os profissionais da catação (CAVALCANTE, 2018).

A partir das conversas informais e das palestras realizadas, verificam-se que os moradores percebem os riscos, possivelmente em virtude das ações interventivas em Educação Ambiental realizadas na pesquisa de Fragas (2020), no entanto, os moradores ainda não estão sensíveis o suficiente a problemática para mudarem de atitudes. Provavelmente, não ocorreu tempo suficiente para garantir a sensibilização e empoderamento da maioria dos moradores. Os conceitos e práticas ainda não foram assimilados e incorporados nas atividades cotidianas de parte dos moradores envolvidos e, assim que o projeto de intervenção terminou a operacionalidade e viabilidade do sistema de gestão não obteve continuidade. Essa realidade afetou circunstancialmente a coleta e a triagem dos resíduos sólidos orgânicos na presente pesquisa, uma vez que uma porção dos materiais coletados estava misturada, inviabilizando a segregação na fonte.

Essa situação necessita de um trabalho proativo, responsável, dinâmico, interdisciplinar e continuado em Educação Ambiental em todas as esferas da sociedade. A entrega de panfletos autoexplicativos enquanto estratégia de Educação Ambiental deve ser superada (sugestão de gestores locais na tentativa de implantar a coleta seletiva institucionalizada na cidade). A efetividade de um programa de gestão integrada de resíduos sólidos depende, sobretudo, do interesse, comprometimento e participação mútua de diferentes atores sociais numa perspectiva sistêmica em prol do desenvolvimento sustentável.

Isso mostra a importância de ser um sistema de gestão integrada de resíduos sólidos, pois a coleta seletiva sozinha não é suficiente para sensibilizar a população a separar os resíduos sólidos, tampouco, a entrega isolada de panfletos. A atividade de intervenção em um grupo deve estar alicerçada nos princípios e fundamentos da Educação Ambiental. No entanto, a Educação Ambiental não pode ser apenas um trabalho inicial, mas deve estar em todas as etapas do processo de intervenção. No entendimento de Silva (2020) só assim será possível promover um sistema de gestão eficiente, que busque o envolvimento e empoderamento social em direção

a novo paradigma de justiça, solidariedade e qualidade ambiental e, de fato, provoque mudanças.

Uma população consciente dificilmente irá permitir que o equilíbrio do meio ambiente, como direito fundamental, seja alterado por um sistema que põe em riscos os recursos naturais e a saúde da sociedade (SILVA *et al.*, 2019). Segundo Araújo *et al.* (2017) a Educação Ambiental permite que a sociedade reconheça os problemas ambientais e valorize os aspectos sociais, históricos, ambientais, éticos e culturais do ambiente que estão inseridos, adquirindo assim, habilidades e competências para solucionar os problemas socioambientais locais.

Nesse contexto, em Educação Ambiental não cabe trabalho amador (SILVA, 2020). É preciso um processo de formação, sensibilização e envolvimento ambiental, de modo que contribua para formar cidadãos conscientes, responsáveis, críticos, participativos e com habilidades para atuar em prol do meio ambiente, dentro dos princípios da sustentabilidade, solidariedade e precaução.

5.2 Caracterização física, química e sanitária dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares

O monitoramento sistemático do experimento de compostagem teve início com as análises laboratoriais do substrato. Coletou dez amostras compostas dos resíduos sólidos orgânicos “*in natura*” da massa do substrato e encaminhadas ao laboratório.

Na amostra inicial foram analisados os parâmetros físicos (Teor de Umidade e Temperatura), químicos (pH, Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis, Carbono Orgânico Total, Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Relação C/N), sanitários (*E.coli*, Bactérias Heterotróficas, coliformes termotolerantes, Coliformes Totais e Ovos de Helmintos) e biológicos (Mesoinvertebrados). Os resultados dos parâmetros iniciais podem ser observados na Tabela 06.

Tabela 6. Características físicas, química, biológicas e sanitárias dos resíduos sólidos orgânicos coletados no condomínio residencial Dona Lindú IV. Campina Grande-PB.

	Características	Resultados
Físicos	Umidade (%)	71
	Temperatura (°C)	30
Químicos	pH (unidade)	5,3
	ST (%)	29,3
	STV (%)	81,3
	COT (%)	45,1
	DQO (mg/g)	1,202
	N (%)	1,0
Químicos	K (%)	0,4
	P (%)	0,47
	C/N (%)	37/1
Sanitários	<i>Escherichia coli</i>	>1600 NMP org./100 mL
	Bactérias heterotróficas	>5.700 UFC/mL
	Coliformes termotolerantes	>1600 NMP org./100 mL
	Coliformes Totais	27 e >1600 NMP org./100 mL
	Ovos de Helmintos (ovos/gST)	9,5
Biológicos	Mesoinvertebrados (ind/gST)	15

Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares estudados tem elevado percentual de matéria orgânica, alto teor de umidade (71%), reação ácida (5,3 unidade) temperatura mesófila (30 °C) e expressiva presença de organismos patogênicos, demandando tratamento, em virtude do seu potencial de poluição e de contaminação.

A concentração de sólidos orgânicos totais (81,3%) e carbono orgânico total (45,1%) mostram a constituição predominantemente orgânica do material. Segundo Gomes (2019) esse tipo de resíduo sólido é caracterizado como uma fonte rica em nutriente que pode ficar disponível aos organismos autotróficos quando são estabilizados e transformados em matéria inorgânica.

A relação C/N nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares esteve na faixa de 37/1, ficando superior aos parâmetros considerados ideais (25/1 a 35/1) sugeridos por Haug (1993), Bidone (2001), Kiehl (2012) e Polprasert e Koottatep (2017). De acordo com Kiehl (2012), na

relação C/N inicial alta, ocorre falta de nitrogênio, então esse elemento será reciclado pelas células microbianas até degradação total da matéria orgânica, enquanto que o carbono é eliminado na forma de gás carbônico.

Possivelmente, a relação C/N alta seja resultado da quantidade de materiais de difícil degradação na massa de substrato, como celulose, lignina e hemicelulose. Observou muita grama, cascas, palhas e sementes nos resíduos sólidos orgânicos coletados na fonte geradora. A adição do estruturante é fundamental para a relação C/N, pois Dal Bosco (2017) esclarece que se parte do carbono disponível é de difícil degradação, é aconselhável que a relação C/N inicial seja maior, pois o carbono biodisponível é inferior ao carbono total mensurado.

Entende-se que a relação C/N constitui um parâmetro confiável para acompanhamento da compostagem, contudo, determinar uma condição inicial adequada da relação C/N de resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar, se torna uma tarefa difícil, pois a qualidade do alimento encaminhado ao sistema de compostagem é decorrente dos hábitos alimentares da população, podendo variar em cada localidade.

Em relação à demanda química de oxigênio, na massa inicial do substrato, o valor de DQO encontrou-se em 1,202 mg/g. De acordo com Kiehl (2012) o composto não estável apresenta DQO igual ou maior que 900 mg/g, sendo a quantidade de oxigênio necessário que os organismos utilizarão para - por oxidação biológica - realizar a degradação do composto.

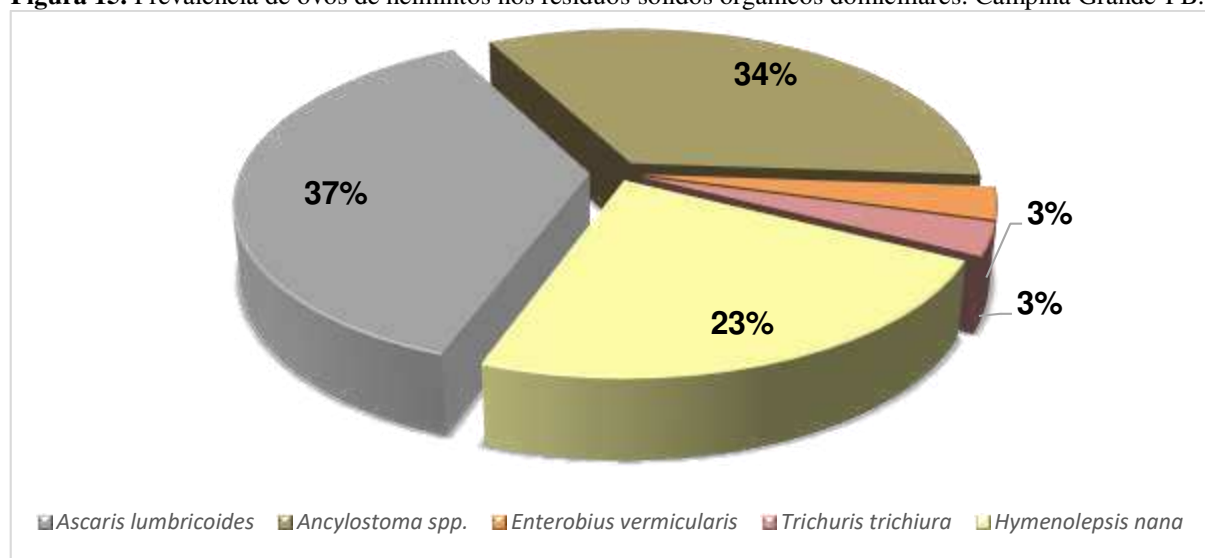
Os valores dos macronutrientes nitrogênio (1%), fósforo (0,47%) e potássio (0,4%) analisados no início do experimento apresentaram valores baixos, de acordo com os parâmetros observados pelas pesquisas de Kiehl (2012) e Polprasert e Koottatep (2017). Valores semelhantes também foram encontrados nos resíduos sólidos orgânicos em pesquisas paraibanas realizadas por Nascimento (2015), Araújo (2018), Silva (2021) indicando a baixa qualidade nutritiva da matéria orgânica coletada na fonte geradora, possivelmente relacionados aos hábitos alimentares da população estudada.

Em relação aos parâmetros biológicos dos resíduos sólidos orgânicos foram observados e capturados sobre a massa de substrato 15 ovos da ordem Diptera. Esses ovos ficaram em análise no laboratório até eclodirem, identificando larvas de *Hermetia illucens*.

A matéria orgânica inicial apresentou significativa contaminação por bactérias patogênicas, com concentração de Coliformes totais (entre 27 e >1600 NMP org./100 mL), Coliformes termotolerantes (>1600 NMP org./100 mL), *Escherichia coli* (>1600 NMP org./100 mL) e Bactérias heterotróficas (>5.700 UFC/mL).

Em relação aos ovos de helmintos, estes estiveram presentes em todas as amostras dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares iniciais realizadas, com concentração de organismos patogênicos em 9,5 ovos/gST e viabilidade de 70,5%. Encontrou ovos de helmintos, com a seguinte ordem de prevalência: *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma* sp., *Hymenolepis nana*, *Enterobius vermicularis* e *Trichuris trichiura* (Figura 15).

Figura 15. Prevalência de ovos de helmintos nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.



Fonte: autora própria

Os ovos de *Ascaris lumbricoides* foram encontrados em todas as amostras analisadas, com porcentagem de viabilidade de 63%, o que reflete o parasitismo humano. *Ancylostoma* sp., *Hymenolepis nana* e *Enterobius vermicularis* também foram significativos nos resíduos orgânicos domiciliares, apresentando uma taxa de viabilidade de 94%, 54,5% e 100%, respectivamente (Tabela 07). Embora tenha sido identificado ovos de *Trichuris trichiura*, nenhum era viável, situação observada pela ruptura da membrana vitelina do ovo.

Tabela 7. Prevalência de ovos de helmintos encontrados nos resíduos sólidos orgânicos. Campina Grande-PB.

Helmintos	Helmintos (ovos/gST)			Viabilidade (%)
	Viável	Não viáveis	Total	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	2,2	1,3	3,5	63,0
<i>Ancylostoma</i> spp.	3,0	0,2	3,2	94,0
<i>Enterobius vermicularis</i>	0,3	-	0,3	100
<i>Trichuris trichiura</i>	-	0,3	0,3	-
<i>Hymenolepis nana</i>	1,2	1,0	2,2	54,5
Total	6,7	2,8	9,5	70,5

A concentração de ovos de helmintos nos resíduos sólidos orgânicos foi superior às registradas por Araújo *et al.* (2017), Gomes (2019) e Silva *et al.* (2020) que identificaram, respectivamente, 3,26 ovos/gST, 4,1 ovos/gST e 0,84 ovos/gST em resíduos sólidos orgânicos domiciliares de pesquisas realizadas em outros bairros de Campina Grande-PB.

No experimento realizado, todos os ovos de helmintos identificados nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares são parasitos humanos e têm importância de saúde pública, conforme citam Feachem (1983), Carrington (2001), Metcalf e Eddy (2003), Neves (2016) e Silva (2021). Os ovos de *Ascaris lumbricoides* foram encontrados na maior parte das amostras analisadas, com porcentagem de viabilidade de 63%, o que reflete a contaminação da população local.

Esta espécie de parasito é encontrada em vários substratos em quase todos os países do mundo e ocorre em frequência variada, decorrente das condições ambientais e sociais da região (SILVA *et al.*, 2020; SILVA, 2021). Estima-se que 1,2 bilhões de pessoas no mundo estejam infectadas com *Ascaris lumbricoides* (WHO, 2021).

Ancylostoma sp., também foi bastante observado no sistema de compostagem, com uma taxa de viabilidade de 94%. Esse helminto tem ampla distribuição geográfica, podendo causar anemia e desnutrição. Em crianças, pode ocorrer problemas no desenvolvimento físico e cognitivo (NEVES, 2016).

As espécies *Hymenolepis nana* e *Enterobius vermicularis* também foram significativas nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, apresentando uma taxa de viabilidade de 54,5% e 100%, respectivamente.

Embora tenha sido encontrada a espécie *Trichuris trichiura* na massa de substrato inicial, o que correspondeu a 3% dos helmintos visualizados nos resíduos sólidos orgânicos estudados, nenhum ovo era viável, situação observada pela ruptura da membrana vitelina do ovo. No entendimento de Carrington (2001) a baixa umidade e temperatura acima de 40 °C promovem a destruição dos ovos de *Trichuris trichiura*.

Mesmo sendo identificados ovos de *Trichuris trichiura* inviáveis, a incidência do helminto nos resíduos sólidos orgânicos aponta a incidência deste helminto e uma possível contaminação da população local, indicando a necessidade de investimento em pesquisas voltadas a sua prevalência na região, como também nas condições ambientais que favorecem sua sobrevivência.

Estudos realizadas na cidade de Campina Grande, a exemplo de outras cidades brasileiras, mostram ocorrência significativa da espécie na cidade. No trabalho de Silva (2021) foram identificados ovos de *Trichuris trichiura* na co-compostagem de lodo de tanque séptico

e resíduos sólidos orgânicos domiciliares coletados na fonte geradora nas cidades de Caraúbas, Cabaceiras e Queimadas, estado da Paraíba,

Pesquisa com crianças de 2 a 10 anos em um bairro da cidade constatou uma prevalência de 34,9% de ovos de *Trichuris trichiura* (SILVA *et al.*, 2005). Estudo comparou a relação da carência nutricional e a manutenção de doenças infecciosas em crianças de creches da cidade de Campina Grande. Pedraza (2016) observou casos de anemia e deficiência de zinco nas crianças, devido ao parasitismo e poliparasitismo de helmintos, com destaque a espécie *Trichuris trichiura* entre as mais frequentes.

Camelo *et al.* (2020) analisaram a prevalência de ovos de helmintos no sistema de esgotamento sanitário da cidade de Campina Grande e também constatando uma alta incidência de *Trichuris trichiura*. Dessa forma, pode-se entender que, embora não tenham sido observados ovos viáveis na área de estudo, a prevalência do helminto *Trichuris trichiura* na cidade de Campina Grande é elevada, necessitando de medidas de tratamento adequado e justificando o fato de ter sido encontrado nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

O expressivo número de agentes infecciosos envolvido nos resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar, possivelmente está associado à higienização precária dos alimentos, a rega de leguminosas com água não tratada ou parcialmente tratada (AMOAHA *et al.*, 2016; 2018), a manipulação de alimentos por portadores assintomáticos (CHEN *et al.*, 2012; NEVES, 2016) e, principalmente, pela falta de segregação prévia dos resíduos sólidos urbanos (SILVA *et al.*, 2020). A falta e/ou higienização inadequada das mãos e dos alimentos, irrigação com esgoto bruto ou tratado primariamente (SILVA, 2021). A seleção dos resíduos sólidos na fonte geradora é essencial para mitigar os impactos negativos à saúde humana e ambiental.

A predominância de ovos de *Ascaris vermicularis*, *Ancylostoma sp.*, *Hymenolepis nana*, *Enterobius vermicularis* e *Trichuris trichiura* nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares justificou-se, por serem parasitos encontrados na população humana e animal em áreas com problemas de saneamento básico. Ressalta-se que o residencial Dona Lindú, localidade onde os resíduos sólidos orgânicos foram coletados, é um conjunto de apartamentos populares construídos às margens do Açude de Bodocongó e ao lado da Vila dos Teimosos. Araújo, Gomes e Silva (2020) destacam que o açude é um local totalmente degradado em virtude das ações antrópicas, sendo descartados esgotos clandestinos e resíduos sólidos urbanos.

A percepção predominante de vários segmentos da sociedade humana é que esse tipo de resíduos compreende um problema secundário, diferentemente da percepção em relação aos resíduos de serviços de saúde que são objetos de cuidados e de leis específicas (SILVA, 2021).

Nessa perspectiva, pode-se inferir que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares são um veículo de transmissão de agentes patogênicos quando dispostos de forma imprópria, podendo provocar infecções subsequentes para os animais e os seres humanos.

De posse dos resultados, pode-se afirmar que os resíduos sólidos orgânicos gerados no condomínio residencial Dona Lindú IV, encontrava-se em fase de fermentação anaeróbia, exalava odor fétido, tinha reação fitotóxica e alto teor de umidade, condições favoráveis para geração de gases, chorume e proliferação de vetores. Do ponto de vista sanitário, os resíduos sólidos orgânicos estavam consideravelmente contaminados, gerando riscos à saúde ambiental e humana, especialmente para aqueles que lidam direta ou indiretamente com os resíduos sólidos urbanos, a exemplo dos garis e catadores de materiais recicláveis.

Várias tecnologias que podem ser aplicadas para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, dentre as quais, o tratamento biológico aeróbio descentralizado, cujas estruturas e princípios permitem a modificação de problema em solução, transformação da parcela orgânica em composto estabilizado, com características agronômicas viáveis aos diversos fins agrícolas (SILVA, 2021).

5.3 Descrição das ocorrências diárias nas composteiras

O monitoramento das ocorrências diárias nos três sistemas de compostagem foi essencial para observação *in loco* das condições ambientais que afetaram direta ou indiretamente o sistema e do andamento do processo. Foi um importante registro do comportamento dos organismos durante a decomposição da matéria orgânica. A falta de observações compromete o entendimento do papel, a sucessão e da importância dos organismos na compostagem.

Dessa forma, mesmo nos dias em que não foram realizadas coletas, a observação do sistema foi necessária. O monitoramento diário favoreceu à identificação o teor de umidade elevado durante os primeiros dias, permitindo a reintrodução do percolado e controle da água para manutenção da umidade; promoveu a verificação das telas de proteção para evitar/minimizar a atração de organismos circulantes e contribuiu para análise dos fatores ambientais externos. Mesmo com cobertura do sistema, foi observado que uma das repetições da composteira CCR e da composteira CAR ainda estavam suscetível à chuva ou à alta incidência solar, necessitando realocá-las de lugar no sistema. Essa observação evitou a discrepância significativa nos dados físicos, químicos e biológicos, entre as repetições.

Ao longo do processo foi possível observar que o teor de umidade variou significativamente entre os sistemas, desde de condições muito úmidas (início do sistema) até muito seca (na fase mesófila), influenciando na tomada de decisão sobre o aumento do revolvimento das leiras nas primeiras semanas (quando úmida) e adição de água (quando o teor de umidade ficou abaixo de 40%). A adição de água foi realizada sempre no momento de revolvimento das leiras, sendo que a quantidade necessária foi definida conforme a equação 02. Isso promoveu condições mais homogêneas do substrato. Sendo assim, foram adicionados volumes de água baseado no potencial de sólidos totais do substrato de cada composteira. Esse procedimento evitou colocar quantidade insuficiente de água ou grandes volumes que potencialmente geram percolado.

Também observou-se que embora tenham sido utilizado o mesmo resíduo sólido orgânico domiciliar e tenham sido compostados no mesmo local e com mesmas condições ambientais, a estrutura (CCR: retangular; CAR: retangular; CPC: cilíndrica) e material de composição (CCR: concreto; CAR: aço inoxidável; CPC: polietileno) interferiram significativamente nas condições físicas, químicas e biológicas da compostagem, alterando a biota, os fatores físicos e químicos e o tempo de estabilização entre os sistemas (Quadro 9).

Quadro 9. Características, avanços e limitações das composteiras utilizadas no tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

Composteira	Configuração	Aeração	Material	Capacidade volumétrica	Avanços	Limitações
CCR	Retangular	Pá manual	Concreto	0,075 m ³	Excelente decomposição; Sistema móvel	Problemas com ergonomia; uso da pá; Entrada de organismos invasores; perda de umidade maior; composteiras pesadas;
CAR	Retangular	Manivela	Aço inoxidável	0,075 m ³	Reduz contato direto com resíduos sólidos orgânicos; apresentada saída de chorume e tampa frontal para retirada do composto; Boa durabilidade; Excelente decomposição; Sistema móvel	Dificuldade no reviramento com manivela

Quadro 9. Características, avanços e limitações das composteiras utilizadas no tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares (Continuação).

Composteira	Configuração	Aeração	Material	Capacidade volumétrica	Avanços	Limitações
CPC	Cilíndrica	Roda de leme	Tambor de polietileno e base de madeira	0,065 m ³	Fácil operação; Reduz contato direto com resíduos sólidos orgânicos; Boa durabilidade; Excelente decomposição; Sistema móvel	Dificuldades nas travas da tampa; necessidade de adicionar espátulas para reviramento

Modificado de Araújo *et al.* (2019b)

As composteiras de concreto retangular (CCR) apresentaram menos variação dos fatores físicos e químicos e, conseqüentemente, maior densidade e diversidade de espécies. No entanto, a perda de umidade foi mais significativa ao longo do processo, necessitando de controle maior de água. As composteiras CAR estruturadas em aço inoxidável tiveram a capacidade de resistir às variações de temperatura, fazendo-as eficientes na manutenção do calor do sistema. Em contrapartida, manteve o teor de umidade por mais tempo (situação observada na incidência de percolado no início do sistema), o que gerou compactação da massa do substrato, principalmente abaixo da área das espátulas centrais, que não tinha força suficiente para levantar todo o substrato compactado e úmido, necessitando cuidado maior no revolvimento. Embora pesquisas anteriores tenham modificado as manivelas para melhorar o problema (ARAÚJO, 2018; GOMES, 2019), ainda persiste quando a carga é alta.

Possivelmente, esta situação acarretou em uma densidade e diversidade menor de espécies no sistema. Situação parecida também foi observada nas composteiras de polietileno cilíndrica (CPC).

Esta última tinha a facilidade de promover o reviramento da massa de substrato de forma mais homogênea e sem nenhum contato direto com o material, por ser um tambor giratório sobre uma base fixa, conforme explica Gomes (2019). Contudo, o teor de umidade elevado no início do sistema deixou a massa compactada e agregada, o que aumentou a formação de bolotas de substrato. Recomenda-se para as futuras pesquisas que o eixo central do tambor giratório tenham espátulas em hélice que permita uma maior homogeneidade do material.

Nenhum dos problemas das composteiras foram impedimentos ao andamento e sucesso do sistema de compostagem, mas o entendimento do processo foi importante para avaliar a estrutura do sistema e os parâmetros. Além disso, é importante para as futuras pesquisas na área.

Foi possível concluir que a eficácia do sistema de compostagem depende das experiências, observações críticas e investigativas realizadas pelo pesquisador durante todo o processo.

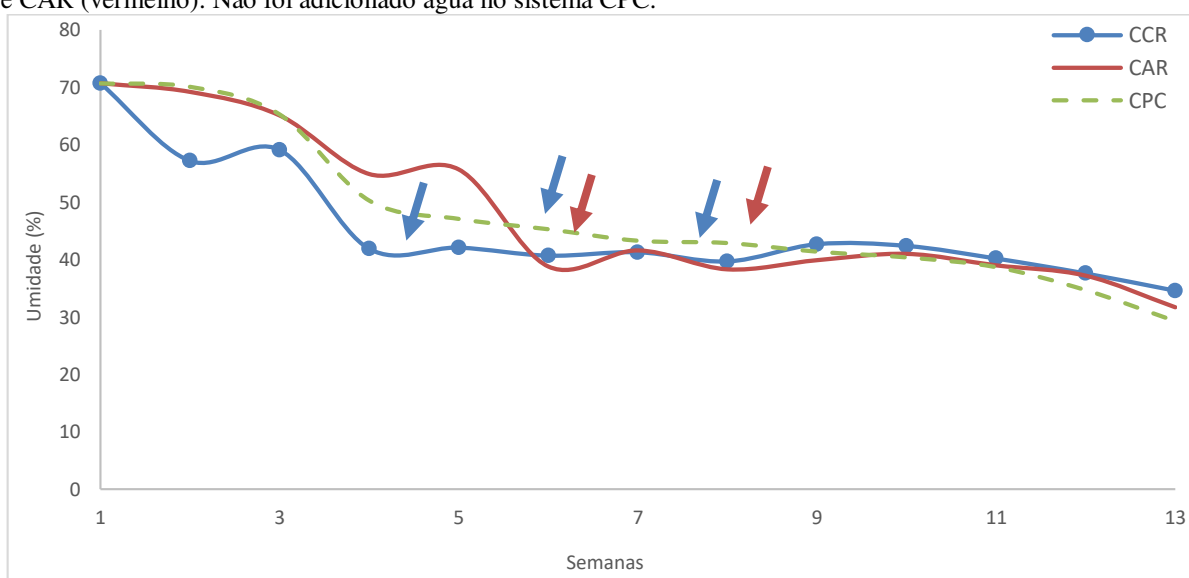
5.4 Parâmetros físicos e químicos do sistema de compostagem

5.4.1 Teor de umidade

Sabe-se que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares apresentam um teor de umidade elevado, em virtude da sua própria composição e da concentração de restos de frutas, verduras, caldos, entre outros materiais com bastante água. A adição de estruturante como folhas (10%), maravalha de madeira (5%) e rejeitos de outros sistemas de compostagem (5%) contribuíram para condições adequadas para desenvolvimento das larvas e promoveram maiores áreas de oxigenação da massa de substrato.

O teor de umidade inicial foi de 71%, indicando que a quantidade de água estava acima do registrado na literatura para processo de compostagem (CARRINGTON, 2001; KIEHL, 2012), no entanto, foi semelhante aos resultados do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos e lodo de tanque séptico coletados na fonte geradora nas pesquisas de Silva *et al.*, (2011), Silva *et al.* (2014), Nascimento (2015), Nascimento *et al.* (2017), Araújo (2018), Araújo *et al.* (2019), Araújo *et al.* (2021) e Silva (2021). Na figura 16 estão expressos os valores médios do teor de umidade nos sistemas de compostagem analisados.

Figura 16. Valores médios de teor de umidade para os diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB. As setas indicam os dias de adição de água no sistema CCR (azul) e CAR (vermelho). Não foi adicionado água no sistema CPC.



Fonte: autoria própria

As composteiras CCR são um sistema mais aberto e os níveis de água evaporam mais rapidamente que os outros tratamentos e, por isso, necessitou da adição de água no sistema, procedimento realizado durante a fase de semi-cura e estabilização, conforme observado na figura 21. Segundo Silva (2021) à medida que o material se decompõe a água do meio evapora, limitando a atividade dos organismos e, conseqüentemente, diminuindo a temperatura. À medida que os valores de umidade são controlados, os organismos voltam a decompor a matéria orgânica.

Mesmo com adição do estruturante no sistema, a capacidade de retenção de água nos resíduos sólidos orgânicos inicial reduziu pouco nos sistemas CAR e CPC, promovendo a compactação da massa do substrato e a passagem das condições aeróbias para anaeróbias, o que gerou chorume no centro e base das composteiras, processo indesejado no sistema adotado. De acordo com Kiehl (2012) e Polprasert e Koottatep (2017) o aceptor de elétrons passou de oxigênio para nitrato e sulfatos, promovendo acúmulo de água e odor fétido.

Neste momento, foram observadas condições aeróbias apenas na superfície das referidas leiras. Isso ocorreu, pois mesmo as composteiras sendo favoráveis para o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, os problemas com a manivela dificultaram o reviramento no sistema CAR e no sistema CPC e, nesse caso, a água passou a penetrar os espaços vazios, tornando a decomposição anaeróbia, conforme cita Kiehl (2012).

A estrutura do sistema pode ter dificultado a aeração e contribuído para aumento do teor de umidade; problemas operacionais também enfrentados por Nascimento (2015), Araújo (2018) e Gomes (2019). A manivela para homogeneização da composteira CAR não conseguiu suportar o peso do material inicial, pois estava muito úmido e compactado, dificultando a aeração. Para isso, foi necessário o uso de uma espátula de aço inoxidável, realizando o revolvimento manual das leiras. Esse procedimento, por sua vez, contraria o objetivo do referido sistema, que era proporcionar o reviramento da massa do substrato sem contato direto com o material. À medida que o teor de umidade foi sendo controlado, o reviramento com a manivela pôde ser possível.

O sistema CPC não detinha uma manivela para o revolvimento da massa de substrato, na verdade, o reviramento ocorria com o movimento giratório de todo o tambor, embora, o material estava bastante úmido e compactado, fazendo com que o material formasse uma massa pastosa e não segregasse completamente. Para pesquisas futuras, sugere-se que a adição de hélices no interior do tambor para facilitar o processo.

A trituração dos resíduos sólidos orgânicos embora contribua para o aumento da zona de atividade microbiológica, também pode ter favorecido o aumento do teor de umidade na massa inicial. Segundo Kiehl (2012) quanto mais fina a granulometria, maior será a área exposta para atividade microbiana, aumentando as reações bioquímicas, contudo, partículas muito finas podem provocar compactação excessiva, dificultando a aeração.

Pôde-se observar a formação de bolotas na massa de substrato, possivelmente, em virtude do alto teor de umidade inicial. De acordo com Lavelle (1996) esse ambiente limita a aeração e armazena água, com acúmulo de moléculas umidificadas resistentes, podendo resultar na diminuição significativa da mineralização e aumento do tempo de decomposição. Para Silva (2021) essas formações tornam o ambiente propício para a incidência de organismos patogênicos, pois protege ovos de helmintos de ataque de outros organismos e da radiação solar.

O acréscimo dos dias de reviramento permitiram que a massa compactada na base das composteiras fossem deslocada para superfície, desmanchando as bolotas, permitindo com que os ovos fiquem expostos às condições adversas (temperatura alta, umidade amena e pH alcalino) e favorecendo a higienização do substrato de forma homogênea. Isso pode ser observado, a partir dos picos do percentual de ovos de helmintos coletados nos sistemas logo após o reviramento da massa do substrato.

As composteiras apresentavam um orifício na superfície para saída de chorume e água, em excesso, que possa percolar pelo sistema. Em virtude disto, foi possível coletar o chorume e reintroduzi-lo manualmente nas mesmas, conforme mostra a figura 17.

Figura 17. Chorume gerado em uma composteira do sistema CAR. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

O alto teor de umidade inicial não foi impedimento para o desenvolvimento das larvas de mesoinvertebrados, mas as condições anaeróbias compactou a massa de substrato,

impedindo a movimentação dessas larvas e das ninfas no sistema. Além disso, a formação de chorume, possivelmente inibiu o desenvolvimento das larvas durante o período de umidade alta. Isso pôde ser percebido com a comparação das larvas dos sistemas. Observou-se que no sistema CCR as larvas apresentavam em instares mais elevados, enquanto que no sistema CAR e CPC as mesmas estavam diminutas, aparecendo entre primeiro e segundo instar, durante a primeira e início da segunda semana do sistema.

Diener *et al.* (2011b) também verificaram situação parecida. Segundo os autores, as larvas evitavam os locais com condições de anaerobiose e acúmulo de chorume, necessitando de sistema de drenagem do chorume no sistema de compostagem. Ao criar zonas de anaerobiose e, conseqüentemente, geração de chorume, Mahmood *et al.* (2021) observaram crescimento limitado e morte das larvas de *Hermetia illucens*.

O rápido controle do teor de umidade dos sistemas de compostagem da presente pesquisa, através do aumento da aeração das composteiras (de dois para três dias durante a geração do chorume), criou novamente condições favoráveis a atividade das larvas e andamento do sistema, superando essa diferenciação entre os sistemas.

Entendeu que os modelo de composteiras do sistema e as condições ambientais podem exercer influência direta na ação dos organismos, conforme observado no retardamento do desenvolvimento dos mesoinvertebrados e na criação de bolotas, área de proteção para os helmintos. Mas o acompanhamento do sistema promoveu o contorno dos problemas estruturais e o controle dos parâmetros foram fundamentais ao desenvolvimento dos organismos e na destruição dos organismos patogênicos. Dessa forma, o controle da umidade não causou retardo da estabilização das leiras. No entendimento de Gobbi (2012) o período larval depende das condições físico-químicas e disponibilidade de alimentos, assim como os demais períodos.

Logo após a primeira semana, não necessitou mais o reviramento quatro vezes na semana, pois com o controle de umidade ao longo do processo de compostagem ocorreu redução gradativa da umidade. Durante a fase de estabilização foi observada a necessidade de adicionar água, resultando em um material final com umidade de 35% no sistema CCR, 32% no sistema CAR e 29,3% no sistema CPC.

Dessa forma, o balanço hídrico da leira de compostagem foi resultado da água dos resíduos sólidos orgânicos (como frutas, leguminosas, caldos, entre outros materiais), a água das atividades metabólicas dos organismos e a adição de água durante a fase de semi-cura e estabilização dos sistemas. Durante 13 semanas de experimento, em leiras em diferentes volumes (CCR: 5 L; CAR: 2 L; CPC: 0 L), foi necessário a adição total de 7 litros de água.

Para o sucesso da compostagem, é necessário o controle dos fatores químicos, físicos e biológicos (SILVA, 2020). O monitoramento rigoroso da umidade inicial nos respectivos sistemas promoveu continuidade do processo e o retorno da atividade metabólica dos organismos.

5.4.2 Temperatura

O monitoramento da temperatura foi um dos parâmetros necessários para indicar a eficiência do sistema. Segundo Kiehl (2012) é o primeiro indício de que a compostagem está evoluindo de forma adequada é a constatação de calor, por decorrer do processamento da matéria orgânica por organismos exotérmicos.

O comportamento da temperatura começou semelhante na massa do substrato, iniciando com fase mesófila em 30 °C. Essa fase é caracterizada pela hidrólise de açúcar, aminoácidos e lipídeos (POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017).

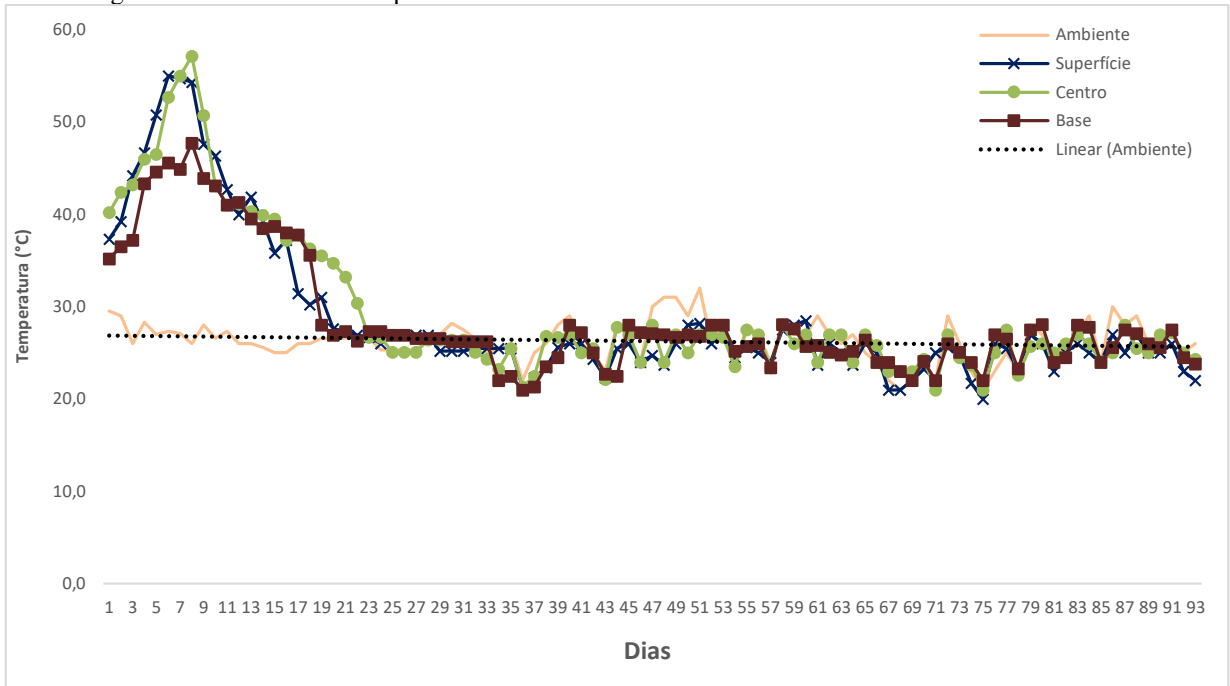
A fase mesófila teve diferenciação entre os sistemas. As composteiras CCR permaneceram em fase mesófila até o segundo dia. As composteiras CAR permaneceram até o sexto dia e as composteiras CPC até o quarto dia. Essa fase é caracterizada por teor de umidade elevado, temperatura baixa, pH ácido e baixa atividade biológica dos mesoinvertebrados, conforme sugere a literatura (KIEHL, 2012).

Durante essa fase, a microbiota cresce aceleradamente, assimilando fontes de carbono solúveis (açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos) e polímeros de fácil acesso, gerando calor por reações metabólicas exotérmicas e elevando a temperatura (GOMES *et al.*, 2007) e impondo novo cenário corresponde a fase termófila.

O teor de umidade elevado durante a fase mesófila retardou a ação dos organismos, mas a correção do teor de umidade, favoreceu a ação dos organismos, em consequência, ocorreu o aumento do nível de temperatura.

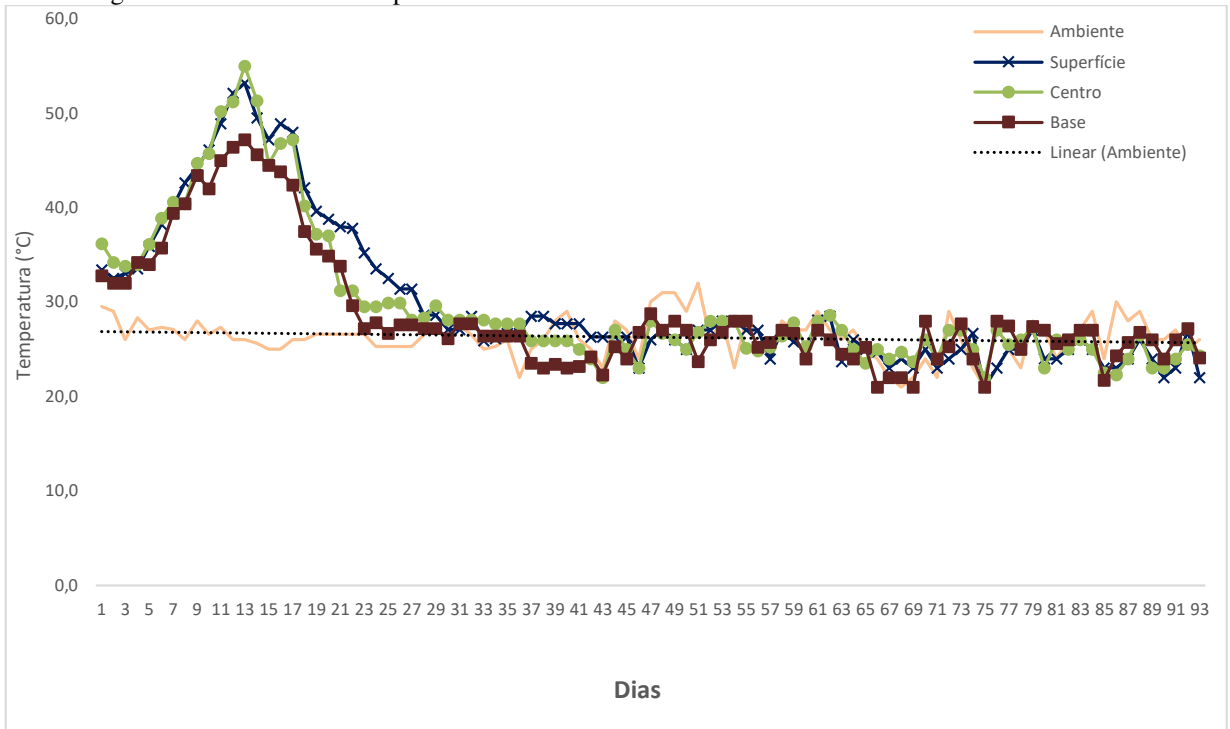
Esse aumento de temperatura inibe o crescimento da microbiota primária e estimula a proliferação de esporos de fungos, bactérias termófilas e favorece o desenvolvimento dos mesoinvertebrados. A partir do terceiro dia as temperaturas do sistema CCR já estavam em 40 °C, alcançando sua temperatura máxima no sexto dia (55 °C). O sistema CAR alcançou a fase termófila no sétimo dia, chegando a temperatura máxima no 15^a dia (55 °C) e permanecendo com valores elevados até o 18^a dia. O sistema CPC chegou à fase termófila no quinto dia, mas alcançou as temperaturas elevadas apenas no sétimo dia (55,1 °C) e permaneceram assim até o 18^a dia (Figuras 18, 19 e 20).

Figura 18. Valores de temperatura (°C) no sistema de composteira de concreto retangular (CCR) de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.



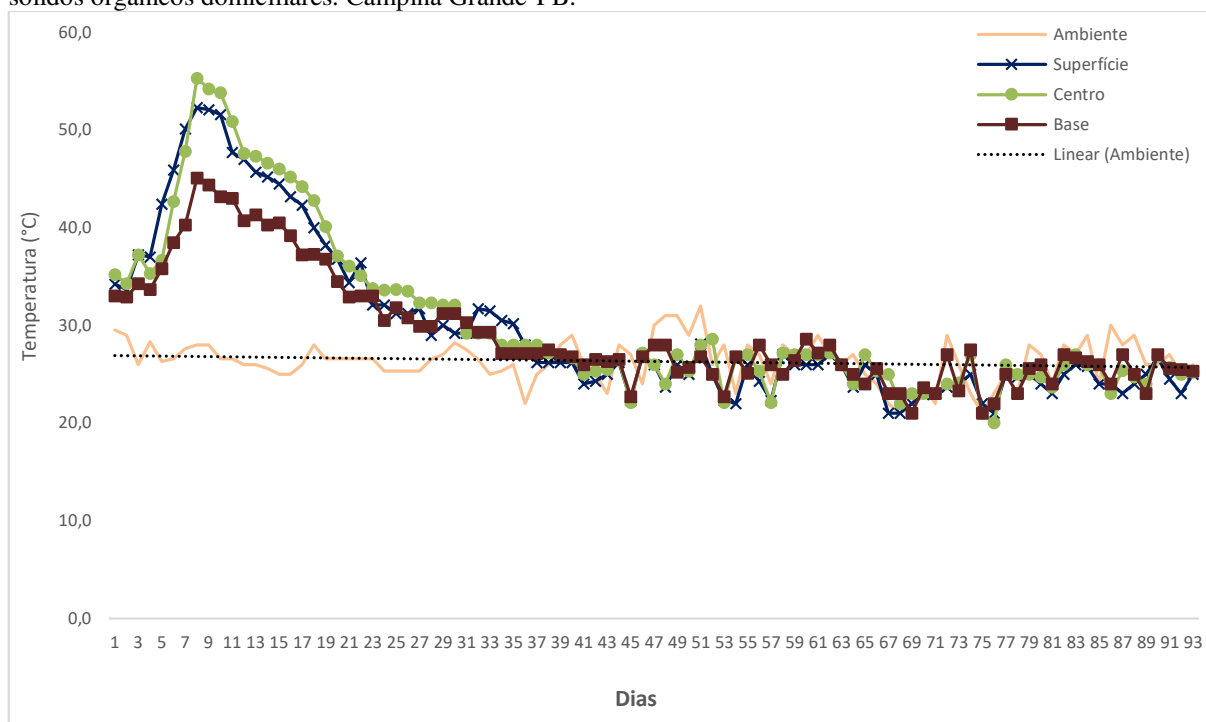
Fonte: autoria própria

Figura 19. Valores de temperatura (°C) no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Figura 20. Valores de temperatura (°C) no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC) de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Durante a fase termófila, as fontes de carbono assimiláveis estão escassas, restando polissacarídeos, como celulose, hemicelulose e pectina, cuja degradação requer intensa liberação de enzimas extracelulares. O processo de degradação desses materiais aumenta a temperatura (GOMES *et al.*, 2007). Isso pôde ser observado no sistema, devido à significativa redução de COT nos sistemas e a redução do volume da massa de substrato, ficando mais visível os galhos e sementes, material considerado recalcitrante.

Os sistemas de compostagem na presente pesquisa alcançaram níveis altos de temperatura (55-55,3°C) chegando aos valores recomendados na literatura, que determinam valores entre 40-65°C (HAUG, 1993; PEREIRA; SILVA, 1999; BIDONE, 2001; KIEHL, 2012; POLPRASERT, 2017), temperaturas consideradas eficazes para desnaturação de polímeros e rompimento celular em partículas menores, sendo mais assimiláveis (RUSSO, 2003), promover aumento da biodisponibilidade das frações de matéria orgânica (POLPRASERT, 2017) e destruição de organismos patogênicos.

Os sistemas de compostagem permaneceram em valores elevados por tempo ideal e suficiente para o fim desejado (11 dias no sistema CCR, 12 dias no sistema CAR e 14 dias no sistema CPC), para destruição dos ovos de helmintos e inativação de ervas daninhas. Estudos

apontam que o tempo necessário para inativação de ovos de helmintos, à temperatura de 55°C, seja entre 1 dia (USEPA, 1999) ou 15 horas (CARRINGTON, 1999).

Temperaturas muito elevadas por um período de tempo longo podem prejudicar a ação de organismos fundamentais para o processo de compostagem, indicando que o presente sistema foi eficiente para destruir ovos de helmintos sem prejudicar a ação dos organismos detritívoros. Alguns organismos entram em estágio de latência, enquanto outros fogem do sistema ou morrem. Em pesquisa realizada com a espécie *Hermetia illucens*, Mahmood *et al.* (2021) verificaram que a faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento da espécie está entre 23 e 38 °C. Segundo Gobli (2012) o período larval é mais curto em temperaturas altas. Apesar disso, as altas temperaturas, durante o período da fase termófilas, não foram prejudiciais aos organismos.

A partir do 14^a dia no sistema CCR e 19^a dia nos sistemas CAR e CPC ocorreram redução dos níveis de temperatura, caracterizando o início da fase de semi-cura. Esta fase durou, em média, 9 dias no sistema CCR; 11 dias no sistema CAR e 20 dias no sistema CPC. Na quarta e última fase, a estabilização, os valores chegaram à temperatura ambiente, embora Trautmann e Krasny (1998) citam que a temperatura é um resultado ambíguo, pois a ausência de aquecimento não indica um composto estável.

Esta foi a maior fase de duração, em torno de 74 dias no sistema CCR, 67 dias no sistema CAR e 58 dias no sistema no sistema CPC. Nesta fase, há formação de substâncias húmicas (KIEHL, 2012) e ocorreu o predomínio de pupas e adultos de *Hermetia illucens*. Durante essa fase apareceu insetos invasores, como as famílias Gryllidae, Armadillidiidae, Theridiosomatidae e Formicidae, sendo esta última a mais considerável.

Os valores de temperatura dos sistemas próximos a temperatura ambiente no final do processo de compostagem já era prevista, em virtude da redução da matéria orgânica em decomposição e entrada no processo pupário dos dípteros. Nesta fase, as moscas não se alimentam, cavando no substrato para metamorfose e formação do adulto, o que as tornam vulneráveis à ação de organismos predadores.

5.4.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

Em relação ao potencial hidrogeniônico, observou-se que o material esteve sempre na faixa considerada ótima pela literatura, resultando em condições favoráveis ao tratamento biológico e aeróbio. No início do processo, o material apresentou pH ácido (5,3) característico da fase inicial, devido a liberação de ácidos minerais e gases. Esse período estimula a ação de

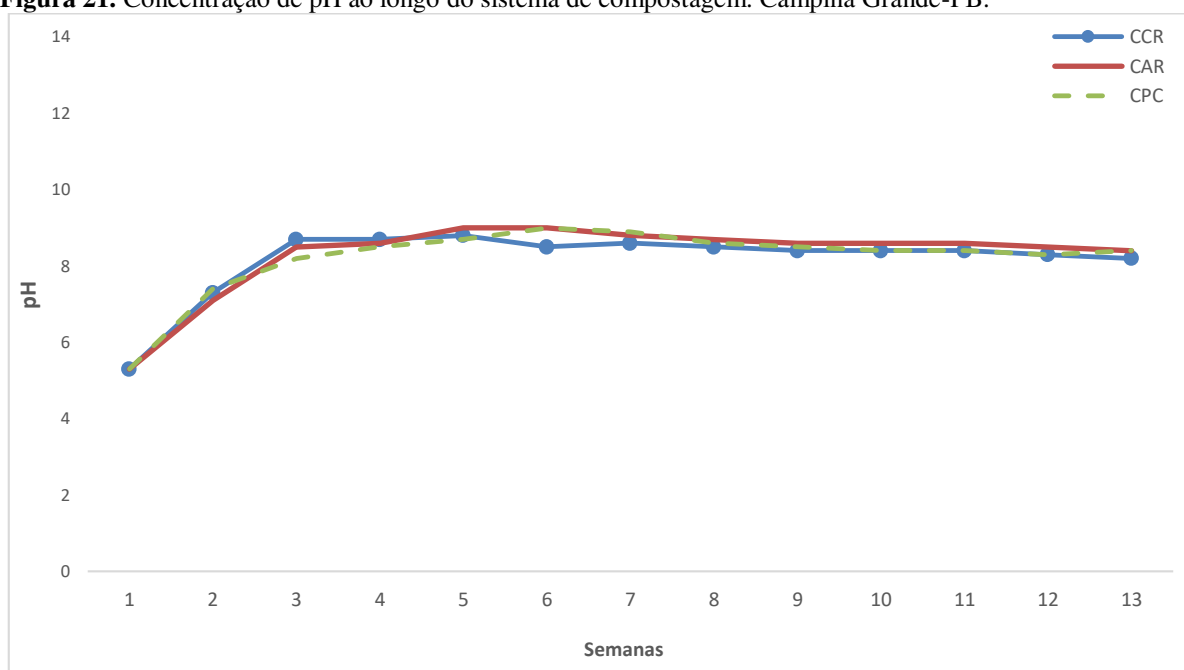
fungos e leveduras (RUSSO, 2003), também foi favorável para postura e eclosão de ovos de moscas (Figura 21).

Logo após, ocorreu um rápido aumento dos valores de pH, característico da fase termófila, resultado da hidrólise de proteínas e liberação de amônia. Segundo Russo (2003) os efeitos ácidos e bases combinadas com alto do calor promovem a liberação de produtos de separação molecular e aumento o grau de matéria orgânica solúvel. Essa relação indica aumento na assimilação molecular e, conseqüentemente, maior atividade metabólica. Isso foi ratificado com o aumento na população da biota.

O valor máximo de pH do processo de compostagem foi 9,0 entre a 5ª e 7ª semana no sistema CAR e 6ª e 7ª no sistema CPC. A partir da 8ª semana, os valores de pH baixaram (8,2-8,4), indicando o início da mineralização do nitrogênio orgânico em nitrato, período de estabilização do composto.

A partir de então, os valores permaneceram relativamente estáveis em todos os sistemas, em virtude das reações de estabilização e ao poder tampão do húmus, segundo Cordeiro (2010).

Figura 21. Concentração de pH ao longo do sistema de compostagem. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Ao observar os resultados, entende-se que o pH apresentou comportamento semelhante entre os sistemas e seus valores manteve-se dentro do que descreve a literatura (CARRINGTON, 1999; RUSSO, 2003; KIEHL, 2012; POLPRASERT, 2017; SILVA, 2021).

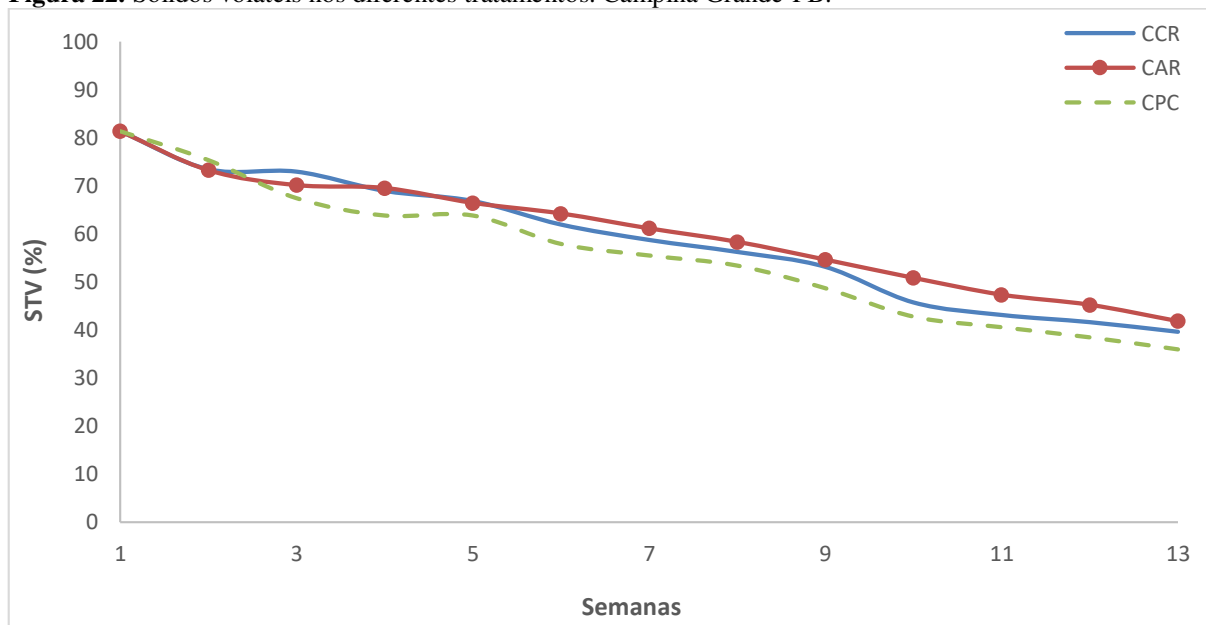
5.4.4 Sólidos voláteis, Carbono Orgânico Total e Demanda Química de Oxigênio

Os sólidos voláteis (SV%), carbono orgânico total (COT%) e demanda química de oxigênio (DQO%) são parâmetros que se relacionam entre si, sendo o comportamento destes parâmetros ao longo do processo de compostagem muito próximos. Pode-se observar essa semelhança, com o decréscimo para os três parâmetros ao longo do processo de compostagem.

Sólidos voláteis correspondem a matéria orgânica presente na massa do substrato que tem potencial para ser degradado pelos organismos (SILVA, 2021). Este parâmetro é fundamental para definir o teor de matéria orgânica durante a compostagem e determinar a estabilização do composto (PEREIRA; SILVA, 1999).

A concentração de sólidos voláteis no sistema decresceu ao longo do processo de compostagem. Na análise inicial, observou-se um percentual de 81,3%. Todos os sistemas se comportaram conforme o esperado, promovendo um consumo de matéria orgânica e uma redução significativa ao final do sistema, chegando a 39% no sistema CCR; 41% no sistema CAR e 36% no sistema CPC (Figura 22).

Figura 22. Sólidos voláteis nos diferentes tratamentos. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Os resíduos sólidos orgânicos têm alta concentração de carbono orgânico total (SILVA, 2021). De forma geral, houve uma diminuição no teor de carbono orgânico total ao longo do processo de compostagem, em virtude da mineralização da matéria orgânica em CO₂ e energia.

Segundo Bertoldi, Vallini e Pera (1983) isso ocorre devido à alta atividade dos organismos que necessitam de fontes de carbono para seu metabolismo, favorecendo o aumento de temperatura.

À medida que o carbono foi reduzido no início do sistema, os valores de temperatura foram aumentando. Para isso, foi necessário o controle de teor de umidade no sistema CAR e CPC, uma vez que, esse parâmetro reduziu a atividade metabólica dos organismos inicialmente.

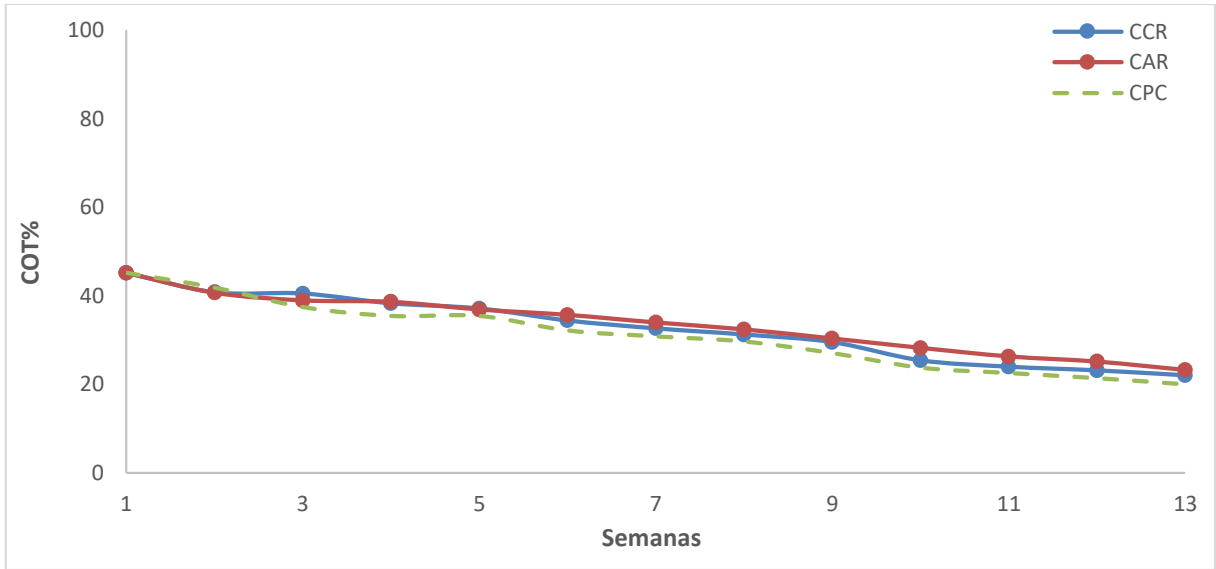
Observou-se que mesmo sendo bastante úmido inicialmente, o sistema CPC apresentou os melhores valores de redução de sólidos voláteis e carbono orgânico total. Isso, possivelmente ocorreu devido ao teor de umidade ter sido controlado, não necessitando de adição de água no sistema. A umidade inicial não inibiu a ação dos organismos, apenas reduziu a atividade, principalmente das larvas de *Hermetia illucens*. Diener *et al.* (2011) sugerem que o teor de umidade entre 50-60% é favorável à ação desses organismos. Dessa forma, o sistema necessitou de cuidados para evitar a umidade excessiva, mas ao ser monitorado adequadamente, mostrou-se mais eficiente na degradação da matéria orgânica.

Os valores de COT iniciais foram 45,2% na massa de substrato, mostrando um material muito rico em carbono, necessitando de um acompanhamento dos valores de nitrogênio ao longo do experimento para determinar com mais precisão a relação C/N.

Não foi possível o acompanhamento da análise de nitrogênio durante todo o experimento de compostagem, não podendo determinar a relação C/N ao longo do processo, sendo este dado, baseado apenas nos resultados do resíduo sólido orgânico inicial e do composto resultante. Segundo Bertoldi, Vallini e Pera (1983) isso faz com que os organismos tenham que oxidar o excesso de carbono até que a relação esteja propícia para o metabolismo.

O percentual alto da relação C/N nos resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar também foi observado nas pesquisas de Araújo (2018) e Gomes (2019). Na terceira e quarta semana, a taxa de diminuição do carbono orgânico total no sistema CCR e CAR não foi tão significativa quanto às duas semanas anteriores, possivelmente, em virtude da redução da temperatura no sistema e entrada na fase de semi-cura. Ao longo do processo de compostagem os valores de COT foram reduzidos até alcançarem 22,0% no sistema CCR, 23,2% no sistema CAR e 20% no sistema CPC (Figura 23).

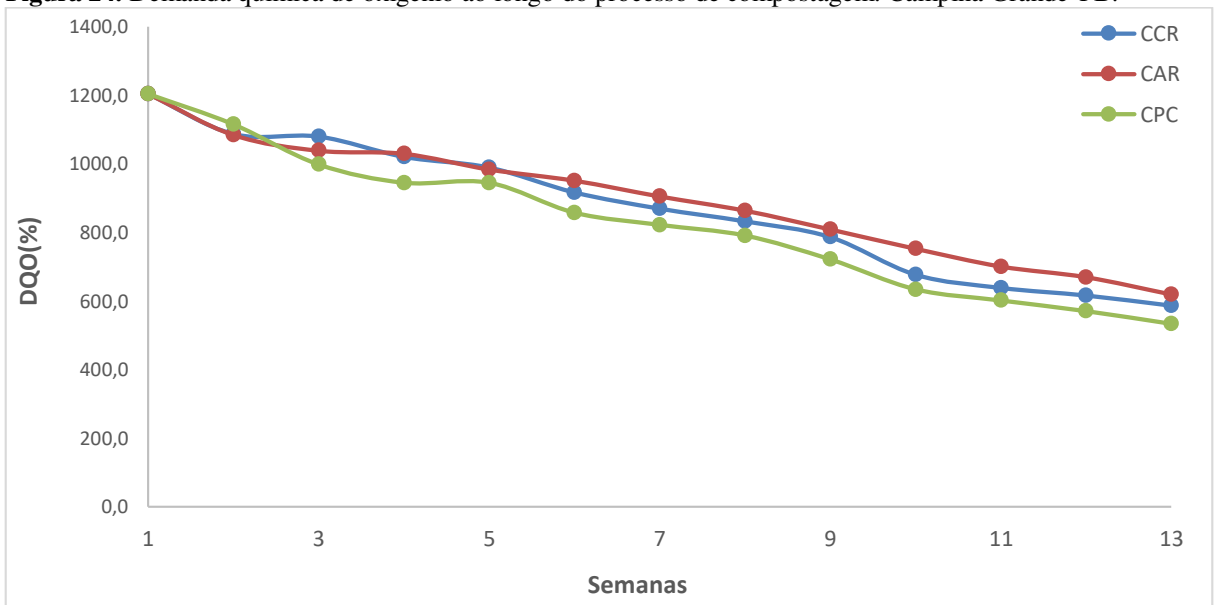
Figura 23. Carbono orgânico total durante o processo de compostagem nos sistemas CCR, CAR e CPC. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Em relação à demanda química de oxigênio (DQO), observou uma concentração inicial alta. Kiehl (2012) considera um material não estável quando o DQO é igual ou maior de 900 mg/g, enquanto que o composto estabilizado deve apresentar DQO <700 mg/g. Na massa inicial do substrato analisado na presente pesquisa, o valor de DQO foi de 1204,1 gST e no composto final chegou a 586,5 gST no sistema CCR, 619,1 gST no sistema CAR e 533,2 gST no sistema CPC (Figura 24). Ou seja, ocorreu redução de DQO de 51,3% no sistema CCR, 48,6% no sistema CAR e 55,7% no sistema CPC.

Figura 24. Demanda química de oxigênio ao longo do processo de compostagem. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

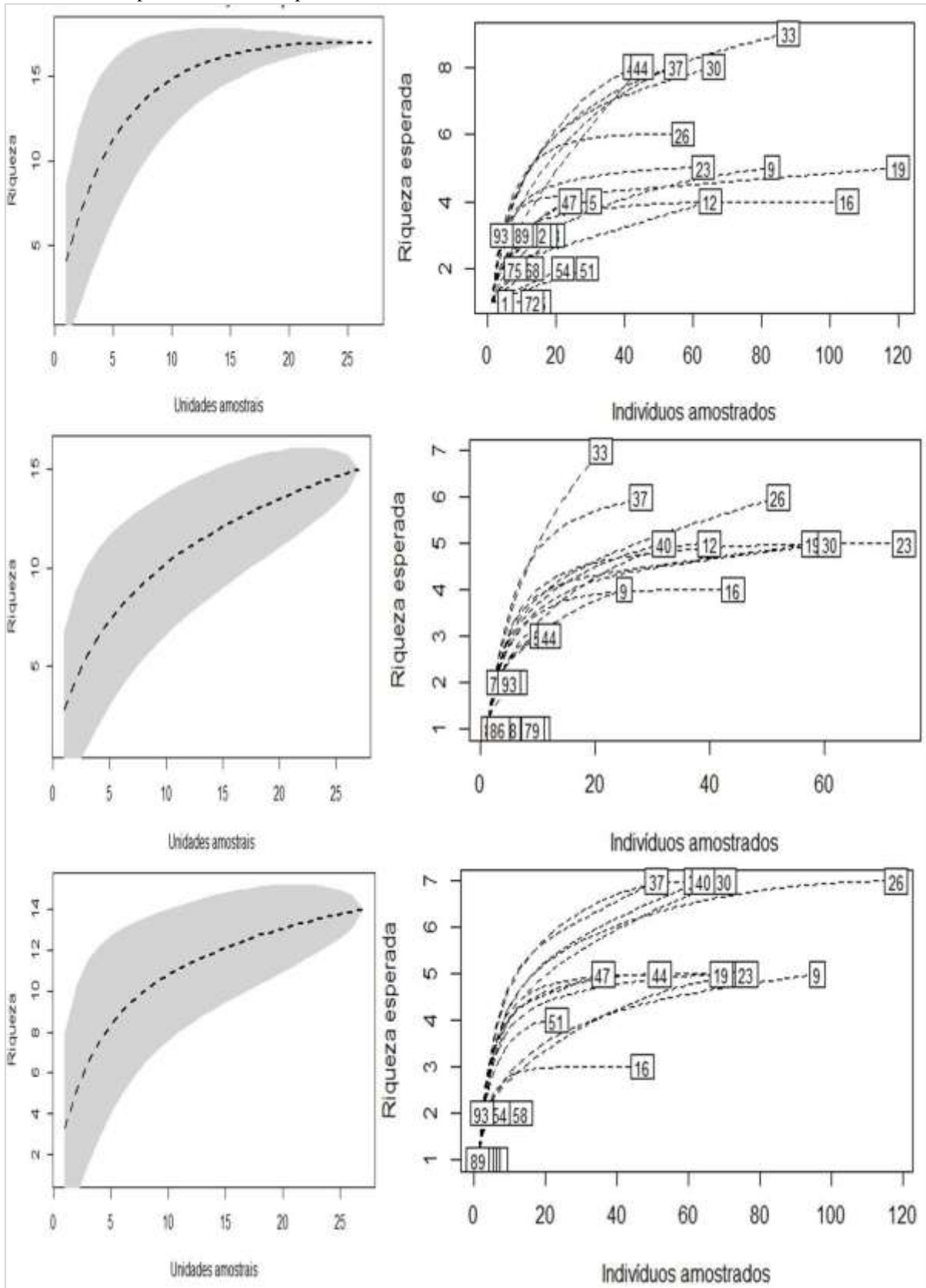
Apesar da diferenciação dos modelos de composteiras, que, de certa forma, exerceram diferenças nos valores de teor de umidade, temperatura e pH ao longo do processo, pode-se notar que em relação aos parâmetros sólidos voláteis, carbono orgânico total e demanda química de oxigênio, ocorreu pouca variação entre os sistemas.

5. 5 Curva de acumulação e rarefação das espécies amostrais

O sistema de compostagem estudado na presente pesquisa é experimental, comportando 22,5 kg de resíduos sólidos orgânicos em cada composteira. Para coleta e quantificação de espécimes de mesoinvertebrados, foi utilizado o método de captura manual, identificação e contagem de espécies de mesoinvertebrados, proposto por de Silva (2021), que consiste na coleta semanal de 25 g do substrato de forma aleatória. No entanto, ao contrário da autora, optou-se por fazer duas coletas semanais, com intuito de ter melhor acompanhamento das espécies e entendimento sobre a sucessão ecológica.

Para observar o quanto o inventário realizado se aproxima verdadeiramente de capturar todas as espécies do sistema de compostagem e se ocorreu suficiência amostral durante as coletas semanais realizadas, construiu-se uma curva de acumulação e rarefação dos táxons, utilizando o número de espécimes coletado (Figura 25).

Figura 25. Curva de acumulação (esquerda) e curva de rarefação (direita) dos sistemas de compostagem, CCR, CAR e CPC, respectivamente. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Através da curva de acumulação, observa-se que apenas o sistema CCR alcançou um platô, evidenciando, virtualmente, que todas as espécies do sistema foram coletadas. Isso pode ser esclarecido pela alta abundância de espécies coletadas no sistema ($N = 1038$). Para os demais sistemas, a riqueza média de mesoinvertebrados aumentou continuamente com o número de coletas, aproximando-se da assíntota estimada para a comunidade, mas não alcançando a constância, mesmo quando a matéria orgânica estava próxima da estabilização. A quantidade de amostras da população de mesoinvertebrados no sistema CAR e CPC não foi suficiente para representar a diversidade dos mesoinvertebrados nos sistemas de compostagem citados. Possivelmente, o sistema pequeno e as condições adversas que ocorreram no início de sistema, tenham contribuído para esse resultado.

Observa-se que as espécies de mesoinvertebrados coletadas no sistema CCR (57%), CAR (69%) e CPC (63%), do total de 2.417 indivíduos, foram coletadas durante as primeiras nove coletas amostrais (primeiros 30 dias do experimento).

Na curva de rarefação, observa-se que, nas primeiras nove coletas amostrais (primeiros 30 dias do experimento) foram responsáveis pelas as maiores abundâncias de espécies coletadas para todos os sistemas (CCR = 57%, CAR = 69% e CPC = 63%). Em apenas 32% dos dias de coleta de amostras realizada a compostagem, foram coletados os maiores percentuais de organismos. Esses dados não consideram as fases de compostagem.

Pode-se indicar maior riqueza no sistema CCR e CPC entre os dias 30 e 44^o dias e no sistema CAR entre os dias 26 e 37^o, devido à entrada de dípteros na fase pupal e a dominância de Coleoptera e Formicidae.

O baixo número de espécies entre as amostras, possivelmente seja resultado da presença baixa de *Singletons*³ (CAR = 5 e CPC = 3) e *Doubletons*⁴ (CCR = 1, CAR = 1, CPC = 2). Além disso, observou uma concentração significativa de espécies raras (CCR = 8, CAR = 10, CPC = 6).

Os resultados de *Singletons* e *Doubletons* no sistema de compostagem refletem as dificuldades de estabelecer maiores relações entre as espécies e o ambiente de estudo, sendo apenas registrada sua ocorrência. Isso mostra que, embora tenha tido o cuidado de cobrir os subsistemas com tela de nylon e tela em aramado, algumas espécimes conseguiram invadir o sistema de compostagem para a predação de ovos, larvas e adultos.

³ As espécies com somente um indivíduo;

⁴ As espécies com somente dois indivíduos.

Com base nas informações sobre a curva de acumulação, rarefação e os resultados de *Singletons* e *Doubletons*, entende-se que os modelos composteiras (CCR, CAR e CPC) exercem influência na abundância e riqueza de espécies. Quando observado os sistemas *in loco* e as análises de desvio padrão, entende-se que essas diferenciações não são significativas entre as repetições (R1; R2 e R3).

5.6 Organismos identificados no sistema de compostagem

A maior parte dos organismos presentes na pesquisa já se encontravam nos resíduos orgânicos coletados na fonte geradora. Dessa forma, quando o sistema foi instalado e passou a ser monitorado diariamente, foi possível acompanhar a eclosão dos ovos, declínio e aparecimento de espécies, a prevalência e a sucessão dos organismos nas diferentes fases.

Ao longo do experimento, ocorreu grande diversidade taxonômica de organismos aeróbios e exotérmicos, coexistindo no mesmo habitat. Para entender a dinâmica que ocorreu no sistema de compostagem, os organismos foram mantidos nas mesmas condições para os três tipos de sistema (CCR; CAR; CPC) e suas repetições (R1; R2; R3), de modo que os únicos fatores que influenciaram a presença/ausência, a quantidade e o comportamento das espécimes coletadas nos sistemas foram os tipos de composteiras usadas, respectivamente, em concreto, aço inoxidável e polietileno.

Durante o experimento de compostagem de resíduos sólidos orgânicos foram observados indivíduos de 22 famílias, conforme Figura 26.

Figura 26. Classificação dos táxons coletados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.

Filo	Classe	Ordem	Família	Gênero/spp	
Arthropoda	Insecta	Coleoptera	Staphylinidae	<i>Paederus</i> sp.	
			Phalacridae	Sp.	
			Silvanidae		
		Diptera	Stratiomyidae	<i>Hermetia illucens</i>	
			Muscidae	<i>Musca domestica</i>	
			Syrphidae	<i>Ornidia obesa</i>	
			Drosophilidae	<i>Drosophila melanogaster</i>	
			Formicidae	<i>Paratrechina longicornis</i>	
		Hymenoptera	Pteromalidae	<i>Spalangia</i> sp.	
			Anthocoridae	<i>Orius insidiosus</i>	
		Hemiptera			
		Dermaptera	Anisolabididae		
		Orthoptera	Gryllidae		
		Arachnida	Mesostigmata	Parasitidae	
				Macrochelidae	
Araneae	Theridiosomatidae				
Malacostraca	Isopoda	Armadillidiidae	<i>Cubaris murina</i>		
Nematoda	Secernentea	Ascaridida	Ascarididae	<i>Ascaris lumbricoides</i>	
			Oxyuridae	<i>Enterobius vermicularis</i>	
	Adenoforea	Strongylida	Ancylostomatidae	<i>Ancylostoma</i> sp.	
Platyhelminthes	Cestoda	Cyclophyllidea	Trichuridae	<i>Trichuris trichiura</i>	
			Hymenolepididae	<i>Hymenolepsis nana</i>	
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	Enterobacteriaceae		

Fonte: autoria própria

Em virtude das dificuldades na pesquisa, as análises de bactérias foram realizadas na amostra inicial, na fase termófila e no final do experimento. As análises de fungos e protozoários se tornaram inviáveis e, por isso, não foram realizadas. As análises de ovos de helmintos foram realizadas apenas uma vez por semana, conforme as análises físico-químicas. Por serem representativos no sistema e foco desta pesquisa de tese, os dados de mesoinvertebrados foram analisados duas vezes na semana e destacados a seguir. O monitoramento e observação das mudanças ocorridas foram diárias.

Durante o sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos coletados no condomínio residencial foram coletados um total de 2471 indivíduos pertencentes a mesofauna e macrofauna, distribuídos em 9 ordens e 16 famílias. A maior e mais diversificada ordem foi a Diptera que correspondeu a 60% do total, seguida, respectivamente, pelas ordens Mesostigmata (26,5%), Hymenoptera (9%), Coleoptera (3%), Hemiptera (1,2%), Isopoda (0,5%), Araneae (0,3%), Dermaptera (0,2%) e Orthoptera (0,1%).

Na tabela 08, nota-se a frequência absoluta e relativa dos mesoinvertebrados de cada sistema de compostagem e total geral do experimento.

Tabela 8. Famílias e espécies presentes nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares e os respectivos valores de abundância e frequência relativa (%) nos três sistemas de compostagem. Campina Grande-PB.

Família/morfotipo	CCR		CAR		CPC		Total	
	A	F.R (%)	A	F.R (%)	A	F.R (%)	A	F.R (%)
Staphylinidae								
Staphylinidae sp.*	5	0,5	1	0,2	1	0,1	7	0,3
<i>Paederus</i> sp.	8	0,8	1	0,2	0	0,0	9	0,4
Phalacridae								
Phalacridae sp.*	4	0,4	2	0,4	2	0,2	8	0,3
Silvanidae								
Silvanidae sp.*	26	2,5	4	0,8	12	1,3	42	1,7
Stratiomyidae								
<i>Hermetia illucens</i>	485	46,7	160	30,0	288	32,0	933	37,8
Muscidae								
<i>Musca domestica</i>	204	19,7	104	19,5	197	21,9	505	20,4
Syrphidae								
<i>Ornidia obesa</i>	3	0,3	1	0,2	2	0,2	6	0,2
Drosophilidae								
<i>Drosophila melanogaster</i>	9	0,9	8	1,5	14	1,6	31	1,3
Formicidae								
<i>Paratrechina longicornis</i>	63	6,1	29	5,4	92	10,2	184	7,4
Pteromalidae								
<i>Spalangia</i> sp.*	10	1,0	7	1,3	18	2,0	35	1,4
Anthocoridae								
<i>Orius insidiosus</i>	21	2,0	1	0,2	7	0,8	29	1,2
Anisolabididae								
Anisolabididae sp.*	4	0,4	0	0,0	0	0,0	4	0,2
Gryllidae								
Gryllidae sp.*	2	0,2	0	0,0	0	0,0	2	0,1
Armadillidiidae								
<i>Cubaris murina</i>	11	1,1	1	0,2	1	0,1	13	0,5
Parasitidae								
Parasitidae sp.*	112	10,8	110	20,6	126	14,0	348	14,1
Macrochelidae								
Macrochelidae sp.*	68	6,6	101	18,9	139	15,4	308	12,5
Theridiosomatidae								
Theridiosomatidae sp.*	3	0,3	3	0,6	1	0,1	7	0,3
Total	1038	100	533	100,0	900	100,0	2471	100,0

Legenda: A – Abundância; F.R – Frequência relativa (%); CCR – Composteira de Concreto Retangular; CAR – Composteira de Aço inoxidável Retangular; CPC – Composteira de Polietileno Cilíndrica.

*Espécimes não identificados a nível específico por falta de caracteres morfológicos.

Conforme a Tabela 08, Diptera foi o grupo mais representativo do sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Cada família foi representada apenas por uma espécie. No sistema de compostagem foram observados indivíduos da família Stratiomyidae com 37,8% (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758), família Muscidae com 20,4% (*Musca domestica* Linnaeus, 1758), família Drosophilidae com 1,3% (*Drosophila melanogaster* Meigen, 1830) e família Syrphidae com 0,2% (*Ornidia obesa* Fabricius, 1775). Sequencialmente a Diptera, a ordem Mesostigmata foi um táxon bastante presente no sistema, representado pelas famílias Parasitidae (14,1%) e Macrochelidae (12,5%).

A ordem Hymenoptera foi representada pela família Formicidae com 7,4% (*Paratrechina longicornis* Latreille, 1802) e família Pteromalidae com 1,4% (*Spalangia* sp., Latreille, 1805). A ordem Isopoda foi composta pela família Armadillidiidae com 0,5% (*Cubaris murina* Brandt, 1883). O representante da ordem Hemiptera foi a família Anthocoridae com 1,2% (*Orius insidiosus* Say, 1832). Coleoptera foi composto pelas famílias Staphylinidae com 0,4% e 0,3% (*Paederus* sp. e sp.1, respectivamente), família Phalacridae com 0,3% e família Silvanidae com 1,7%. A ordem Dermaptera foi representada pela família Anisolabididae com 0,2%. A ordem Araneae foi representada pela família Theridiosomatidae com 0,3% e a Orthoptera, representada pela família Gryllidae com percentual de 0,1% de espécies coletadas no sistema.

Acerca da abundância de espécies de mesoinvertebrados entre os sistemas de compostagem, verificou-se um resultado não foram estaticamente significativo entre os sistemas CCR e CAR ($\chi^2 = 23.83$; $p = 0.161$), CCR e CPC ($\chi^2 = 23.30$; $p = 0.224$) e CAR e CPC ($\chi^2 = 23.30$; $p = 0.226$).

A densidade avalia a concentração de espécies em um determinado ambiente. De acordo com os resultados, verificou-se que a densidade de mesoinvertebrados variou em relação ao tempo, alcançando maior densidade em períodos diferentes em cada tratamento (Tabela 9).

No tratamento CCR os maiores valores foram entre os dias 9 e 33^a, destacando o dia 19^a. Esse período foi caracterizado pelas maiores temperaturas, teor de umidade e material orgânico complexo. Nesse estágio foi representado, principalmente, pelas espécies da ordem Diptera. No sistema CAR apresentou valores entre o 12 e 30^a dias, indicando as menores densidades, provavelmente, em virtude da abundância (N = 533). No sistema CPC os valores máximos foram entre a 9 e 40^a dias, sendo o maior valor o 9^a dia, mostrando os maiores resultados.

Tabela 9. Densidade de mesoinvertebrados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.

Tempo (dias)	CCR	CAR	CPC
1	0,2	0,1	0,2
5	1,1	0,3	0,2
9	1,9	0,8	3,1
12	1,5	1,3	2,4
16	2,6	1,2	1,3
19	2,9	1,6	1,9
23	1,1	1,6	1,7
26	1,0	1,2	2,6
30	1,1	1,4	1,6
33	1,5	0,5	1,4
37	0,9	0,5	0,8
40	0,7	0,5	1,0
44	0,8	0,2	0,9
47	0,4	0,1	0,6
51	0,5	0,1	0,4
54	0,4	0,1	0,1
58	0,3	0,2	0,2
61	0,3	0,1	0,1
65	0,3	0,1	0,1
68	0,2	0,1	0,1
72	0,2	0,0	0,0
75	0,1	0,0	0,0
79	0,2	0,1	0,0
82	0,2	0,0	0,0
86	0,2	0,0	0,0
89	0,2	0,1	0,0
93	0,1	0,1	0,0

Fonte: autoria própria

Na análise de diversidade das espécies encontradas nos sistemas de compostagem, observou-se diversidade baixa, enquanto o índice de dominância de Simpson foi considerado elevado para os três sistemas, mostrando que poucas espécies possuem abundâncias elevadas (Tabela 10).

Tabela 10. Índices ecológicos de mesoinvertebrados nos sistemas de compostagem. Campina Grande-PB.

	CCR	CAR	CPC
Índice de Shannon Wiener (H)	1,72	1,74	1,78
Índice de Gini-Simpson	0,72	0,78	0,79
Equabilidade de Pielou (E)	0,61	0,62	0,63
Índice de Margalef	2.30	2.23	1.91
Índice de Menhinick	0.53	0.65	0.47

CCR: composteira de concreto retangular; CAR: composteira de aço inoxidável; CPC: composteira de polietileno cilíndrica. Fonte: autoria própria

O valor elevado de dominância é resultado da alta frequência de *Hermetia illucens*, indicando a existência da espécie dominante. A quantidade proporcional de *Musca domestica* e dos ácaros Parasitidae e Macrochelidae minimizou a predominância dominante de *Hermetia illucens*. Se esses táxons fossem retirados da comunidade, o valor do índice de Simpson seria ainda mais elevado, enquanto que os valores de Shannon Wiener mais baixos, considerando que as frequências das demais espécies, totalizam apenas 16% no sistema CCR, 11% no sistema CAR e 17% no sistema CPC. O índice de equabilidade de Pielou foi de 0,61 a 0,63, considerado alto, demonstrando uma boa distribuição dos indivíduos entre as espécies.

Notou-se uma diferença significativa na dominância e constância de mesoinvertebrados nos três sistemas, entendendo que o modelo de composteira influencia na dinâmica da comunidade (Quadro 10).

Quadro 10. Dominância e constância de mesoinvertebrados no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos coletados em condomínio residencial. Campina Grande-PB.

Famílias	CCR		CAR		CPC	
	Dominância	Constância	Dominância	Constância	Dominância	Constância
Staphylinidae 1	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Staphylinidae 2	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Phalacridae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Silvanidae	ND	PC	ND	PC	ND	CR
Stratiomyidae	D	C	D	C	D	C
Muscidae	D	CR	D	CR	D	CR
Syrphidae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Drosophilidae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Formicidae	ND	PC	ND	PC	ND	CR
Pteromalidae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Anthocoridae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Anisolabididae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Gryllidae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Armadillidiidae	ND	PC	ND	PC	ND	PC
Parasitidae	ND	CR	D	CR	ND	CR
Macrochelidae	ND	CR	D	CR	D	CR
Theridiosomatidae	ND	PC	ND	PC	ND	PC

Legenda: CCR: composteira de concreto retangular; CAR: composteira de aço inoxidável retangular; CPC: composteira de polietileno cilíndrica. Staphylinidae¹: espécie não identificada; Staphylinidae²: *Paederus* sp.; ND: Não dominante; D: Dominante; C: Constante; CR: Constância relativa; PC: Pouco constante. Fonte: autoria própria

Os resultados de dominância e constância nos diferentes sistemas de compostagem corroborou as análises observacionais realizadas durante o experimento, com dominância e constância significativa da espécie *Hermetia illucens*, em todos os três tratamentos. Também observou a dominância da espécie *Musca domestica*, nos três tratamentos de compostagem e relativa constância. A constância relativa é resultado da redução e desaparecimento da espécie no sistema, em virtude de completarem seu ciclo de vida e os adultos saírem do sistema, da predação e da competição.

A família Parasitidae mostrou dominância apenas no sistema CAR, enquanto que a família Macrochelidae apresentou dominância nos sistemas CAR e CPC. Todos os tratamentos mostraram constância relativa para os ácaros. Os ácaros apresentam preferência a teor de umidade entre 45% e 55%, não sendo observado em valores abaixo ou acima desse percentual. Dessa forma, as condições do meio foram fundamentais para influenciar na presença ou ausência das famílias no sistema.

A partir dos resultados, pode-se entender que a constância e dominância dos organismos da comunidade podem variar no sistema, mas todos os organismos têm toda grande importância na determinação da natureza, no fluxo de energia e no funcionamento do sistema.

Mesmo apresentando uma ampla diversidade e riqueza de organismos, observa-se que apenas a Stratiomyidae (Diptera: *Hermetia illucens*), a Muscidae (Diptera: *Musca domestica*) e as famílias Parasitidae e Macrochelidae, apresentaram comportamento dominante. Enquanto que as famílias Silvanidae, Formicidae, Parasitidae, Macrochelidae, Stratiomyidae e Muscidae apresentaram constância relativa. Dentro de um grupo, a espécie que controla em maior grau a corrente de energia e afeta fortemente o ambiente de todas as outras espécies são considerados dominantes (ODUM; BARRET, 2007).

Entende-se que a estrutura do sistema, as condições do meio e o tamanho das leiras possam ter influenciado na população, que interferem diretamente na dinâmica do sistema. Isso não significa que outras espécies não tenham exercido influência no sistema ou não sejam importantes para o andamento da compostagem. De acordo com Odum e Barret (2007) eles determinam a diversidade do sistema, um aspecto igualmente importante na estrutura da comunidade.

5.6.1 Ecologia, comportamento e bionomia das famílias

5.6.1.1 Coleoptera

A atividade de Coleoptera iniciou no dia 26 com as famílias Silvanidae e Phalacridae e progrediu até o dia 61 com a família Staphylinidae (*Paederus* sp.). Isso coincidiu com uma mudança do estágio de decomposição da fase termófila para semi-cura e estabilização, no qual os teores de umidade e temperatura reduziram significativamente.

Quando ovos das espécies de Coleoptera eclodiram, as larvas de Diptera já tinham dominado o ambiente. Dessa forma, a prevalência de Coleoptera ocorreu quando as moscas reduziram a mobilidade e paravam de se alimentar para entrar no estágio pupário. Nessa perspectiva, as moscas tornaram-se suscetíveis a ação dos coleópteros, quando estes passaram a se alimentar livremente de larvas, pupas de moscas e de resíduos sólidos orgânicos em decomposição. Entende-se um processo de sucessão com a mudança da comunidade.

Os táxons da ordem Coleoptera se movimentavam bastante, criando fendas no substrato e revolvendo o material, permitindo a circulação do ar e a movimentação de outras espécies.

Foram coletados 66 indivíduos de Coleoptera nos sistemas de compostagem durante o período de estudo (Figura 27). As famílias foram Staphylinidae (*Paederus* sp. e sp1),

Phalacridae (sp1) e Silvanidae (sp1), que juntas totalizaram 2,7% dos exemplares coletados na compostagem.

A família Staphylinidae Latreille, 1802, incluída na subordem Poliphaga, é constituída por besouros predadores que apresentam corpo alongado, élitros curtos, o pronoto estreito, abdômen exposto, asas desenvolvidas e a mandíbula é alongada para frente da cabeça. As larvas geralmente vivem nos mesmos lugares e se alimentam das mesmas coisas que os adultos. Alguns são parasitas de outros insetos ou saprófagos (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2004).

Na família Staphylinidae, foram observados dois gêneros: sp.1 (*incertae sedis*⁵) e o gênero *Paederus* sp. Fabricius, 1775. Por falta de caracteres morfológicos, não foi possível a identificação do primeiro gênero, mas este foi observado nos três modelos de composteiras, durante a 5 e 6ª semana, quando o sistema encontrava-se na fase de semi-cura. O táxon correspondeu a 0,3% dos indivíduos coletados no sistema, não apresentando considerável alteração na biota do sistema e desapareceu logo em seguida, possivelmente, em virtude da redução do teor de umidade.

O gênero *Paederus* sp. também foi observado na compostagem. Conhecido popularmente como potó, este táxon libera toxinas, formado por pederina, pseudopederina e pederona, causando dermatite nos seres humanos (FONSECA *et al.*, 2012). As espécies do gênero ocorrem em muitos ambientes, sendo associadas a locais abertos e úmidos para postura de ovos (NASIR; AKRAM; AHMED, 2012), justificando sua ocorrência no sistema de compostagem. No entanto, o táxon apareceu no sistema entre a 5-8ª semana, com os níveis de umidade (55-38,3%) e sólidos totais voláteis (66-55%) refletiam a fase de estabilização. Possivelmente, as condições do meio tenham sido um fator desfavorável para prevalência do gênero até o final do sistema.

Outra família de Coleoptera observada no sistema de compostagem foi Phalacridae. Estas foram observadas em pequena riqueza entre a 4 e 6ª semana, período de umidade relativa, pH alcalino e temperatura baixa. Além disso, foram os mesmos dias em que foram observados fungos nas composteiras. De acordo com Lima (1953), a maioria das espécies se alimenta de fungos.

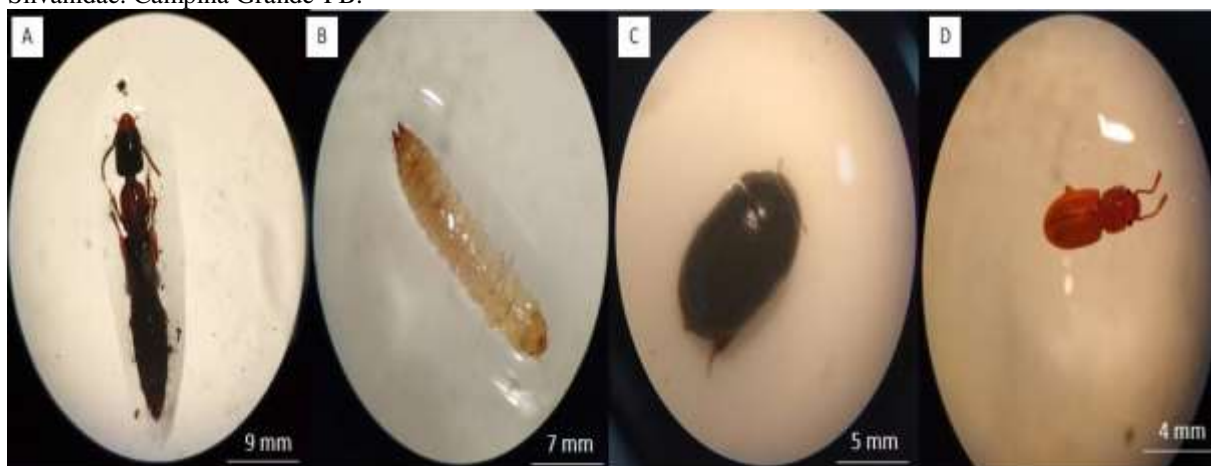
Estes corresponderam a 0,3% dos organismos coletados no sistema e desapareceram logo que a massa de substrato alcançou a fase de semi-cura, assim como os fungos.

⁵Termo usado para indicar a impossibilidade de estabelecer posição exata de um táxon devido há resultados controversos ou escassez de material

Os besouros desta família, todos são de exíguas dimensões, com corpo ovalar, compacto, convexo e brilhante e antena com clava oval. (TRIPLEHORN; JOHNSON, 2004). Élitros cobrem completamente o abdômen e apresenta estria sutural distinta. As larvas são longas, segmentadas e esbranquiçadas (LIMA, 1953).

Os indivíduos da família Silvanidae foram mais representativos entre os Coleoptera, com um percentual de 1,7%. Estes foram observados durante a 4 e 7ª semana, em todos os sistemas de compostagem. Os indivíduos deste grupo eram pequenos, avermelhados, achatados, densamente pontilhados, com mobilidade acelerada e foram encontrados em todos os estratos da pilha de compostagem, não se limitando a lugares específicos. De acordo com Triplehorn e Johnson (2004) os membros da família Silvanidae apresentam antena capitada; o corpo é característico devido ao abdômen com estria sutural distinta e pronoto com bordas laterais fracamente dentada.

Figura 27. Famílias de Coleoptera observadas no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Foto A: sp.1 (*incertae sedis*); Foto B: Larva de Phalacridae; Foto C: Adulto de Phalacridae; Foto D: Silvanidae. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

O padrão sucessional progrediu de acordo com a capacidade de tolerância aos fatores físico-químicos e seus padrões ecológicos, observando diferenças de abundância entre os sistemas CCR, CAR e CPC. Também observou-se que a partir do dia 61 não tinha mais exemplares de Coleoptera no sistema de compostagem. Isso possivelmente ocorreu, devido ao baixo teor de umidade, saída de espécies de Diptera do sistema (usado na alimentação dos táxons de Coleoptera) e matéria orgânica em processo de estabilização.

5.6.1.2 Diptera

Foram coletadas 1475 indivíduos da ordem Diptera no sistema de compostagem, pertencentes às espécies: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Ornidia obesa* e *Drosophila melanogaster*.

Os insetos desta ordem são holometábolo, ou seja, apresentam ciclo de vida em quatro fases distintas: ovo, larva, pupa e adulto, estágios observados no sistema de compostagem em estudo. Segundo Ruppert, Fox e Barnes (2005) os insetos de desenvolvimento completo permite que as larvas utilizem diferentes fontes de alimento, habitat e estilos de vida quando comparado ao adulto, reduzindo ou eliminando a competição entre os estágios do ciclo de vida.

O estágio de ovo foi observado apenas com a espécie *Hermetia illucens*, mas a partir do estágio larval foi possível identificar e diferenciar as espécies devido à variedade morfológica entre elas.

Um organismo com bastante participação no sistema de compostagem foi o representante da família Stratiomyidae, *Hermetia illucens* Linnaeus, 1758. Conhecida popularmente como “*Black soldier-fly* (Mosca do soldado negro)”. A espécie foi observada em grande concentração (37,8%) em todas as fases de decomposição da matéria orgânica até a desmontagem do sistema. Estas foram capazes de tolerar uma ampla faixa de temperatura (entre 55 e 24°C), teor de umidade (entre 71 a 29,3%) e pH (entre 5,3 a 8,3) ao longo do experimento.

No primeiro dia da instalação do sistema foram identificados ovos já dispostos na massa do substrato. Isso ocorre, pois, segundo Newton *et al.* (2005) para realizar a compostagem com *Hermetia illucens* não é necessário nenhuma instalação separada, suprimento alimentar, equipamento especializado ou pré-tratamento.

Dessa forma, os adultos ovipositam sobre os resíduos sólidos orgânicos. Os lugares escolhidos para oviposição foram escondidos e protegidos em cascas, sementes e frestas de galhos. Os ovos eram esbranquiçados, alongados, oval e depositados em grande quantidade no substrato (Figura 28). Segundo Li *et al.* (2011), os ovos fertilizados demoram quatro dias para eclodirem a uma temperatura média de 24 °C, dependendo das condições do meio.

Ressalta-se que todos os sistemas tinham tela de proteção para reduzir e/ou evitar atração de organismos. Nesta perspectiva, entende-se que a oviposição ocorreu dias antes da instalação do sistema, provavelmente, quando os resíduos sólidos orgânicos domiciliares ainda estavam na fonte geradora. Esse resultado corrobora com as observações realizadas por Silva (2021) quando a autora sugere que as moscas não chegam ao sistema de compostagem em sua fase adulta, mas saem deste, após completar seu ciclo de vida, na fase de estabilização.

Dessa forma, compreende-se que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares tinham condições favoráveis ao desenvolvimento da espécie e, por isso, as larvas de primeiro instar puderam emergir na massa do substrato.

Figura 28. Postura de ovos de *Hermetia illucens* sob estereomicroscópio. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

A partir do terceiro dia já era possível observar as larvas recém emergidas no sistema de compostagem. As larvas jovens eram vermiformes, apodes, diminutas, com corpo alongado e achatado dorso-ventralmente e com pigmentação branco leitosa (Figura 29). Estas eram bastante ativas, com alimentação voraz e se movimentam aleatoriamente, revirando o substrato e favorecendo a aeração do sistema. As larvas foram observadas rastejando principalmente no centro e na base das composteiras, em ambiente úmido, com pouca incidência solar e maior volume de alimentos.

Figura 29. Larvas de *Hermetia illucens* sob estereomicroscópio. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

O desenvolvimento larval completo da *Hermetia illucens* é bastante rápido. De acordo com Mutafela (2015), por volta de 14 dias. No entanto, apesar das larvas de *Hermetia illucens* encontrarem ambiente favorável ao desenvolvimento, nos primeiros dias do sistema as composteiras CAR e CPC criaram zonas de anaerobiose, gerando lixiviado. Em ambos os sistemas, foi possível observar retardo no crescimento das larvas e movimentação reduzida. Enquanto o sistema de concreto retangular (CCR) apresentava indivíduos de terceiro e quarto instar, no sistema em aço inoxidável com configuração retangular (CAR) e no sistema de composteiras de polietileno cilíndrica (CPC), observou indivíduos esbranquiçadas e diminutas, característicos de larvas do primeiro e segundo instares.

Estudos anteriores identificaram a faixa ideal de parâmetros operacionais para o desenvolvimento de larvas de *Hermetia illucens*, verificando que a espécie apresenta uma larga faixa de tolerância aos fatores físico-químicos, embora até certos limites. Mahmood *et al.* (2021) estudaram a faixa de temperatura ideal entre 23 e 38 °C. Dortmans *et al.* (2017) e Lalander *et al.* (2020) apontaram teores de umidade entre 60 e 90% favoráveis para o desenvolvimento larval. As pesquisas de Ma *et al.* (2018) sobre o pH do substrato descobriram que tantos ambientes muito ácidos quanto muito básicos favorecem a alta taxa de sobrevivência da *Hermetia illucens*, embora uma faixa entre 6 e 10 é mais propícia para o crescimento e peso larval.

Para Meneguz, Gasco e Tomberlin (2018) isso ocorre porque a alcalinização dos substratos pela atividade larval estimula a atividade da protease, o que aumenta a quantidade de proteína disponível para crescimento larval. Segundo Amrul *et al.* (2022) a ação das larvas de *Hermetia illucens* aumenta o pH do substrato e deixa um resíduo alcalino, tornando o substrato adequado para uso como fertilizante.

Os parâmetros dos sistemas em estudo alcançaram os valores propostos pela literatura para o desenvolvimento da espécie, com exceção dos valores de temperatura, que ficaram superior ao recomendado (30 e 55 °C). Contudo, Gobbi (2012) ressalta que a *Hermetia illucens* tem características euritérmica, podendo tolerar diferentes temperaturas e podendo viver em vários meios. Dessa forma, a temperatura não foi impedimento para desenvolvimento da larva nos sistemas estudados.

Possivelmente, a geração de chorume no sistema CAR e CPC tenha sido um fator significativo e retardou o desenvolvimento das larvas durante o curto período inicial. O alto teor de umidade fez com que a pilha do substrato torna-se compacta, impedindo o arejamento da massa e dificultando as larvas de se movimentar.

Existem vários mecanismos comportamentais de proteção aos fatores adversos, entre eles, a interrupção do crescimento (ODUM; BARRET, 2007), processo observado nas larvas de *Hermetia illucens* no sistema CAR e CPC durante a liberação de chorume.

Em situação parecida, Diener *et al.* (2011) verificaram que as larvas evitavam os locais com condições de anaerobiose e acúmulo de chorume, necessitando da drenagem do acúmulo de água no sistema. Ao criar zonas de anaerobiose e, conseqüentemente, geração de chorume, Mahmood *et al.* (2021) observaram crescimento limitado e de morte das larvas de *Hermetia illucens*.

Não foi observado nenhuma morte por chorume no interior das composteiras e o rápido controle do teor de umidade dos sistemas de compostagem da presente pesquisa, através do aumento da aeração das composteiras (de três para quatro dias durante a geração do chorume), criou condições favoráveis à atividade das larvas e o andamento do sistema, superando essa diferenciação larval entre os sistemas. Os resultados mostram que o retardamento do desenvolvimento das larvas e/ou fuga para áreas menos úmidas, podem indicar as larvas de *Hermetia illucens* como bioindicadores da presença de chorume nas leiras.

Verificou-se que o modelo de sistema e as condições ambientais exercem influência direta na ação destes organismos. No entendimento de Gobbi (2012) o período larval depende das condições físico-químicas e disponibilidade de alimentos. Para Tomberlin, Sheppard e Joyce (2002) as condições ambientais, como temperatura, luz e umidade, são os fatores críticos para garantir um ciclo de vida bem-sucedido da *Hermetia illucens*.

Superado os desafios referentes ao teor de umidade e ao desenvolvimento da espécie, observou-se que morfológicamente as larvas em todos os instares apresentaram 12 segmentos, sendo oito segmentos abdominais, três segmentos torácicos e uma cabeça (Figura 30). De acordo com Teskey (1981) as larvas têm uma cutícula blindada particularmente distinta. Sua aparência áspera e reticulada é causada pela deposição de carbonato de cálcio.

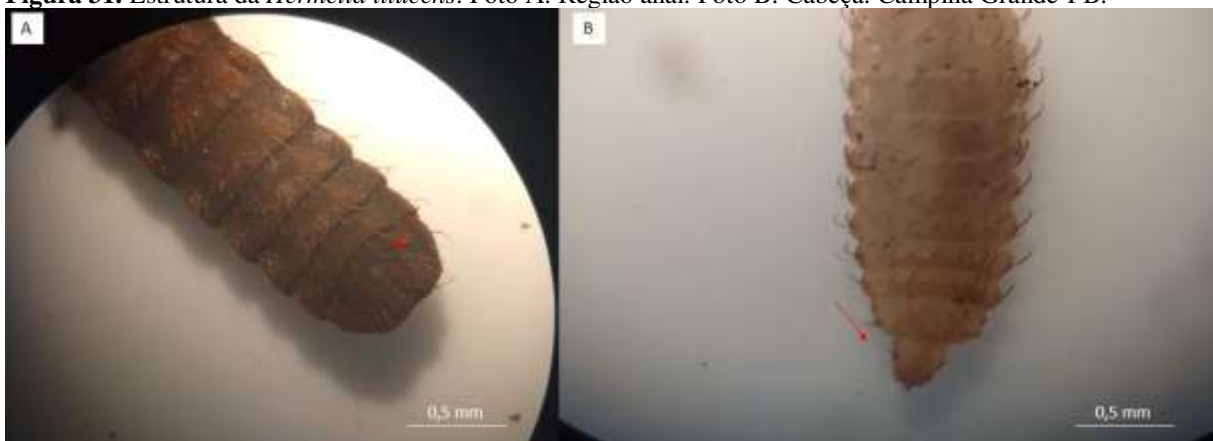
Figura 30. Divisão do torácico, abdominal e cabeça da larva da *Hermetia illucens*. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

A cabeça é afunilada e esclerotizada (Figura 31b). Na porção mais apical encontra-se apêndice bucal formado por mandíbulas e maxilas, usando as peças bucais para alimentação e locomoção sobre a massa do substrato. A região torácica é composta por três segmentos dorsalmente pilosos. O primeiro segmento é caracterizado por espiráculo anterior, disposto lateralmente de forma proeminente, conforme citam MacAlpine *et al.* (1987). A região abdominal é formada por oito segmentos, cobertos por cerdas conspícuas. No último segmento dorsal, Caruso *et al.* (2014) citam a presença do espiráculo posterior. Ainda no último segmento encontra-se ventralmente a região anal.

Figura 31. Estrutura da *Hermetia illucens*. Foto A: Região anal. Foto B: Cabeça. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

As larvas se encontravam dispostas na massa do substrato, movimentando-se aleatoriamente e continuamente, mantendo-se aglomeradas, principalmente no centro da pilha

de compostagem, local com umidade mais favorável para seu desenvolvimento e intensidade solar baixa. As larvas são saprófagas, se alimentando da matéria orgânica em decomposição de forma insaciável. De acordo com Wong *et al.* (2016) é nesta fase de desenvolvimento que a *Hermetia illucens* se alimenta e aumenta de tamanho.

As larvas de *Hermetia illucens* desempenham plena atividade metabólica, podendo consumir uma grande variedade de material orgânico em decomposição (LARDÉ, 1990; NEWTON, 2005; MYERS *et al.*, 2008; DIENER; ZURBRÜGGER; TOCKNER, 2009; DIENER; ZURBRÜGGER, 2011; DIENER *et al.*, 2011; NGUYEN; TOMBERLIN; VANLAERHOVEN, 2013). No entendimento de Tomberlin, Sheppard e Joyce (2002) a gordura reservada em seu corpo é convertida em energia para o período pupário e o ciclo de vida dos adultos.

As larvas rapidamente cresceram em peso e comprimento, mostrando-se eficiente na conversão do alimento ingerido. De acordo com Gold *et al.* (2018) a ingestão, degradação e absorção dos nutrientes para o desenvolvimento larval das moscas são controlados por regulações hormonais complexas. Diferentes processos ajustam o desenvolvimento larval e as demandas nutricionais mudam ao longo do tempo à medida que as larvas crescem. Durante esse processo os microrganismos fornecem os produtos metabólicos através da decomposição larval e proteção contra patógenos.

Como as larvas se alimentam de fontes ricas em carboidratos, Wong *et al.* (2016) apontam os microrganismos intestinais podem metabolizar amido, açúcares e fibras em ácidos orgânicos, como ácidos graxos de cadeia curta e álcoois simples. Lee *et al.* (2014) identificaram que as bactérias intestinais das larvas de *Hermetia illucens* possuem enzimas que podem hidrolisar amido, celulose, proteínas e lipídios, contribuindo para decomposição de resíduos sólidos orgânicos. Enquanto isso, Zhao *et al.* (2017) apontam o potencial da mosca na decomposição de fibras.

Enquanto se alimentava dos resíduos sólidos orgânicos em decomposição, as larvas passaram por cinco estágios de crescimento (instares), aumentando de tamanho, mobilidade e mudando de coloração. A coloração das larvas é variável à medida que se desenvolve, passando de branco leitoso, bege e marrom claro até os últimos estágios larvais.

A fase larval foi o período de maior degradação ativa, durante os primeiros 15 dias do sistema. Logo após, a pré-pupa (considerada o sexto e último estágio larval) para se alimentar, reduz a mobilidade e segundo Spranghers *et al.* (2017) começa a acumular concentrações de

quitina em preparação a pupação. Durante esse estágio, a pupa tem pigmentação marrom escuro e rígida que, segundo Caruso *et al.* (2014) é rica em sais de cálcio.

Durante o sexto ínstar as larvas passaram a se movimentar lentamente e a pigmentação tegumentar escureceu. É um processo gradual, no qual, as larvas abandonam a dieta e passam a sofrer retração dos segmentos, seguido, conforme MacAlpine *et al.* (1987), da esclerotização do tegumento. De acordo com Newton *et al.* (2005) e Dortmans *et al.* (2017) a larva substitui sua porção bucal por uma estrutura em forma de gancho. Ele usa esse gancho para se mover. No entendimento de Cordeiro (2018) a pupa da *Hermetia illucens* utiliza o último tegumento larval como abrigo.

Após parar à alimentação, a *Hermetia illucens* realizou o processo ao enterrasse na massa do substrato, mas ao contrário de outras espécies de Diptera observadas no sistema, não procurou áreas mais secas e protegidas para pupário, como frestas de galhos, cascas e sementes, realizando a metamorfose sobre a massa de substrato. Por isso, mesmo após a fase de pupa, foi possível encontrar e coletar indivíduos em toda composteira na própria massa em decomposição, em todos os estratos da leira.

Mesmo sofrendo processo de retração tegumentar, a pupa da *Hermetia illucens* manteve quase todas as características morfológicas da larva, inclusive, preservando as cerdas (Figura 32).

As pupas da *Hermetia illucens* adécticas e exaradas, ou seja, tipo de pupa que não se locomove e que apresenta mandíbulas reduzidas, impedindo a alimentação, segundo Ruppert; Fox; Barnes (2005).

Figura 32. Vista ventral da pupa da *Hermetia illucens*. No detalhe, destaca-se as cerdas.



Fonte: autoria própria

O período pupário ocorreu na fase de semi-cura, quando os sistemas encontravam-se com temperatura ambiente entre 27 e 30 °C, teor de umidade entre 40 e 56% e pH entre 8,6 e 9,0. Nesta fase, as espécimes coletadas encontravam-se entre pré-pupa e pupa.

As pupas foram observadas a partir do 19º dia. Observou que a pupa da *Hermetia illucens* possui uma forma coarctata⁶ e adéctica⁷ típica, com coloração marrom escuro. O corpo apresenta pigmentação marrom-escuro, cutícula rígida, coberto com polinosidade dourada⁸ e com cerdas mais visíveis e endurecidas. Nesta etapa, a espécie não se movimenta e nem se alimenta.

De acordo com Ruppert, Fox e Barnes (2005) a ecdise e a metamorfose sofrem controle endócrino, embora, mudanças ambientais ou fisiológicas possam estimular ou inibir esse processo, tais como, o tipo de alimentação, mudanças na temperatura ou fotoperíodo.

Os primeiros adultos foram observados no dia 40. Após completarem seu ciclo, estes liberaram as exúvias na massa de substrato e saíram do sistema. A cada ínstar observou que as larvas mudam e liberam uma exúvia quitinosa na massa de substrato.

Triunfo *et al.* (2022) identificaram quantidades significativas de minerais (16%), fibras (53%) e quitina (25%) nas exúvias de pupas das *Hermetia illucens*. Os autores ainda apontam o uso da exúvia na obtenção de quitina e quitosana, representando uma biomassa rica como fonte alternativa para biopolímeros.

A quitina é reconhecida por exibir propriedades supressoras de doenças no solo (ELISSEN *et al.*, 2019).

Assim como as exúvias, os excrementos são um subproduto das *Hermetia illucens* no sistema, compreendendo um importante aditivo a qualidade do composto final. Em pesquisa realizada por Klammsteiner *et al.* (2020) foi identificado que o excremento produzido pelas larvas corresponde aproximadamente 30 a 50% do peso inicial dos substratos de alimentação.

Este excremento contém nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, mas também o polissacarídeo quitina, que se origina principalmente de tegumentos descamados das larvas de *Hermetia illucens* (TEMPLE *et al.*, 2013). De acordo com Salomone *et al.* (2017) os excrementos apresentam um baixo valor de umidade (25,7%), pH 6,95, um teor médio de NPK bem equilibrado (respectivamente em 1,49%, 0,98% e 1,03%), características comparáveis com

⁶ Pupa dentro da exúvia larval, endurecida, com nenhum apêndice visível

⁷ Mandíbulas não articuladas

⁸ Característica da superfície do tegumento que sob incidência de luz em determinada posição, possui um aspecto de pó bem fino, recobrando-o.

outros adubos orgânicos e sem requisitos para processos adicionais de transformação ou estabilização.

Zahn (2017) testou o efeito do excremento de *Hermetia illucens* no crescimento da cebolinha e concluiu que o excremento tem potencial como um biofertilizante viável. Já Elissen *et al.* (2019) observaram o uso de excrementos em solo agrícola das culturas de beterraba e agrião infectado por fungo fitopatogênico *Pythium ultimum* e *Rhizoctonia solani*, identificando que o excremento como bom fertilizante e supressor de doenças do solo.

Schmitt e Vries, (2020) citam que os biofertilizantes de excremento não são apenas ricos em nutrientes, como nitrogênio e fósforo, mas também contém concentrações significativas de quitina e seus derivados das mudas larvais.

Os adultos emergiram a partir da linha de ecdise. Nas primeiras horas da fase adulta, a *Hermetia illucens* apresenta corpo mole, locomove-se lentamente e suas asas são previamente atrofiadas, o que os fazem permanecer durante um período de tempo na composteira mesmo após completar seu ciclo de vida (Figura 33).

Figura 33. *Hermetia illucens* na forma adulta. Foto A: Exúvia solta na massa do substrato. Foto B: Adulto da *Hermetia illucens* saindo da pupa. Figura C: Asas atrofiadas da *Hermetia illucens* logo após emergência. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Por estarem dispersos na massa de substrato, foi observado que muitos adultos saíram apenas durante o reviramento do sistema, pois estavam soterrados sob as camadas do substrato. Muitos ainda ficaram sobre a massa de substrato e na parede da composteira mesmo quando completaram seu ciclo de vida.

Ressalta que os adultos da *Hermetia illucens* não se alimentam, sobrevivendo de suas reservas de gordura corporal obtidas durante o estágio larval, conforme afirma Diener *et al.* (2011a). Raramente as espécies detritívoras são representantes no sistema durante a fase de estabilização, no entanto, possivelmente, a permanência da espécie até a desmontagem das leiras seja justificada, conforme Tingle, Mitchell e Copeland (1975) devido as fêmeas se encontraram em repouso para atraírem os machos em pleno voo. Sendo assim, entende-se que a presença de adultos nas leiras estudadas sejam, possivelmente, para suprir sua necessidade reprodutiva.

A permanência do adulto da *Hermetia illucens* recém-emergido sobre a massa do substrato em decomposição tornou-se alvo da predação das famílias Theridiosomatidae (Araneae) e Formicidae (Hymenoptera). Embora o número de indivíduos dos mesmos tenha sido inferior ao da *Hermetia illucens*, a presença destes teve efeito prejudicial sobre a população adulta de *Hermetia illucens*. Ambos foram considerados predadores por atacam preferencialmente os pupas e adultos recém-emergidos da *Hermetia illucens* e *Musca domestica*. Também observou-se o processo predatório dos ácaros à espécie.

Morfologicamente o adulto da *Hermetia illucens* possui cabeça (olho e antena), tórax (dividido em protórax, mesotórax e metatórax), pernas, asas, abdômen e genitália, característico a maioria das moscas, no entanto, sua estrutura diferencia em alguns aspectos (Figura 34).

A distribuição dos ocelos na cabeça apresenta forma triangular, denominada triângulo ocelar (CAI *et al.*, 2022). Os olhos compostos ocupam a maior parte da cabeça. Segundo Oonincx *et al.* (2016) os olhos possuem células fotorreceptoras com três canais para transmitir informação de cor UV sensíveis a azul e verde, permitindo a visão tricromática.

O adulto possui um par de antenas com o dobro do tamanho da cabeça e próximas uma da outra. Os segmentos das antenas são em forma espatulada e consistem em escapo, pedicelo e flagelo. Segundo Cai *et al.*, (2022) o comprimento da antena é importante para percepção sensorial e alguns dos usos sensoriais das antenas incluem movimento, orientação, odor, som, umidade e pistas químicas.

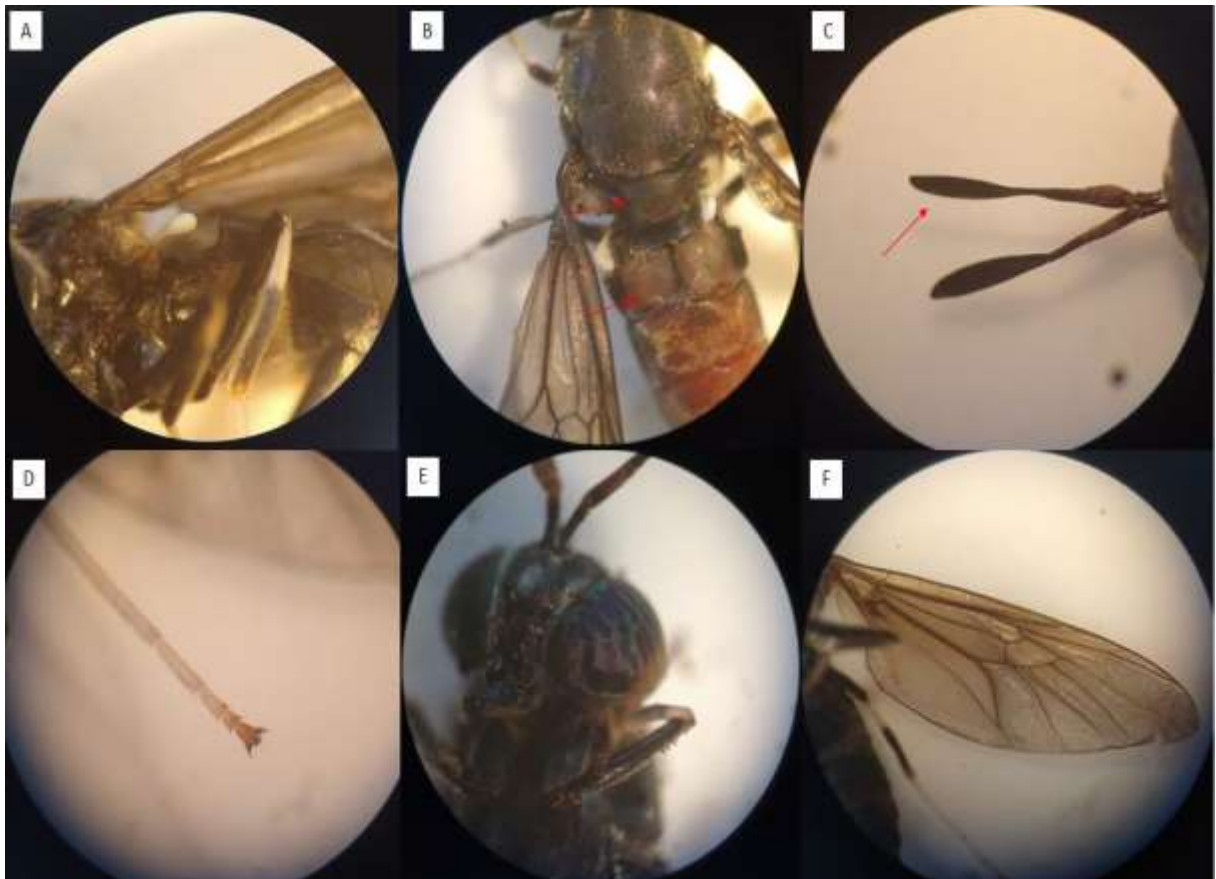
O mesotórax é bem desenvolvido e relativamente grande; coberto de cerdas curtas e inclui a sutura transversa e o escutelo. Foi observado no inseto dois halteres na lateral do corpo que, segundo Caruso *et al.* (2014) são capazes de detectar informações sensoriais e pequenos desvios na posição do corpo, promovendo à estabilização durante o voo. Os halteres se movimentam em conjunto com as asas.

De acordo com MacAlpine *et al.* (1987) as asas apresentam um brilho metálico com célula discal hexágono. Quatro veias medianas saem da célula discal e gradualmente desaparecem perto da borda da asa. As células e veias discais hexagonais podem ajudar as asas a manter a estabilidade estrutural e o nível durante o voo.

Os adultos da *Hermetia illucens* apresentaram três pares de pernas ambulatórias pretas, com tarsos brancos presos ao tórax.

Os adultos apresentam abdômen composto por 8 segmentos formados por placas retangulares cobertos por cerdas. O primeiro segmento abdominal é esbranquiçado e sem pelos. Segundo Oliveira, Doelle e Smith (2016) especula-se que esses segmentos armazenem energia (ou seja, gordura), que é completamente consumida pelos adultos para viver, acasalar, procriar e morrer, ou possível sinalização bioluminescente.

Figura 34. *Hermetia illucens* adulto. Foto A: Halteres. Foto B: Destaque no escutelo e primeiro segmento abdominal. Foto C: Antena espatulada. Foto D: pernas. Foto E: Olhos compostos. Foto F: Asas hialinas. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

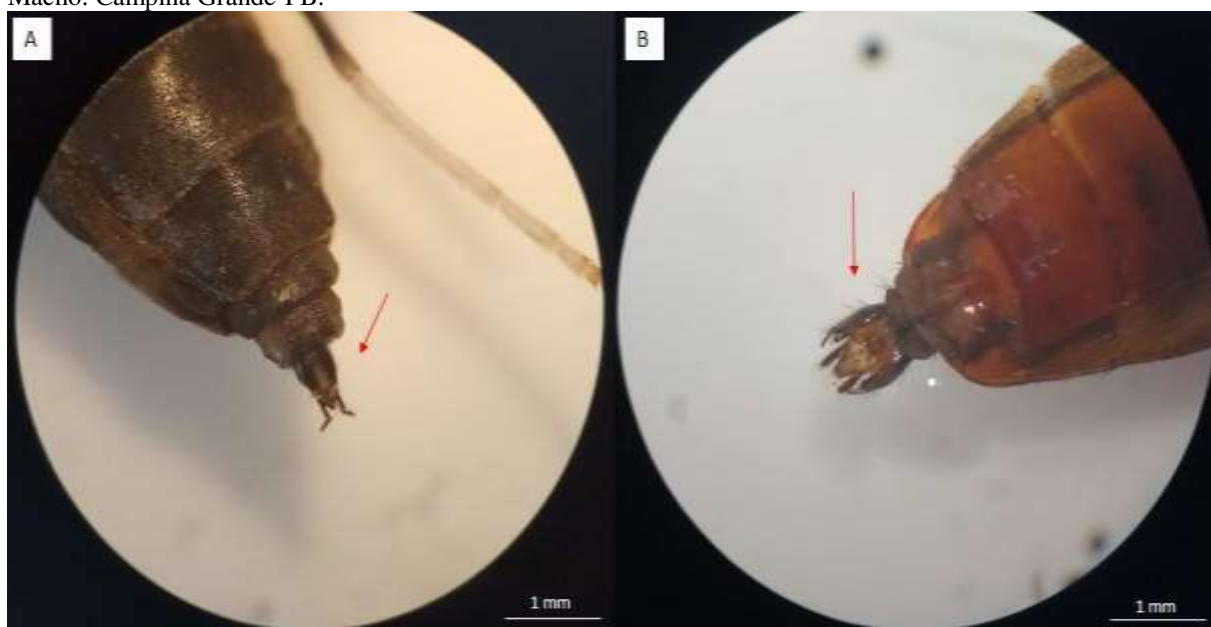
O oitavo segmento abdominal é o último ou segmento anal com uma forma arredondada. De acordo com Oliveira *et al.* (2015) no seu extremo existe uma abertura rodeada por pequenos

espiráculos que conduzem à câmara, dentro da qual se encontram um par de espiráculos dorsais posteriores. O ânus aparece como uma fenda longitudinal na metade ventral do segmento anal e suas bordas são espinhos cônicos.

Anatomicamente, os machos são menores que as fêmeas e uma diferença no último segmento abdominal permite identificação entre os sexos. Segundo Caruso *et al.* (2014) as fêmeas possuem um oviduto tubular retrátil, enquanto os machos exibem um edeago⁹ e um par de ganchos que lhe permitem agarrar o órgão genital feminino durante a cópula. De acordo com Teixeira Filho (2018) a cópula ocorre entre dois e cinco dias após a emergência do adulto, em sobrevoos sobre o substrato.

Visualmente a estrutura copuladora do macho é curta, exposta e emarginada, enquanto que da fêmea apresenta três apêndices, sendo dois laterais alongados e um central curto que é ovipositor, sendo flexíveis e invaginados (Figura 35).

Figura 35. Dimorfismo sexual de adulto de *Hermetia illucens* sob estereomicroscópio. Foto A - Fêmea. B - Macho. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Estas características morfológicas dos adultos da *Hermetia illucens* coletados no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos estão de acordo com as características observadas nas pesquisas de MacAlpine *et al.* (1987); Caruso *et al.* (2014); Oliveira *et al.* (2015); Oliveira, Doelle e Smith (2016); Cai *et al.*, (2022).

⁹Órgão reprodutor masculino do inseto

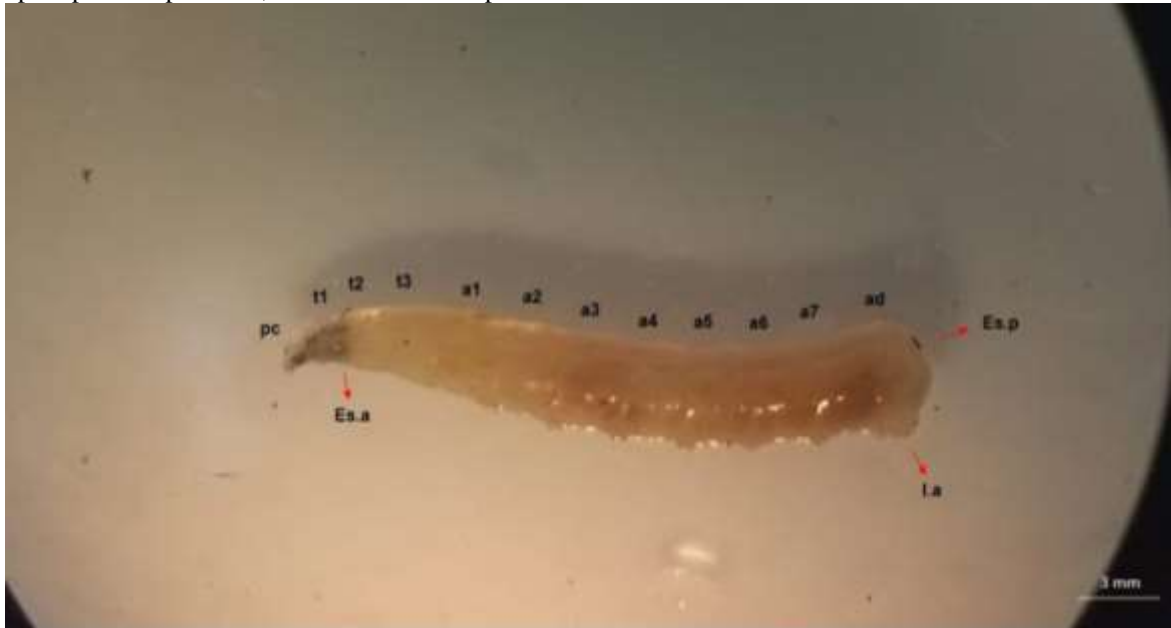
Embora apresente ciclo de vida holometábolo (metamorfose completa), a *Musca domestica* Linnaeus, 1758, foi observada em apenas três fases distintas no sistema de compostagem pesquisado: larva, pupa e adulto. As larvas foi o segundo organismo da mesofauna a serem observadas, logo após o início do sistema. De acordo com Howard e Bishopp (1924), os ovos geralmente eclodem 24 horas após a postura, sob condições favoráveis de umidade e temperatura. Por isso, não é de se estranhar a rápida aparição das larvas nos resíduos sólidos orgânicos estudados e a ausência de observação de ovos, uma vez que se entende que os ovos já estavam presentes na fonte geradora.

As larvas de primeiro instar eram muito pequenas, esbranquiçadas, corpo vermiformes e cilíndricas. Estas crescem rapidamente sob a massa do substrato, principalmente por, logo no início do sistema, ocorrer poucos grupos em concorrência pelo alimento. Mesmo sendo ápode, as larvas se moviam rapidamente por todo o sistema de compostagem, sendo resultado, segundo Teskey (1981) das saliências locomotoras presentes na região ventral do corpo da larva, contribuindo com os movimentos peristálticos do corpo.

A larva apresenta corpo com 12 segmentos, sendo o primeiro, o pseudocéfalo, devido a retração quase total da cabeça dentro do segmento. Em seguida, tem três segmentos torácicos e sete segmentos abdominais e divisão anal (TESKEY, 1981), com região anterior do corpo afilada e a posterior truncada.

As larvas estudadas apresentaram o mesmo aspecto geral do corpo descrito na literatura, conforme observado nas Figuras 36, 37 e 38.

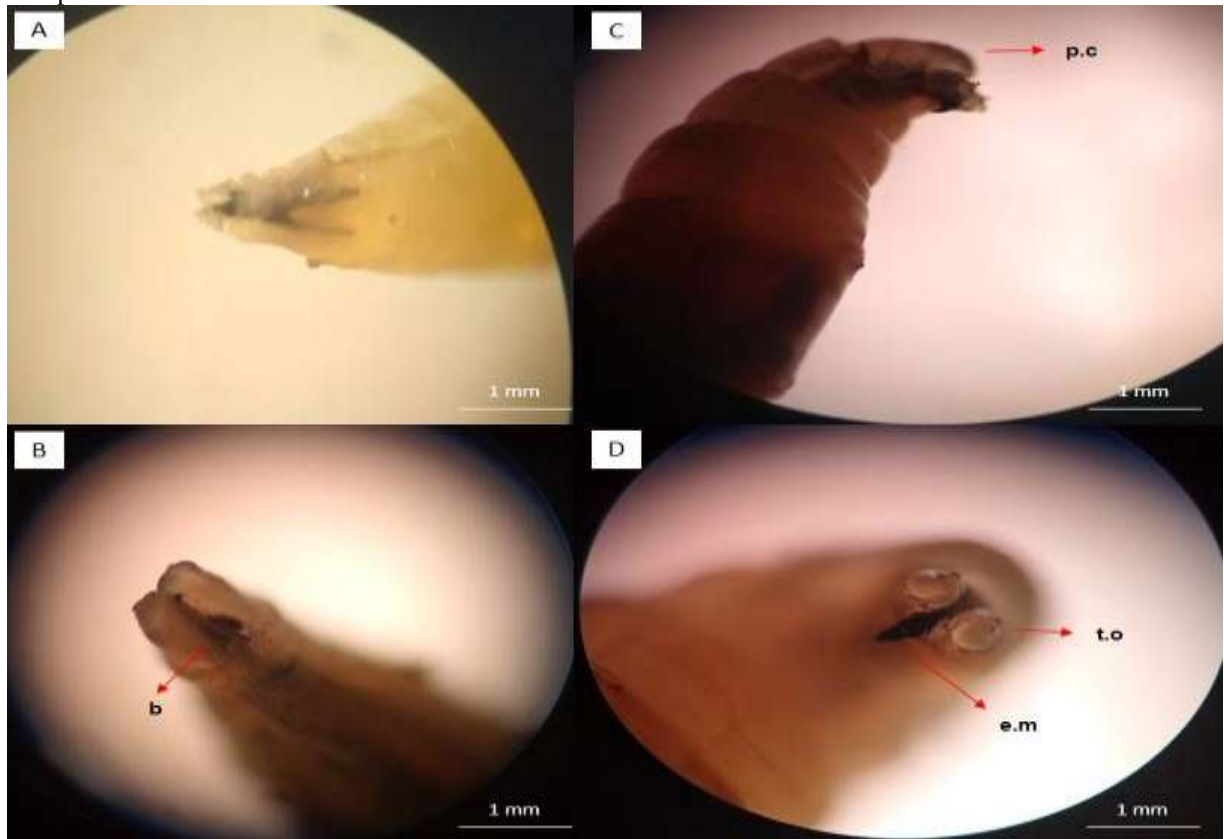
Figura 36. *Musca domestica* na forma larval 3ª instar, com seus 12 segmentos, com pseudocéfalo (pc), segmentos torácicos (t1 a t3), segmentos abdominais (a1 a a3) e a divisão anal (ad). Em destaque: Es.a: Espiráculo anterior; Es.p: Espiráculo posterior; l.a: Lobo anal. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

A estrutura da cabeça larval da *Musca domestica* apresenta uma cápsula cefálica esclerotizada, com peças bucais em forma de foice utilizadas na movimentação, alimentação e para cavar a massa do substrato e sustentada por esqueleto cefalofaríngeo, segundo Thyssen (2009).

Figura 37. Larva de 3 instar da *Musca domestica*. Foto A: Esqueleto cefalofaríngeo de larva madura, aspecto lateral. Foto B: Aspecto ventral do pseudocéfalo. b - boca. Foto C e D: Aspecto frontal e lateral da extremidade anterior da larva madura com destaque: p.c – pseudocéfalo; t.o – tubérculo óptico; e.m – esclerito mandibular. Campina Grande-PB.

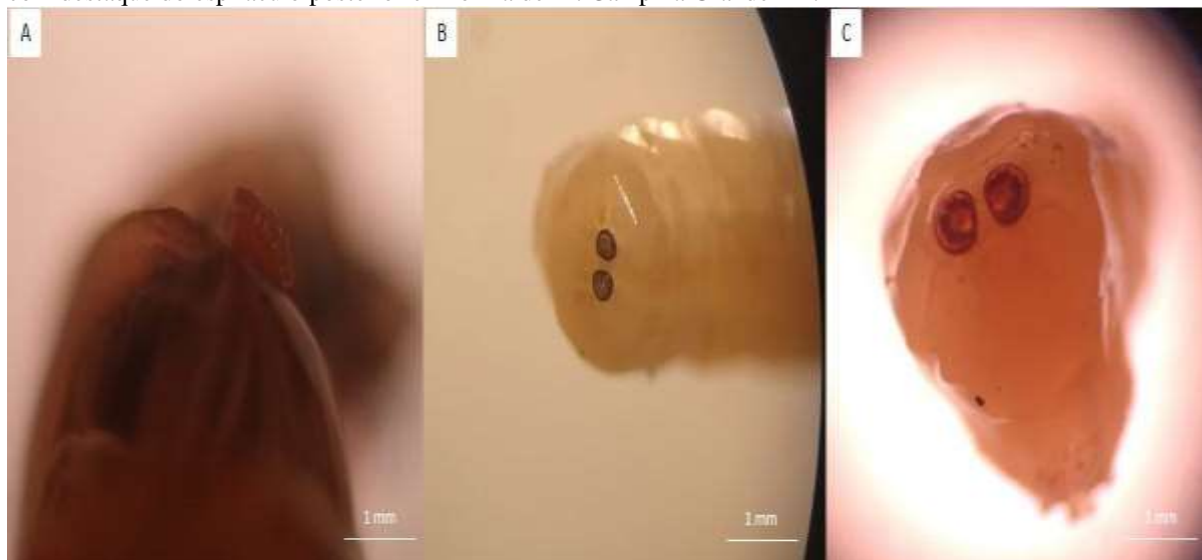


Fonte: autoria própria

O sistema respiratório da larva consiste de dois troncos traqueais longitudinais que comunicam-se com os espiráculos respiratórios anteriores e posteriores do corpo da larva (TESKEY, 1981). Os espiráculos respiratórios anteriores projetam-se nas paredes laterais do corpo da larva, com exceção da larva de primeiro instar. De acordo com Teskey (1981) esta estrutura é composta em forma de leque com pequenos processos papiliformes.

A porção posterior da larva é obliquamente truncada e contém outro par de espiráculos respiratórios posteriores, encontrado no último segmento abdominal, na porção terminal do segmento anal. Esta estrutura é composta por aberturas espiraculares em forma de fenda (FIGURA 38). A região que circunda essas aberturas recebe o nome de peritrema (MCALPINE *et al.*, 1987). Este espiráculo é bastante importante, pois, segundo Gordon (2010) permite a diferenciação de gênero e espécie mesmo na forma larval.

Figura 38. Larva da *Musca domestica*. Foto A: Espiráculo anterior. Foto B e C: Extremidade posterior da larva com destaque do espiráculo posterior em forma de M. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Os três estágios da larva cresceram na massa do substrato se alimentando do material em decomposição sob condições favoráveis de temperatura e umidade. De acordo com Zurek, Shcal e Watson (2000) as larvas da mosca doméstica são provavelmente dependentes da comunidade microbiana como fonte nutricional.

Com uma alimentação voraz e mobilidade grande, as larvas logo passaram a se movimentar aleatoriamente, mantendo-se aglomerados, principalmente no centro e base da pilha de compostagem, em virtude do alto teor de umidade e substrato rico em nutrientes. Segundo Howard e Bishop (1924) o estágio larval dura entre quatro e sete dias.

As larvas de terceiro instar assumiram coloração branca leitosa, eram maiores e seus segmentos eram mais visíveis. Segundo Gordon (2010) as larvas assumem esta coloração devido ao grande desenvolvimento do corpo gorduroso e às alterações histolíticas que ocorrem internamente.

As larvas cessaram a alimentação e moveram-se para áreas mais secas e mais seguras do sistema de compostagem, na base da pilha, principalmente em sementes, cascas e frestas de galhos e reduziram sua mobilidade. Logo após, entraram no processo de pupário, que consiste na contração e endurecimento do tegumento, formando uma pupa de coloração vermelho-escuro.

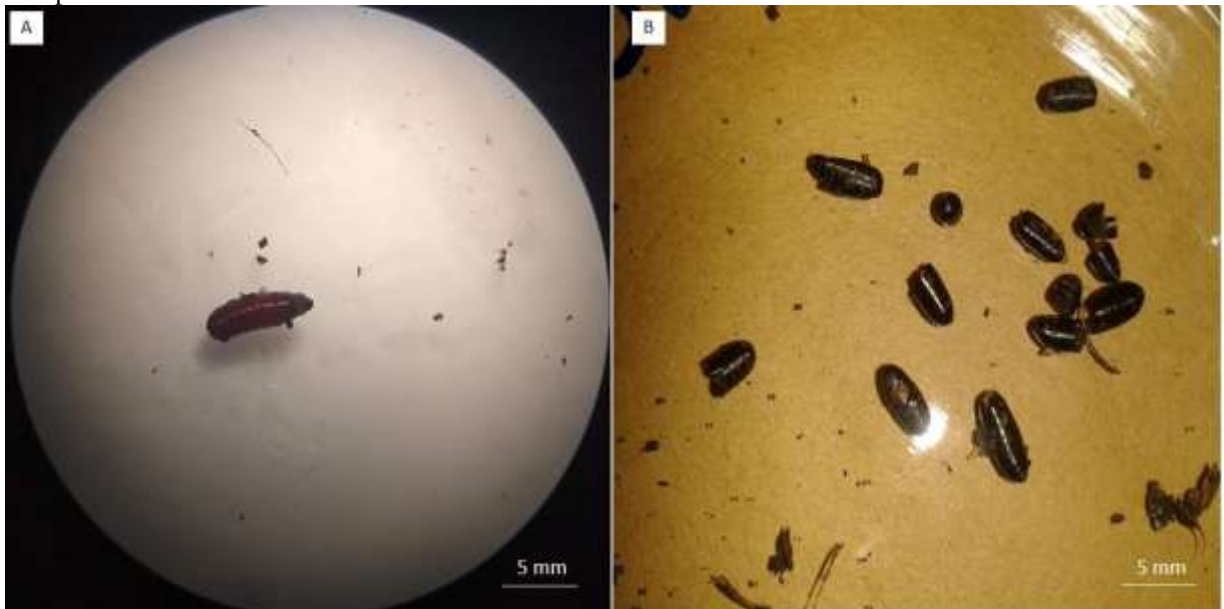
Segundo Shingleton (2010) o crescimento larval de insetos holometábolo, é regulado pela liberação de hormônios que controlam a muda: ecdisteróides, hormônio protoracicotrópico, hormônio da eclosão e hormônio juvenil. A ecdisona inicia e coordena a síntese de nova cutícula

com crescimento e desenvolvimento de órgãos internos, em preparação da muda para o próximo instar. De acordo com Truman, Riddiford e Safranek, (1974) a presença do hormônio juvenil garante que a larva mude para o próximo instar, em vez de sofrer metamorfose. Contudo, quando o indivíduo chega ao último instar larval, o hormônio protoracicotrópico estimula liberação de ecdisona, fazendo os discos imaginais parem de crescer, diferenciem e invaginem.

Em decorrência disso, Cordeiro (2018) cita que o primeiro segmento da larva de terceiro instar sofre invaginação em relação ao segundo, chamado de apólise. A cutícula fica mais esclerotizada e o espiráculo posterior se funde parcialmente ao tubérculo anal. A pupa envolve a mosca em metamorfose até que ela complete o ciclo.

Ao longo do desenvolvimento pupário, a pigmentação da pupa foi escurecendo, chegando a marrom-escuro (Figura 39).

Figura 39. Estágio pupário da *Musca domestica*. Foto A: pupa. Foto B: exúvia deixada na massa de substrato. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

A mosca emergente escapa do cápsula pupal através do uso de um saco alternadamente inchado e encolhendo, chamado ptilinum, na frente de sua cabeça, que ele usa como um martelo pneumático para romper a pupa (GORDON, 2010). Assim que sai da pupa, a mosca tem asas levemente atrofiadas enquanto rastejava sob a pilha do substrato (FIGURA 40). De acordo com Gordon (2010) as asas se abrem, atinge sua textura final e o exoesqueleto quitinoso endurece ao mesmo tempo; quando esses processos estão completos, o inseto pode seguir seu ciclo.

Figura 40. *Musca domestica* na forma adulta. Foto A: espécime saindo da pupa. Foto B: espécime recém emergida com asas atrofiadas (em destaque).



Fonte: autoria própria

O adulto da espécie *Musca domestica* tem corpo dividido em cabeça, tórax e abdome. Apresenta asas do tipo membranosas que, segundo McAlpine *et al.* (1987), consistem de veias esclerotizadas que estabilizam durante o voo.

O adulto também apresenta aparelho bucal do tipo lambedor e três pares de pernas articuladas. Na região dorsal, o tórax é cinza com listras escuras e abdome amarelado. Por todo seu corpo tem pelos (Figura 41).

Figura 41. Adulto da *Musca domestica*. Foto A: Vista dorsal. Foto B: Vista frontal. Foto C: Destaque no aparelho bucal lambedor. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Os olhos compostos são uma característica bastante importante, pois além de representar uma porção significativa da cabeça, também é utilizado para identificação sexual. De acordo com Brito *et al.* (2008) nos machos, os olhos são bem próximos em vista dorsal (olhos holópticos), enquanto que nas fêmeas os olhos são separados em vista dorsal, sendo considerados os olhos dicópticos (BRITO *et al.*, 2008). Dos indivíduos adultos coletados no sistema de compostagem na presente pesquisa, todos foram fêmeas, conforme observados na figura 42.

Figura 42. Vista dorsal do exemplar adulto de *Musca domestica* evidenciando (em destaque) a posição dos olhos dicópticos utilizada na caracterização sexual.



Fonte: autoria própria

Ressalta-se que a *Musca domestica* é de interesse médico, devido ao seu caráter sinantrópico, endofilia, alto poder reprodutivo e a capacidade de se desenvolver em vários substratos (NEVES, 2016).

As moscas frequentemente alimentam-se e reproduzem-se em fezes, esterco animal, carniça, resíduos orgânicos e outras substâncias orgânicas em decomposição e, portanto, vivem em associação íntima com vários microrganismos, incluindo patógenos humanos, que podem aderir às superfícies corporais da mosca (KHAMESIPOUR *et al.*, 2018). A constante mobilidade das moscas domésticas entre seus locais de reprodução e as habitações humanas pode levar à transmissão de patógenos para humanos e animais (TSAGAAN; KANUKA; OKADO, 2015; BAHRNDORFF *et al.*, 2017; KHAMESIPOUR *et al.*, 2018).

Dessa forma, o controle da espécie é fundamental para reduzir e/ou eliminar a população desses vetores no sistema de compostagem. Diferentes estratégias são utilizadas para o controle de moscas em plantações agrícolas, como controle cultural, controle químico e controle biológico. No entanto, entendendo que a compostagem é uma técnica controlada de

decomposição aeróbia da matéria orgânica com uma população diversificada de organismos, o próprio sistema se encarregou de promover o controle biológico da *Musca domestica*.

As observações *in natura* no sistema de compostagem de resíduos orgânicos domiciliares da presente pesquisa permitiram identificar que, embora tenha ocorrido uma significativa incidência da forma larval da *Musca domestica*, sua população na forma adulta foi reduzida. Isso possivelmente, ocorreu em virtude de fatores bióticos, como organismos parasitóides, predadores e patógenos e fatores abióticos, tais como, temperatura e umidade.

Em relação aos fatores bióticos, no sistema de compostagem foi observada a presença de seus inimigos naturais como nematóides, formigas (Hymenoptera: *Paratrechina longicornis*), ácaros (Mesostigmata: Macrochelidae e Parasitidae) e vespas (Hymenoptera: *Spalangia* sp.).

Martins *et al.* (2010) apontam que as larvas de *Ornidia obesa* competem pelo substrato em decomposição com *Musca domestica*.

Pupas da *Musca domestica* foram observadas furadas, característica da presença de *Spalangia* sp., observadas em todos os sistemas. Estas vespas foram observadas no sistema apenas durante a fase de pupa das moscas, indicando uma estreita relação da vespa com seu hospedeiro. Ou seja, a vespa necessita da pupa para depositar seus ovos e desenvolver dentro da pupa da *Musca domestica*, o que resulta, eventualmente, na morte do hospedeiro. Entende que sua presença é um método seguro e eficaz no controle biológico da *Musca domestica*.

Fatores abióticos também podem prejudicar a continuidade do ciclo de vida da *Musca domestica*, como temperatura, teor de umidade e quantidade de alimento disponível.

Os valores do sistema de compostagem chegaram a temperatura 45 e 55 °C na presente pesquisa. Por isso, o movimenta-se, buscando encontrar ambiente apropriado no sistema, uma vez que o nível de temperatura nos estratos não é uniforme. Weigert *et al.* (2002) indicam que temperatura larval ideal encontra-se entre 20 e 26 °C. Valores maiores podem queimar as larvas e/ou inibir seu desenvolvimento.

O controle biológico da *Musca domestica* é bastante importante, pois a espécie tem alta capacidade de sinantropismo e comportamento endofílico, características relacionadas à capacidade de adaptação da espécie a ambientes de atividades antrópicas, como resíduos sólidos orgânicos, alimentos, secreções biológicas, carniças, fezes, entre outros (AWACHE; FAROUK, 2016), tornando-a um vetor de muitos patógenos metaxênicos¹⁰ e podendo causar

¹⁰ Quando o vetor transporta o agente etiológico e também contribui para sua maturação ou multiplicação

problemas de saúde pública devido ao seu alto potencial reprodutivo, hábitos alimentares e capacidade de dispersão.

Resíduos sólidos orgânicos fornecem excelentes habitats para o crescimento e desenvolvimento deste inseto, principalmente quando não tratados e destinados de forma inadequada (ARAÚJO *et al.*, 2019). Bactérias, fungos, vírus e helmintos são transportados nas pernas, pelos e cerdas do corpo da *Musca domestica* (AWACHE; FAROUK, 2016). Embora a quantidade de patógenos presentes no intestino seja geralmente maior, sugerindo que fezes e vômitos da espécie também podem servir como uma importante via de transmissão de patógenos (GRACZYK *et al.*, 2001).

Mesmo promovendo um controle biológico eficiente da *Musca domestica*, por fatores bióticos e abióticos, alguns adultos foram coletados no sistema de compostagem, a partir do 26^a dia e foram observados saindo do sistema até 31^a dia, indicando seu desenvolvimentos em locais estratégicos do sistema, no qual tinha condições favoráveis.

Dípteros da espécie *Ornidia obesa* Fabricius, 1775 (Diptera: Syrphidae) apresentam metamorfose completa, mas foram observadas no sistema, apenas na fase larval, pupa e adulto. Estas são moscas pequenas, robustas, com ocelos bastante evidentes, asa hialina, o tegumento é liso e o corpo com cor verde brilhante metálico (Figura 43).

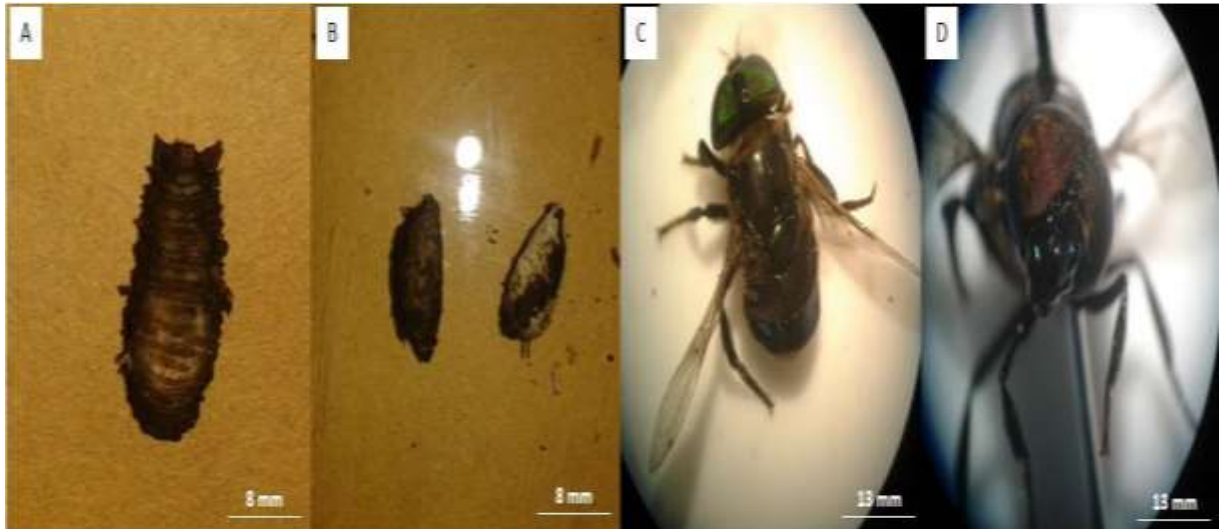
Ornidia obesa são insetos polinizadores, mas fases imaturas podem ser encontradas em matéria em decomposição, esgotos, dejetos e frutas (MACALPINE *et al.*, 1987). São considerados vetores mecânicos e casos de miíase (infestação de larvas na pele) e pseudomiíase acidental (quando as larvas são ingeridas e passam pelo tubo digestório sem se desenvolver, mas pode causar distúrbios) em humanos já foram identificados (MONTEIRO *et al.*, 2008; LÓPEZ; ROMERO; PARRA, 2017), o que é particularmente importante devido ao seu comportamento sinantrópico.

Estas foram observadas no sistema durante a fase mesófila e início da fase de degradação ativa (termófila), quando os níveis de temperatura (>34°C), teor de umidade (71%) e pH (entre 5,3 e 7,4), evidenciaram um material instável. Contudo, a partir do 9^a dia no sistema CCR e CAR e no 12^a dia no sistema CPC, não foram mais observadas exemplares da espécie no sistema de compostagem, possivelmente, devido às condições do meio.

Em pesquisa realizada em carcaças suínas, Martins *et al.* (2010) observaram que a pequena abundância de larvas de *Ornidia obesa* era resultado da baixa umidade e temperatura local, podendo ter contribuído para impedir o desenvolvimento das larvas. Nesse contexto, embora os valores iniciais do sistema de compostagem da presente pesquisa tenham favorecido

o progresso das larvas, poucas espécimes, de fato, conseguiram completar seu ciclo de vida no sistema.

Figura 43. Fases da *Ornidia obesa* durante o sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB. Foto A: Larva; Foto B: Pupas; Foto C e D: *Ornidia obesa* na forma adulta. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Conhecida popularmente como mosca da fruta, a *Drosophila melanogaster* Meigen, 1830, é um inseto holometábolo, pequeno, que se alimentam de frutas, fungos, fluxos de lodo e outros materiais em decomposição (MACALPINE *et al.*, 1987). A espécie foi observada no sistema durante a fase de mesófila até o início da fase de decomposição ativa (termófila) nos três subsistemas (Figura 44).

Figura 44. Espécimes de *Drosophila melanogaster* no sistema de compostagem resíduos sólidos orgânicos. Foto A: Larva. Foto B: Larva com destaque no aparelho bucal. Foto C e D: *Drosophila melanogaster* adulto. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Os primeiros exemplares observados foram as larvas. Estas estavam na massa de substrato a partir do 5^a dia. As larvas apresentavam coloração branco-leitosa e transparente, sendo possível observar os órgãos internos visíveis, com forma vermiforme e segmentada. Na região mais afilada do corpo apresenta peças bucais na forma de gancho que se projeta para frente, utilizado na alimentação e mobilidade. Possui um par de espiráculos para respiração na porção anterior e posterior do corpo.

As larvas sofrem três mudas (instar) para o crescimento antes da metamorfose, embora não tenha sido possível diferenciar visualmente as mudas da espécie.

Para o início pupário, a larva rasteja até locais mais secos, o corpo encurta e a cutícula fica pigmentada e endurecida. A pupa não se alimenta e seus espiráculos respiratórios ficam aparentes. Os adultos exibem uma anatomia típica de inseto, incluindo olhos compostos, corpos dividido em cabeça, tórax e abdômen, asas hialina e seis pernas articuladas (MCALPINE *et al.*, 1981).

A espécie apresenta ciclo de vida curto, e o aparecimento do indivíduo adulto ocorre 10 dias após a oviposição (MCALPINE *et al.*, 1981). Dessa forma, a partir do 12^a dia não foi observado mais espécimes no sistema, por completar seu ciclo de vida.

Trotta *et al.*, (2006) relatam que o período de desenvolvimento e prevalência da mosca variam em função da temperatura, sendo as condições mais favoráveis entre 18 e 25°C. A elevação da temperatura no sistema (>50°C) pode ter sido desfavorável para a espécie e contribuiu para seu declínio em poucos dias.

5.6.1.3 Hymenoptera

Durante a compostagem foram observadas duas famílias pertencentes a esta ordem: Formicidae (*Paratrechina longicornis* Latreille, 1802) e Pteromalidae (*Spalangia* sp.).

Esta ordem é formada por organismos sociais que desempenham atividades significativas no funcionamento do sistema, podendo modificar a estrutura física do substrato, transportar nutrientes, realizar escavações e promover a predação de outros insetos (RUPPERT; FOX; BARNES, 2005).

A família Formicidae (*Paratrechina longicornis* Latreille, 1802) foi bastante significativa no sistema, embora, possivelmente, tenha sido resultado de entrada invasora, pois foram observados saindo do sistema. O táxon esteve presente durante a fase de semi-cura, quando os níveis de temperatura e teor de umidade baixaram e o pH tornou-se alcalino. O táxon foi observado entre os 33-58^a dias, regredindo seu desenvolvimento e desaparecerem do sistema

na fase de estabilização, provavelmente em virtude do sistema ter sido um nicho temporário. Segundo Solis *et al.* (2007) o ninho temporário é pequeno, apresentando apenas operárias e crias.

A ausência destas no final do experimento, possivelmente é resultado das condições do meio. Em pesquisa realizada por Solis, Bueno e Moretti (2008) foi identificado ácaros atacando imaturos de formigas, sendo observados se alimentando de ovos e pupas. Além disso, foram observados em grande quantidade sobre o corpo de adultos, ocasionando desequilíbrio no desenvolvimento social.

A mesma situação foi observada no sistema. Foram encontrados ácaros da família Parasitidae sobre o corpo dos adultos da família Formicidae (*Paratrechina longicornis* Latreille, 1802), conforme observado na Figura 45.

Figura 45. Ácaros da família Parasitidae sobre o corpo de formigas observadas no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

A maioria das espécies de formigas é generalista e verdadeiramente onívora, podendo se alimentar de variedade de alimentos, como plantas, animais, fungos e outros animais (BUENO; CAMPOS; MORINI, 2017). A presença da família no sistema experimental ocorreu devido a predação de pupas de Diptera e outros invertebrados. Isso foi observado pela captura e alimentação da família Formicidae com pupas de Diptera, conforme Figura 46.

Figura 46. Espécimes da *Paratrechina longicornis* carregando pupas de *Musca domestica* no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.

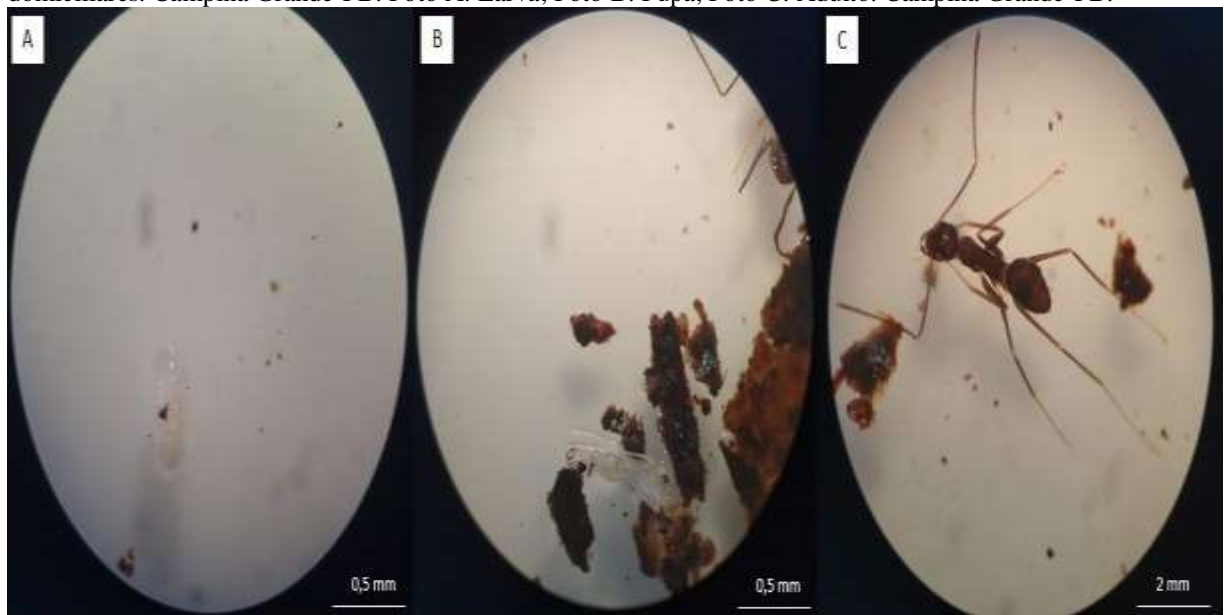


Fonte: autoria própria

Esta observação foi muito importante, pois identificou que as formigas também são responsáveis pela predação e pelo controle biológico de *Musca domestica*.

A família apresenta metamorfose completa (holometábolo), mas só foram observados três estágios no sistema: larva, pupa e adulto, de acordo com Figura 47.

Figura 47. Estágios de Formicidae observados no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB. Foto A: Larva; Foto B: Pupa; Foto C: Adulto. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

O estágio larval foi caracterizado por apresentar insetos esbranquiçados, alongados, pequenos e sem apêndices locomotores. De acordo com Bueno, Campos e Morini (2017) o estágio larval apresenta cinco instares sendo regulado por mudas. Ainda segundo os autores, no estágio pupal os indivíduos não se alimentam e não apresentam movimentos. Seus olhos mudam de branco para marrom, seus órgãos internos se diferenciam e apresentam características semelhantes às do adulto.

Morfologicamente, a formiga no estágio adulto apresenta corpo dividido em cabeça, mesossoma, pecíolo e gáster. A cabeça contém mandíbulas aparentes com duas garras posicionadas a frente da cabeça (Figura 48).

Figura 48. Estrutura morfológica do corpo da família Formicidae observada no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Diferentes estruturas são utilizadas para identificação das formigas, podendo ser a forma da antena, a estrutura de pecíolo, o tipo de mandíbula e a presença acidóporo. Essas características foram fundamentais para reconhecer o táxon.

Ainda na ordem Hymenoptera, também foram observados membros da família Pteromalidae (*Spalangia* sp.). Estas são vespas parasitóides, ou seja, passam parte do seu ciclo de vida no interior do corpo de um hospedeiro. Durante esse processo, o parasitoide impede qualquer desenvolvimento do hospedeiro após a parasitação inicial. Isso ocorre porque a vespa se alimenta do hospedeiro durante sua fase imóvel de pupa, numa relação que promove a morte do hospedeiro (BRANDÃO; FELCHICHER; RIBEIRO, 2010).

Os himenópteros parasitoides da família Pteromalidae são os principais agentes de destruição de pupas de moscas (THOMAZINI; BERTI FILHO, 2000). Estes indivíduos atacam ovos, larvas, pupas e, mais raramente, adultos. As principais ordens hospedeiras são Diptera, Hemiptera, Neuroptera, Coleoptera, Hymenoptera e Dermaptera. Mas sua contribuição significativa está no controle sobre as moscas muscóides, especialmente a *Musca domestica* e a *Stomoxys calcitrans* (HANSON; GAULD, 1995).

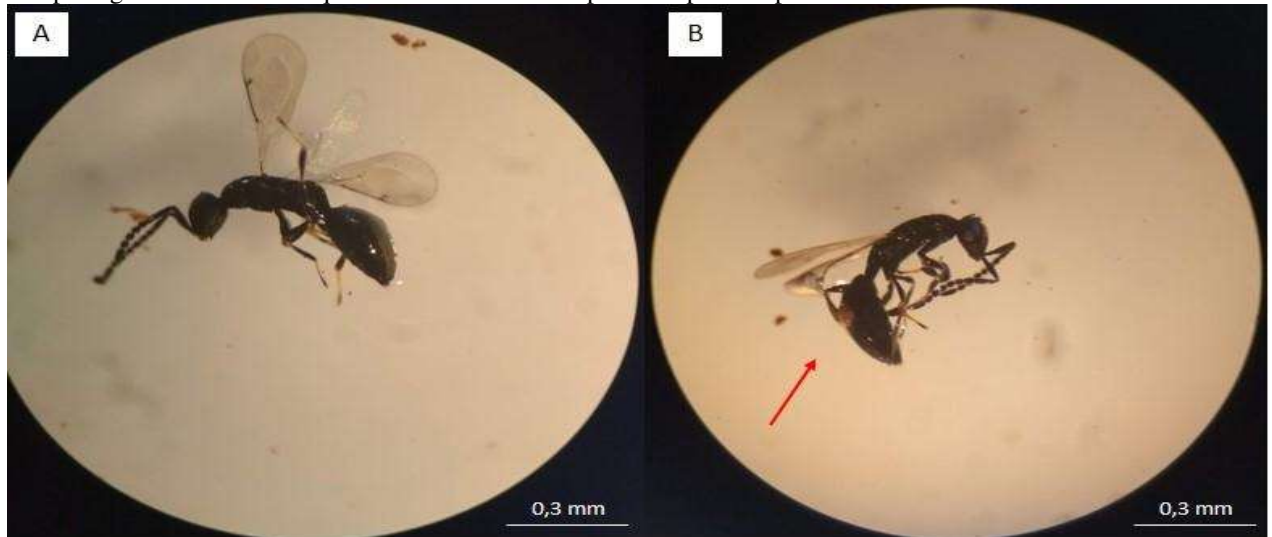
De acordo com Marchiori *et al.* (2003) por ocuparem um nível trófico superior e apresentarem diversidade de adaptações fisiológica e comportamental, os parasitoides atuam como determinantes da densidade populacional de seus hospedeiros.

O táxon foi observado entre a fase de decomposição ativa e início da fase de semi-cura (9 e 30ª dia), justamente durante a prevalência da *Musca domestica*, seu hospedeiro natural. Sua maior concentração ocorreu durante o período pupário da mosca.

O desempenho reprodutivo de parasitoides ocorre em valores de temperatura entre 15 e 30°C (BRANDÃO; FELCHICHER; RIBEIRO, 2010), contudo o táxon apareceu no sistema quando os valores de temperatura estavam mais elevados (>50°C). Embora tenha sido observado no sistema durante a fase termófila, a concentração de *Spalangia* sp. aumentou à medida que a temperatura foi diminuindo, representando 1,4% dos indivíduos coletados no sistema de compostagem. Em contrapartida, quando espécimes de *Musca domestica* completaram seu ciclo biológico e começaram a sair do sistema na forma adulta, ocorreu declínio da *Spalangia* sp. e desaparecimento no 30ª dia (Figura 49).

De acordo com Marchiori e Silva (2013) os parasitoides são considerados bioindicadores da biodiversidade dos ecossistemas, sendo classificados como espécies-chave para a manutenção do equilíbrio das comunidades que os incluem. Frequentemente, atuam como fatores determinantes da densidade populacional de seus hospedeiros, graças à grande diversidade de adaptações fisiológicas e de comportamento.

Figura 49. Pteromalidae (*Spalangia* sp.). Foto A: Espécime de Pteromalidae observada no sistema de compostagem. Foto B. Destaque de ácaros sobre o corpo da vespa. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

5.6.1.4 Orthoptera

Foram capturados apenas dois grilos adultos no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, representando 0,1% dos indivíduos coletados (Figura 50), sendo resultado de espécies predadores do sistema. Este resultado sugere que o táxon pode ocorrer em locais com maior luminosidade, pouca umidade e menor nível de matéria orgânica. Contudo, a pouca disponibilidade de abrigo e alimentos podem limitar a diversidade local (OLIVEIRA *et al.*, 2013), condições características da fase de estabilização da compostagem, devido a matéria orgânica maturada, teor de umidade baixo e pH alcalino. Dessa forma, entende-se que a ocorrência da família Gryllidae apenas no sistema CCR, é resultado de certa adaptabilidade às condições desfavoráveis, em locais de baixa disponibilidade de umidade e recursos e/ou estavam em busca de alimento.

Figura 50. Espécime da família Gryllidae na parede da composteira CCR. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Estes insetos se alimentam de folhas, flores, fungos e frutos, outros são predadores de larvas, pupas, outros insetos e matéria orgânica em decomposição (HUBER; MOORE; LOHER, 1990). No entanto, estes só foram observados no final do sistema, quando a matéria orgânica em decomposição estava próxima a estabilização e a maioria dos membros de Díptera já tinha saído do sistema na forma adulta. Durante a análise de grilos em serapilheira, Oliveira *et al.* (2013) identificaram que o nível de serapilheira não interferiu na abundância de grilos, pois níveis maiores de serapilheira não foram os que mais apresentaram amostra desses insetos.

Provavelmente, a presença de insetos sobre a massa de substrato e saindo do sistema tenha influência na presença da família Gryllidae em busca da predação, contudo, logo após observada sua presença (entre dias 79 e 82) ocorreu declínio e desaparecimento do inseto no sistema. Isso provavelmente é resultado da presença de aranhas da família Theridiosomatidae, seus predadores naturais.

5.6.1.5 Araneae

A família Theridiosomatidae foi observada no sistema de compostagem durante a fase de estabilização (entre 11 e 13ª semana). O pequeno percentual do táxon no sistema de compostagem (0,3%) e desapareceram antes da desmontagem das composteiras. Os indivíduos desta família foram observados predando adultos de *Hermetia illucens* e *Musca domestica* que ficavam sobre a massa do substrato, mesmo após completar seu ciclo de vida. Ainda foi observado às aranhas criando teias nas composteiras para predação dos insetos, confirmando seu excelente papel predatório (Figura 51).

Figura 51. Espécime da família Theridiosomatidae. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

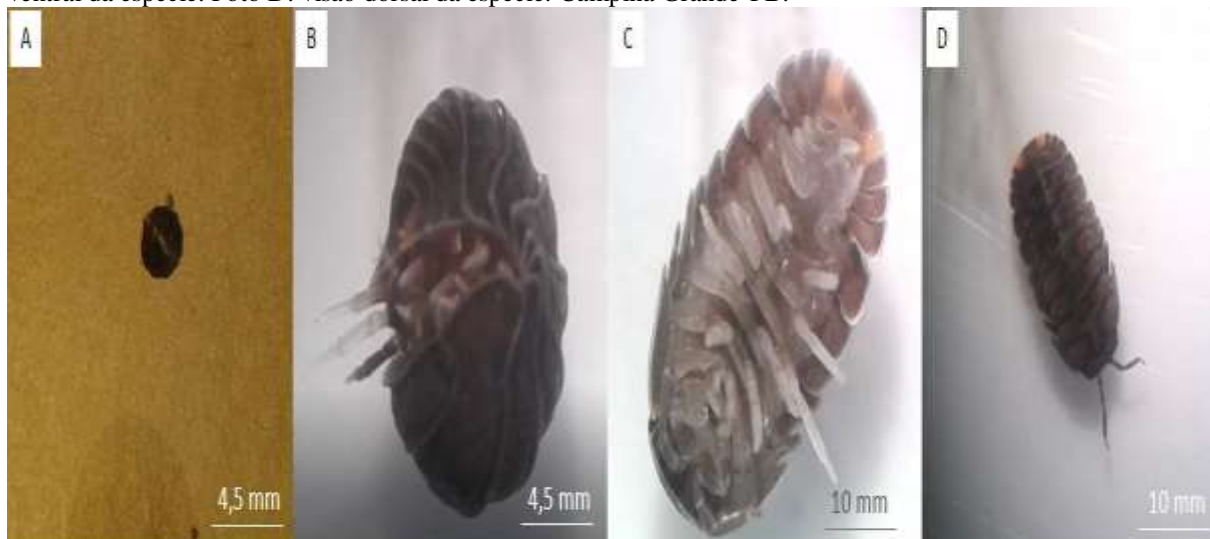
Segundo Barreta *et al.* (2011) as aranhas participam do processo de transferência de energia nas cadeias alimentares, pois alimentam-se de insetos, como, grilos, gafanhotos, besouros, dentre outros. Por meio da presença de espécies de aranhas nos ambientes, pode-se avaliar as modificações ambientais, devido sua elevada exigência em organismos específicos presentes no mesmo habitat.

5.6.1.6 Isopoda

Foram coletados no sistema de compostagem um percentual de 0,5% de indivíduos da espécie *Cubaris murina* Brandt, 1833 (Isopoda: Armadillidiidae). Estes crustáceos terrestres possuem o corpo achatado dorso-ventralmente e placas dorsais distintas, cinzas brilhantes, com manchas alaranjadas.

Os isópodes terrestres desenvolveram estratégias corporais que estão relacionadas ao ambiente colonizado e ao comportamento do grupo (CORREIA; AQUINO; MENEZES, 2008). Entre as estratégias, destacam-se aquelas que apresentam corpo com seção transversal semicircular, fazendo-os enrolar em forma de esfera. Os isópodes são conhecidos como tatu-de jardim ou tatu-bola. Este comportamento de enrolar foi observado durante a análise laboratorial, em sinal de defesa. Os indivíduos da espécie *Cubaris murina* foram observados apenas na forma adulta (Figura 52).

Figura 52. Indivíduos de *Cubaris murina* observados no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB. Foto A e B: o adulto mostrando sua capacidade volvocional. Foto C: visão ventral da espécie. Foto D: visão dorsal da espécie. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Os isópodes foram observados apenas no final da fase de estabilização, quando a matéria orgânica estava estabilizada. Comumente estão adaptados às condições da fase mesófila, sendo considerados decompositores primários. De acordo com Beauché e Richard (2013) os isópodes preferem iluminação amena, temperaturas entre 20 e 25°C, teor de umidade entre 50 e 60% e matéria vegetal em decomposição.

Possivelmente, às condições do material final tenham sido mais favoráveis para o estabelecimento da espécie no sistema de compostagem, embora, em pequena abundância.

Isópodes também são conhecidos por serem detritívoros, atuando na quebra da matéria vegetal em decomposição em pedaços menores, promovendo a fragmentação e facilitando a atividade de bactérias e fungos (CORREIA; AQUINO; MENEZES, 2008).

Ao contrário da família Gryllidae (Ordem Orthoptera) a privação de alimento não é impedimento para a taxa de sobrevivência de *Cubaris murina* no sistema. Em experimento, Le Clec'h *et al.* (2013) identificaram que mesmo com a privação de alimentos durante um período de três meses, isópodes terrestres conseguiram sobreviver em condições laboratoriais.

Pesquisa sugere que a dieta do táxon também é resultado da autocoprofagia, quando o indivíduo se alimenta das próprias fezes que circulam microrganismos e nutrientes que não foram totalmente processados inicialmente (BEAUCHÉ; RICHARD, 2013), processo importante para regular as bactérias intestinais.

De acordo com Correia (2002) alguns artrópodes têm a capacidade de digerir parte da biomassa microbiana ou desenvolver interações mutualísticas nos seus excrementos. Nessas

estruturas, os recursos orgânicos que foram fragmentados e umedecidos durante a passagem pelo tubo digestivo, são ativamente digeridos pela microflora. Após alguns dias de incubação, as espécimes frequentemente ingerem novamente estes excrementos e absorvem os compostos orgânicos assimiláveis que foram disponibilizados pela atividade microbiana, e ocasionalmente parte da biomassa microbiana.

Outro estudo aponta que durante interações sociais, isópodes podem praticar canibalismo de indivíduos mais fracos ou predação de outras espécies durante a muda (LE CLEC'H *et al.*, 2013). Dessa forma, entende-se que a pouca quantidade de alimento não foi impedimento para a sobrevivência da espécie no sistema, revelando um maior sucesso populacional quando comparado a família Gryllidae, que foi observada durante o mesmo período de tempo. Além disso, o táxon é fundamental na alimentação de materiais mais recalcitrantes como lignocelulose.

A presença de isópodes no sistema de compostagem é fundamental, pois esses organismos são usados em estudos ecotoxicológicos, por serem sensíveis a diferentes metais pesados e apresentarem bioacumulação (CORREIA; AQUINO; MENEZES, 2008). Isópodes acumulam cobre (Cu), zinco (Zn), chumbo (Pb) e cádmio (Cd) em células especializadas do hepatopâncreas, onde ficam insolúveis e separados do metabolismo celular (PROSI; STORCH; JANSSEN, 1983). O cobre atua em diversos processos fisiológicos nos isópodes terrestres, como respiração, sistema imune e processos digestivos, mas em altas concentrações podem interferir na sobrevivência (QUADROS, 2010).

Quando as concentrações atingem os limites suportados, ocorre danificação das células B e S do hepatopâncreas, diminuindo a capacidade de absorção de alimento, promovendo retardo no crescimento e causando a morte do indivíduo (ZNIDARSIC; ŠTRUS; DROBNE, 2003).

Como os isópodes toleram altas concentrações de metais pesados, se comparado com outros representantes da macrofauna, a ausência local de suas populações pode indicar que a contaminação atingiu níveis críticos, não só aos isópodes, mas para a fauna em geral. Entende-se que o comportamento de fuga pode ser indicador sensível de contaminação química da massa do substrato, para evitar que efeitos letais ou subletais ocorram (QUADROS, 2010). Dessa forma, a prevalência de indivíduos da ordem Isopoda no sistema de compostagem indica a não contaminação por metais pesados. Desta forma, pode caracterizar os isópodes como bioindicadores de metais pesados do substrato.

5.6.1.7 Hemiptera

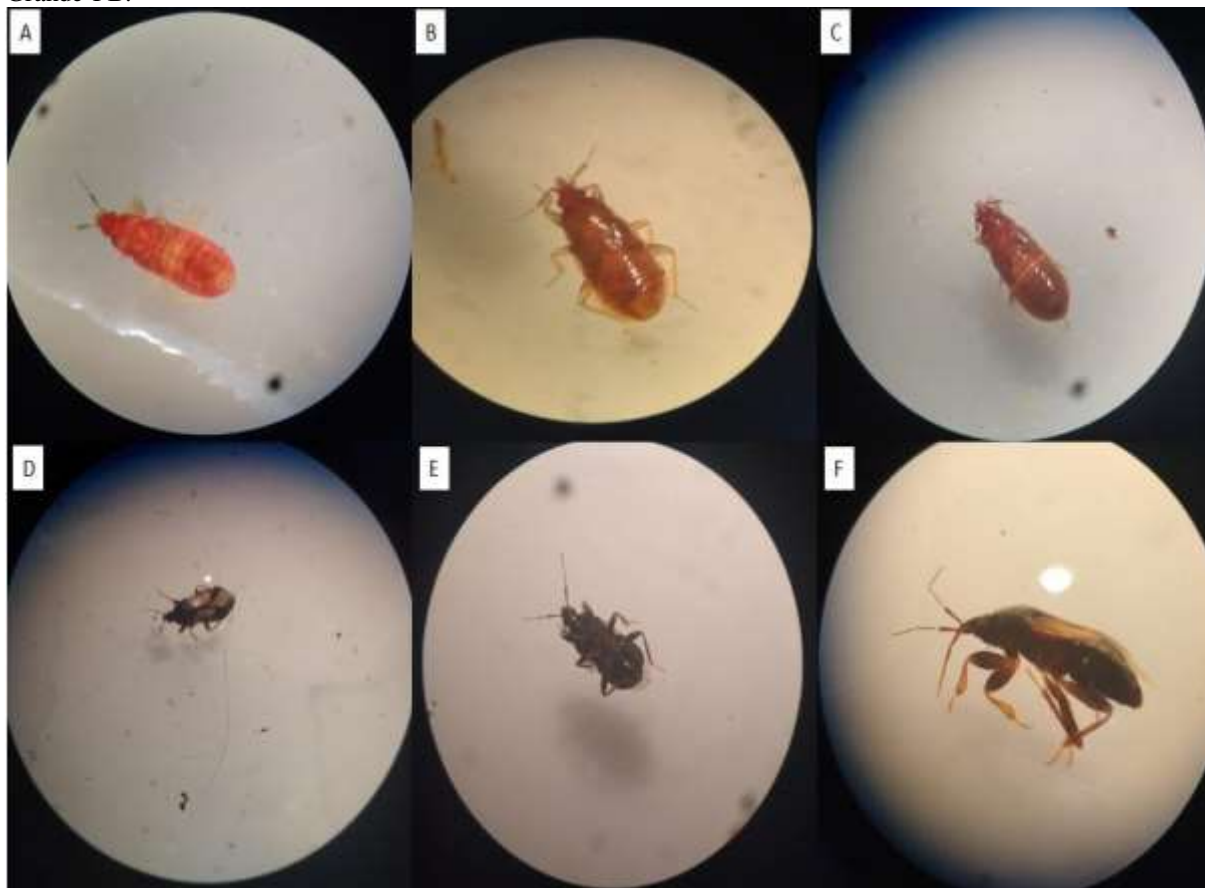
Orius insidiosus (Say, 1832) é um percevejo predador generalista, com capacidade de se alimentar de uma ampla diversidade de organismos, como ácaros, tripes, afídeos, larvas de moscas e ovos de borboletas (LATTIN, 1999). Esses percevejos tem excelente comportamento de busca e são capazes de se multiplicar rapidamente em ambientes favoráveis e, em situações com escassez de presas, pode se adaptar e consumir fontes alternativas de alimenta como seiva vascular e pólen (MENDES; BUENO; CARVALHO, 2005). Em ausência de presas, podem assumir comportamento canibal (REZENDE, 1990).

A espécie *Orius insidiosus* apareceu no sistema de compostagem de resíduos sólidos orgânicos entre os 26 e 47^a dias. O período de crescimento do ovo até o estágio adulto no sistema de compostagem foi de aproximadamente três semanas, concordando com o tempo para o desenvolvimento completo dos indivíduos, sugerido por Lattin (1999). A espécie foi observada em todos os sistemas de compostagem na frequência relativa de 1,2% (N= 29). Nessa fase, os sistemas estavam entre os estágios de semi-cura e estabilização. Dessa forma, entende-se que o percevejo tenha faixa de tolerância para ambientes com temperaturas baixas e pH alcalino.

Não foram observados a espécie na fase de ovo no sistema de compostagem, mas foram coletados indivíduos nos estágios de ninfas e adultos. As ninfas são indivíduos pequenos (aproximadamente 2 mm), com formato do corpo semelhante ao adulto e com coloração amarelo-alaranjado brilhante. Os segmentos abdominais e as asas foram ficando perceptíveis entre terceiro e quarto instares. As ninfas eram bastantes ativas e foram encontradas em todos os estratos da leira.

À medida que os indivíduos foram passando de instares, a coloração foi progressivamente escurecendo (Figura 53). De acordo com Mendes, Bueno e Carvalho (2005) às diferenças de temperaturas influenciam na coloração do corpo das ninfas, sendo coloração mais escuras quando as ninfas se desenvolvem em temperaturas mais baixas.

Figura 53. Ninfa e adulto de *Orius insidiosus*. Foto A: Ninfa de estágio 3. Foto B: Ninfa de estágio 4. Foto C: Ninfa de estágio 5. Foto D: Adulto, Vista dorsal. Foto E: Adulto, Vista ventral. Foto F: Adulto, Vista lateral. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

A espécie apresenta desenvolvimento rápido e capacidade de sobreviver em ambientes com condições adversas, mas sua população no sistema de compostagem foi baixa. Possivelmente, a permanência está relacionada ao seu nicho ecológico. Mendes, Bueno e Carvalho (2005) também sugerem que o índice de mortalidade no 5º instar ocorre com maior intensidade durante a última ecdise para fase adulta.

A espécie declinou e desapareceu do sistema durante o mesmo período de prevalência e diminuição do número de ácaros no sistema. A redução de sua fonte de alimento pode ter contribuído para o desaparecimento da espécie no 47º dia.

Também observou que a temperatura exerceu grande influência no desenvolvimento da espécie. *Orius insidiosus* foi observado apenas quando a temperatura reduziu, chegando aos valores entre 22 e 33 °C, sugerindo ser a faixa adequada de temperatura para seu desenvolvimento.

Em valores de temperatura elevadas, o período de desenvolvimento e a taxa de sobrevivência do inseto torna-se mais curto, provavelmente, em virtude da fragilidade do corpo

e justifica a abundância baixa nas. Esses valores também foram notados na pesquisa de Mendes, Bueno e Carvalho (2005) e Chandish, Tripti e Sunil (2017). Mendes *et al.* (2003) também sugerem que o tipo e a quantidade de alimento podem interferir em vários aspectos biológicos desse predador, como sobrevivência, longevidade, fecundidade e viabilidade dos ovos, podendo inclusive levá-lo a não completar o desenvolvimento.

Os adultos são poucos maiores que as ninfas (cerca de 3 mm), ovais e com coloração preta com manchas brancas. Os adultos têm estilete bastante alongada, utilizada para perfurar o corpo das presas. De acordo com Bueno (2009) uma vez inserido o estilete, o consumo acontece até que a presa não tenha reserva nutricional para o predador. Logo após a predação, os predadores limpam seus estiletos e as antenas com o auxílio das pernas protorácicas.

Segundo Bueno (2009) todos os estágios ninfais são predadores, mas os adultos são considerados agentes de controle biológicos. De acordo com Mendes *et al.* (2003) a espécie percebe suas presas pelo olfato e tato, sendo a antena a região mais sensível do corpo.

Em pesquisa com espécies de *Orius* sp. Cuthbertson, Blackburn e Audsley (2014) identificaram a capacidade do táxon de reduzir a população de *Drosophila* sp. atingindo diferentes fases do ciclo de vida da mosca.

5.6.1.8 Dermaptera

A família Anisolabididae foi observada apenas na fase de estabilização no sistema CCR, correspondendo à 0,2% (N = 4) dos indivíduos coletados. Foram coletados apenas na fase adulta (Figura 54). Não foram observados nos demais sistemas, em virtude do material da composteira, a entrada e o maior contato com o solo e/ou a presença de insetos como fonte de alimentos.

A espécie é marrom escuro, com aproximadamente 5 mm de comprimento. Não apresenta asas e suas pernas têm coloração marrom claro com faixas escuras perceptível no fêmur e tíbia.

Figura 54. Macho da família Anisolabididae. Foto A: Vista dorsal. Foto B: Vista ventral.



Fonte: autoria própria

5.6.1.9 Mesostigmata

A atividade dos ácaros é pouco abordada durante o processo de compostagem e poucas pesquisas discutem o assunto (ARAÚJO, 2019; SILVA, 2021), no entanto, foi observado uma grande concentração de ácaros no sistema de compostagem da presente pesquisa.

Os táxons observados foram da família Parasitidae e a família Macrochelidae. Estes estavam presentes entre o final da fase termófila até o início da fase de estabilização do sistema. Os ácaros estavam em todas as composteiras, em concentrações diferentes, sendo a família Parasitidae com frequência relativa de 14,1% e a família Macrochelidae com a frequência de 12,5%.

Também observou-se uma pequena diferença no período de tempo em que as famílias foram coletadas nos sistemas de compostagem, sendo os ácaros da família Parasitidae encontrados entre os 12 e 61^a dias e da família Macrochelidae entre 16 e 51^a dias. Embora seja uma diferenciação sutil, entende-se que há uma taxa de tolerância aos fatores físicos e químicos entre as famílias (Figura 55 e 56).

Figura 55. Ácaros da família Macrochelidae analisados em microscópio estereomicroscópio. Campina Grande-PB



Fonte: autoria própria

Figura 56. Ácaros da família Parasitidae analisados em microscópio estereomicroscópio. Em destaque, ácaros de diferentes tamanhos sob um graveto. Campina Grande-PB



Fonte: autoria própria

Os ácaros foram observados em diferentes instares no sistema de compostagem, mas seu tamanho diminuto e a falta de caracteres morfológicos dificultaram a identificação a nível de espécie. A maior parte dos ácaros encontrada foi visível a olho nu, embora alguns necessitam de auxílio de microscópio estereomicroscópio, conforme figura 57.

Figura 57. Em destaque, diferentes tamanhos de ácaros sobre graveto de madeira, analisado em microscópio estereomicroscópio.



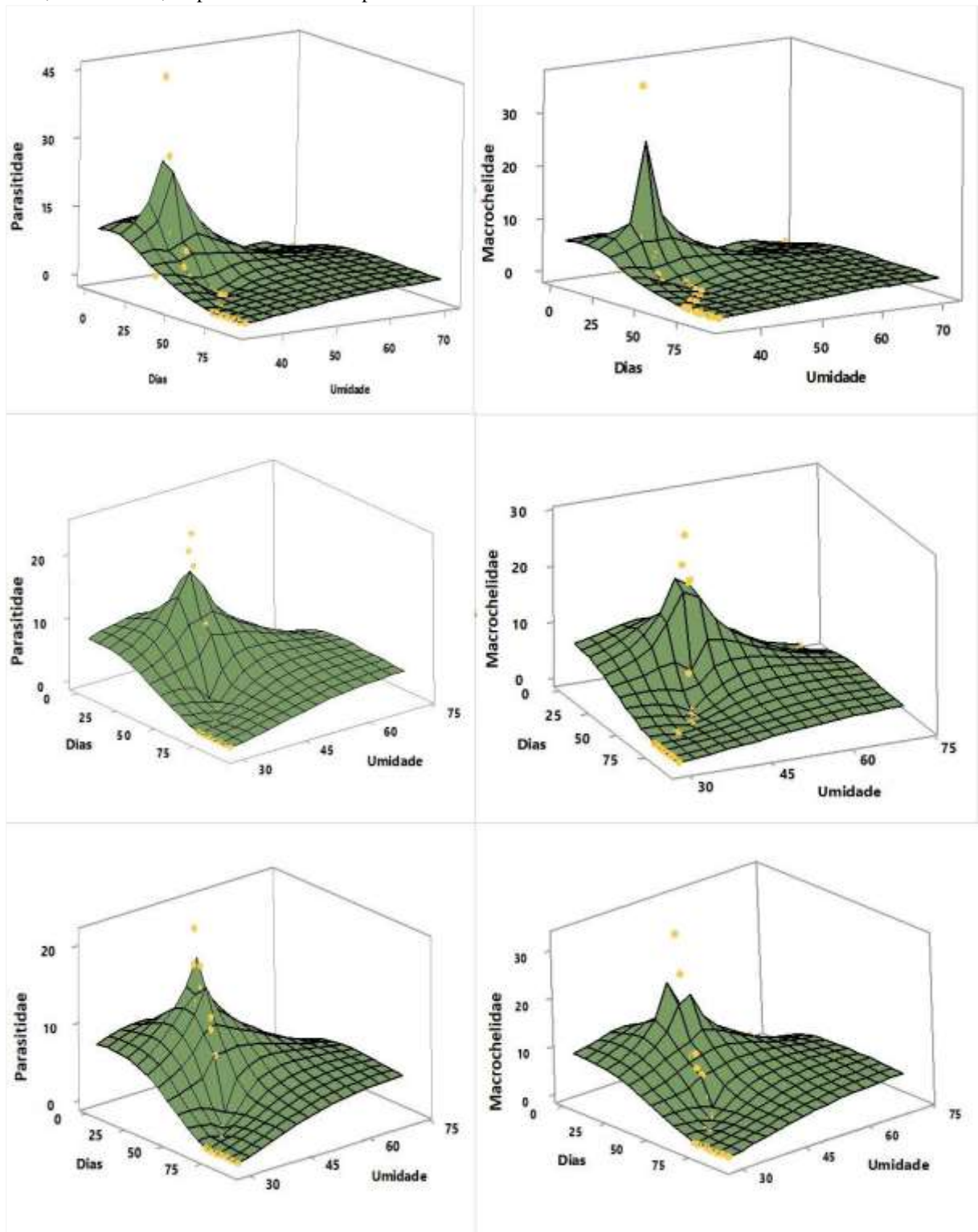
Fonte: autoria própria

As análises laboratoriais e observacionais mostraram, em todos os sistemas, que ocorreu significativa incidência de ácaros quando o teor de umidade estava aproximadamente entre 45 e 55%. Isso ocorreu aproximadamente entre o final da fase termófila e a fase de semi-cura. À medida que os sistemas foram avançando, os ácaros não foram mais visualizados no sistema.

Observa-se que em todos os sistemas, ambas as famílias Parasitidae e Macrochelidae apresentam comportamento semelhante, em relação ao teor de umidade. Nota-se que tanto o material experimental na fase inicial (material instável e alto teor de umidade), quanto na fase de semi-cura, não tem-se ácaros na massa dos substratos. Isso é muito importante, pois deixa evidente os limites de tolerância ao parâmetro teor de umidade no sistema. Ou seja, quando o sistema está acima de 55% ou abaixo de 45%, não é visualizado ácaros sobre a massa de substrato. Pode-se indica-los como bioindicadores do teor de umidade.

A figura 58 apresenta os gráficos de superfície que determinam os valores de respostas dos ácaros em relação ao teor de umidade e que justificam este comportamento.

Figura 58. Gráficos de superfície dos ácaros da família Parasitidae e Macrochelidae no sistema de compostagem CCR, CAR e CPC, respectivamente. Campina Grande-PB.

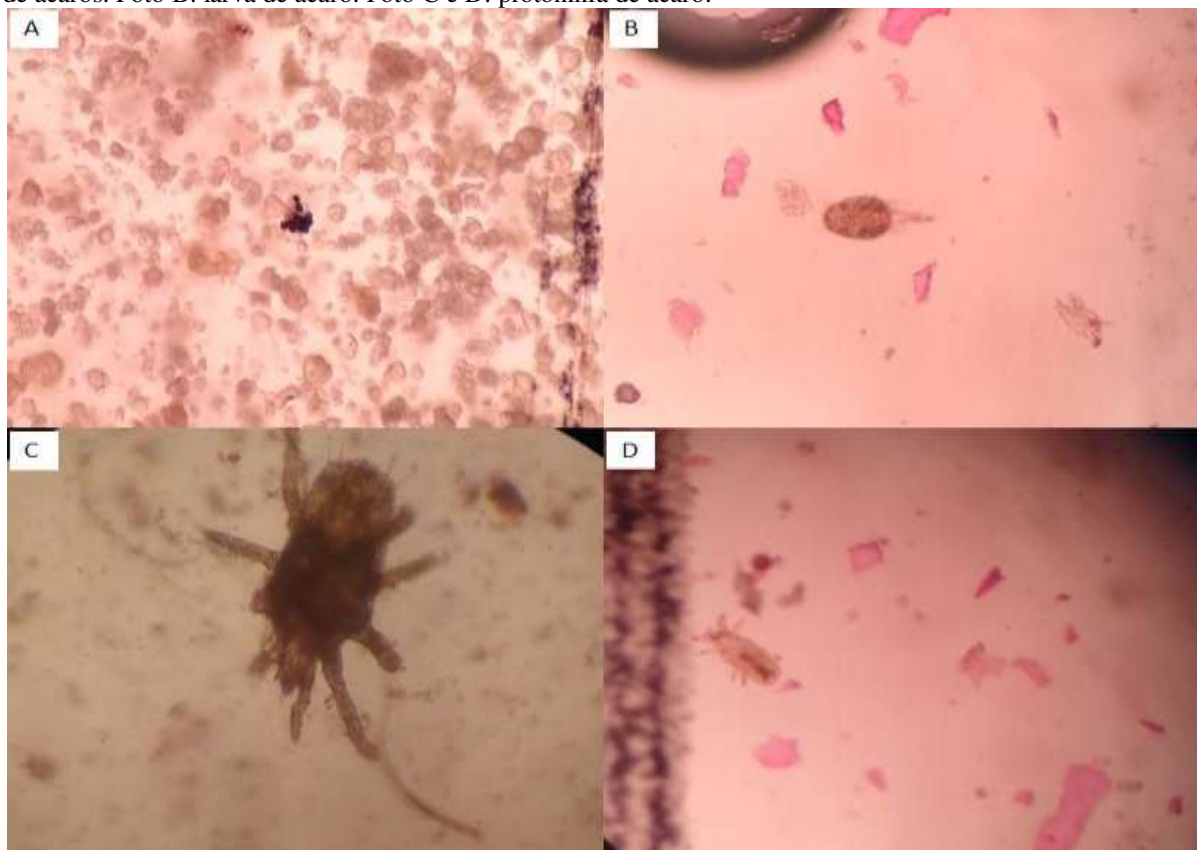


Fonte: autoria própria

Ao longo das análises de ovos de helmintos por meio da técnica de coloração rápida e utilizando solução de safranina a 0,1%, também foi possível observar ovos, larvas e protoninfas

de ácaros nas amostras utilizadas, verificando o desenvolvimento e crescimento desses organismos no sistema de compostagem (Figura 59).

Figura 59. Formas imaturas de ácaros nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Objetiva de 40x. Foto A: ovos de ácaros. Foto B: larva de ácaro. Foto C e D: protoninfa de ácaro.



Fonte: autoria própria

Embora a temperatura tenha sido superior ao recomendado por Gorji, Fathipour e Kamal (2009) de até 35 °C para a resposta funcional, o desenvolvimento e a interação com outras espécies, os resultados mostram que os ácaros do sistema de compostagem da presente pesquisa foram observados em níveis de temperatura entre 24 e 49 °C.

O mesmo não aconteceu ao teor de umidade e pH, verificando uma tolerância menor para esses parâmetros. Para umidade, observou que os ácaros apresentam uma tolerância entre 55 e 40%, enquanto que para o pH prevaleceram entre 9,0 e 8,4 (alcalino). Esse resultado é bastante importante, pois entende-se que não foram encontrados ácaros em teores de umidade abaixo de 40% ou acima 55%, indicando que o teor de umidade é o responsável pelo controle do táxon no sistema. Isso também foi observado com pH, no qual condições favoráveis para o desenvolvimento de ácaros ocorreram apenas quando o substrato encontrava-se alcalino.

Valores fora da faixa de tolerância para o desenvolvimento do ácaro promove comportamento forético¹¹. Alguns estudos sustentam a hipótese de que este comportamento em indivíduos da família Macrochelidae está intimamente relacionado ao estágio de decomposição da matéria, temperatura e umidade relativa (JALIL; RODRIGUEZ, 1970; FARISH; AXTELL, 1971). De acordo com Farish e Axtell (1971), o estágio de decomposição do substrato interfere no teor de umidade. Quando o teor de umidade baixa em níveis temperaturas crescentes, o substrato torna-se progressivamente inadequado para o desenvolvimento do ácaro.

A associação de ácaros mesostigmatídeos com outros artrópodes, principalmente com insetos, indica um processo evolutivo com o desenvolvimento de uma ampla gama de mecanismos de fixação que facilitam a dispersão forética dos ácaros. No entendimento de Hunter e Rosario (1988) a forésia é geralmente necessária para espécies de ácaros especializados em viver em habitats irregulares, que se tornam periodicamente inadequados para sua sobrevivência, como no caso de excrementos de animais, resíduos sólidos orgânicos ou cadáveres de animais em decomposição.

Fêmeas de ácaros mesostigmatídeos acasaladas são os dispersores usuais, ligando-se aos insetos quando o habitat se torna desfavorável e se separando quando os insetos visitam um novo habitat adequado para alimentação ou oviposição do ácaro (FARISH; AXTELL, 1971).

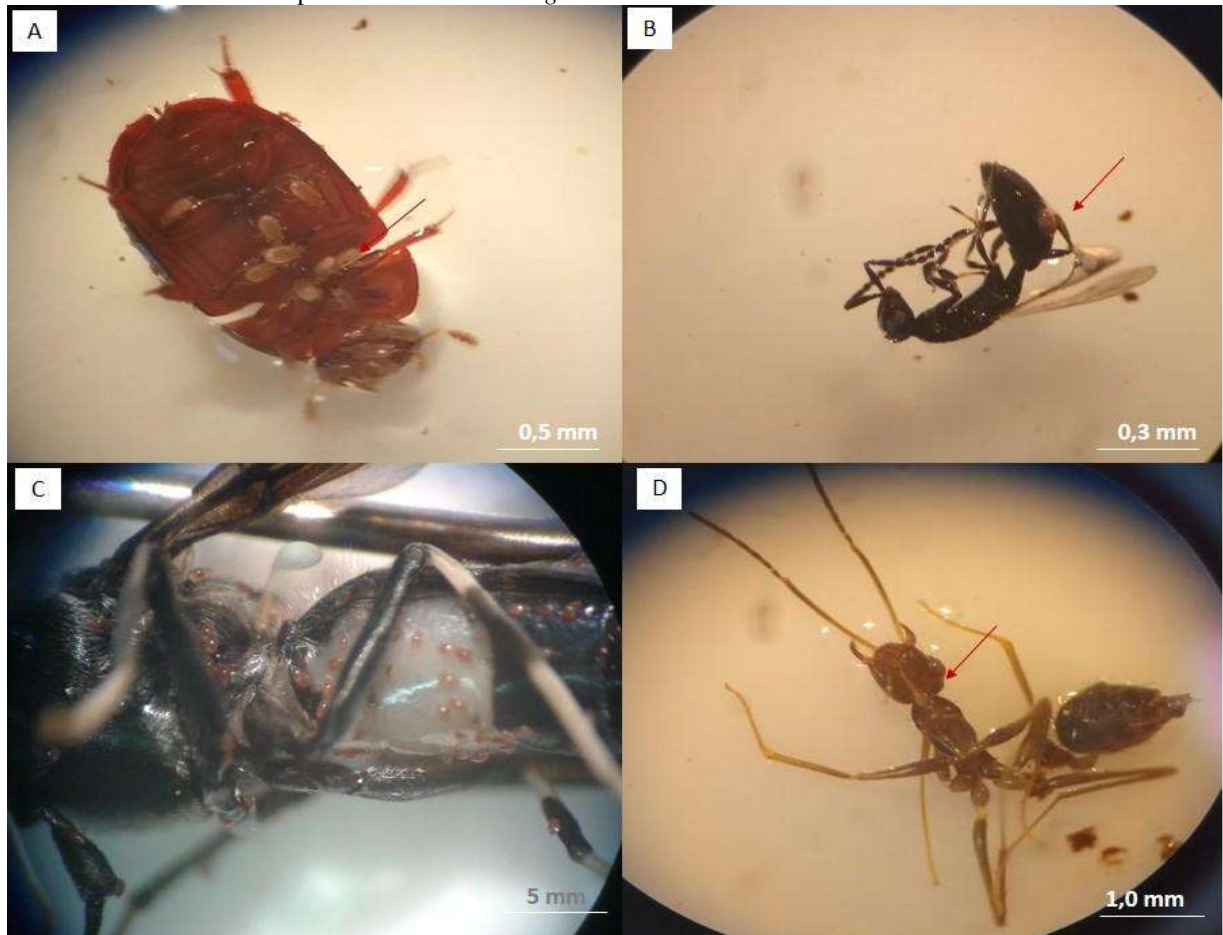
Krantz (1998) considera a forésia, como mecanismo de sobrevivência, devido ao desenvolvimento de estruturas especiais para agarrar uma cerda individual de seu besouro ou mosca portadora e garantir sua transferência bem-sucedida para novos habitats. De acordo com Hunter e Rosario (1988) os ácaros da ordem Mesostigmata têm um conjunto de dente bidentado subterminal localizado na borda interna do dedo quelíceros móvel e uma sessão oposta com nervuras da borda interna do dedo fixo. Essa estrutura é utilizada para agarrar as cerdas da presa como forma de dispersão.

Rodrigueiro e Prado (2004) apontam que o reconhecimento do hospedeiro ideal é fundamental para o transporte em um local novo e é frequentemente, baseado em estímulos químicos ou olfativos produzidos pelo hospedeiro.

Os ácaros foram observados em associação com vários mesoinvertebrados do sistema, a exemplo das larvas e adultos de *Musca domestica* (Muscidae) e *Hermetia illucens* (Família Stratiomyidae), *Spalangia* sp. (Família Pteromalidae), *Paratrechina longicornis* (Família Formicidae) e a família Phalacridae (Figura 60).

¹¹Forésia é uma relação ecológica interespecífica harmônica, no qual indivíduo é transportado por outro, alcançando áreas maiores do seu habitat, sem se prejudicarem.

Figura 60. Associação dos ácaros com os demais insetos no sistema de compostagem. Foto A: Ácaros no Coleóptero da família Phalacridae. Foto B: Ácaros sobre a *Spalangia* sp. Foto C: Ácaros na *Hermetia illucens*. Foto D: Ácaros sobre o corpo de *Paratrechina longicornis*.



Fonte: autoria própria

Segundo Silva (2021) os ácaros durante a fase de estabilização tem provável função de polimento da massa de substrato, pois eles degradam material semi-estável. Vieira (2008) cita que os ácaros contribuem para a formação da massa de substrato, alimentando-se de material orgânico grosseiro que, após sofrer ação de enzimas, será parcialmente excretado na forma de fezes. Estas são adicionadas na massa de substrato, podendo ser aproveitadas pelos demais organismos da cadeia alimentar, dando como produto final o húmus.

Azevedo (2017) aponta características fundamentais dos ácaros no controle biológico de dípteros, pois os ácaros têm preferência para habitar locais também preferidos pela mosca; apresentam comportamento forético na mosca e tem características biológicas que lhe permitem sobreviver em condições ambientais desfavoráveis.

Entende-se que os ácaros possuem a capacidade de predação, relação forética, polimento e controle biológico no sistema de compostagem.

A predação de ácaros da família Macrochelidae em *Musca domestica* foi relatado no trabalho de Jalil e Rodriguez (1970). De acordo com Shiralizadeh *et al.* (2021) estes ácaros são predadores de ovos e larvas de *Musca domestica*.

Gerson, Smiley e Ochoa (2003) concluíram que a habilidade da família Macrochelidae em trazer controle satisfatório de *Musca domestica* também depende da presença de presas alternativas, como outros ácaros, nematóides e larvas de outras moscas. Essa biodiversidade do sistema ajuda a manter a fecundidade e a longevidade do predador quando o número de *Musca domestica* diminui.

A partir dessas análises, fica claro que esse predador tem a capacidade de se alimentar de vários outros organismos além da *Musca domestica*, favorecendo o controle biológico e reduzindo a abundância de organismos transmissores de doenças continue o ciclo. Em estudo realizado com moscas das espécies *Stomoxys calcitrans*, *Musca domestica*, *Haematobia irritans* e *Bradysia matogrossensis*, Azevedo *et al.* (2018) apontaram que espécies da família Macrochelidae tem percentual significativo na oviposição e predação de presas dos dípteros. Azevedo (2017) destaca que os ácaros são conhecidos por se alimentarem de outras espécies de moscas, nematóides, colêmbolos e outros pequenos artrópodes.

Um aspecto importante que interfere na capacidade de predação refere-se à localização de suas presas no substrato, mostrando que algumas espécies predam sobre o substrato enquanto outras são capazes de encontrar larvas e pupas escondidas na massa (AZEVEDO, 2017).

5.6.1.10 Enterobacteriaceae e Parameciidae

As enterobactérias fazem parte do grupo de organismos que degradam a matéria orgânica e são importantes durante a compostagem. No entanto, as infecções por enterobactérias são consideradas de difícil tratamento clínico, pois são microrganismos que apresentam elevada resistência aos antibióticos utilizados na prática médica (GOMES *et al.* 2021b). Dessa forma, o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos é fundamental para eliminação desses microrganismos.

Em virtude das dificuldades de realização dessas análises e custos altos, foi realizada apenas a análise na amostra inicial, durante a fase termófila e no composto resultante. Os valores obtidos foram determinados a partir da média da triplicata.

Tanto nas amostras iniciais, quanto na fase de maiores níveis de temperatura, os resultados da família Enterobacteriaceae foram elevados, com Coliformes Totais (entre 27 e >1600 NMP org./100 mL), Coliformes Termotolerantes (>1600 NMP org./100 mL),

Escherichia coli (>1600 NMP org./100 mL) e Bactérias Heterotróficas (>5.700 UFC/mL) atingindo o grau máximo de contaminação para contagem de bactéria em 100% das amostras coletadas. Todas as amostras apresentaram resultados positivos para a presença de Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, *Escherichia coli* e Bactérias Heterotróficas.

No composto final não foram encontradas enterobactérias, atendendo às exigências estabelecidas pela Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009) e nº. 7 de 12 de abril de 2016 (BRASIL, 2016), constatando-se assim, que os sistemas estudados foram eficientes na sanitização dos resíduos orgânicos.

Os protozoários foram observados no substrato apenas durante a primeira análise da fase mesófila, ao promover a diluição do substrato em água destilada. Com a montagem do sistema, percebeu-se a diminuição de protozoários logo nos primeiros dias e, conseqüentemente, o aumento de bactérias. Possivelmente, o teor de umidade alto tenha contribuído para sua incidência.

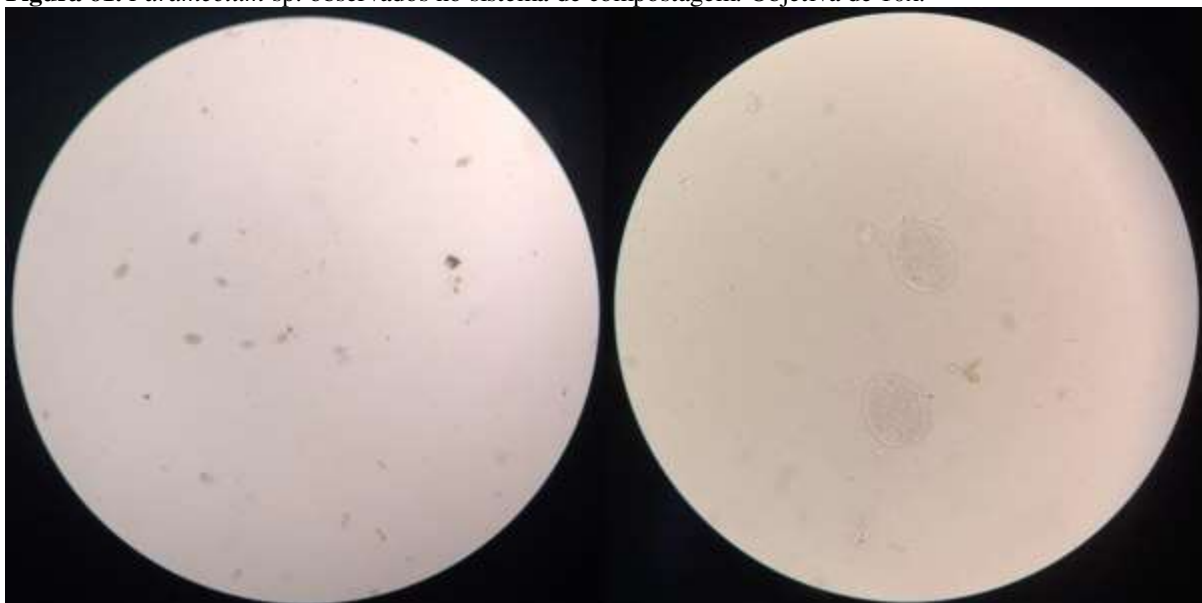
Os estudos de Carrington (2001), Metcalf e Eddy (2003), Kiehl (2012), Madigan *et al.* (2016) e Polprasert e Kootpep (2017), sugerem que os protozoários são encontrados nas porções úmidas do substrato, obtendo seu alimento da matéria orgânica, mas também atuam como consumidores secundários de bactérias, algas e fungos, inclusive organismos patogênicos, promovendo o controle biológico destes organismos no sistema de compostagem. Os protozoários participaram do processo de decomposição da matéria orgânica, contribuem com a cadeia alimentar e sucessão ecológica.

Polprasert e Kootpep (2017), citam que esses organismos apresentam uma faixa de tolerância de temperaturas baixas (25° e 30 °C). Dessa forma, acredita-se que os protozoários que as mudanças do meio foram desfavorável para sua permanência, não sendo observados logo poucos dias após a montagem das leiras.

Em sua ausência, há o aumento de bactérias que, conseqüentemente, fixam o nitrogênio, afetando a ciclagem do nitrogênio. Ao se alimentar de bactérias, os protozoários suprem a necessidade de nitrogênio e carbono necessário para suas necessidades, porém para regular a relação C/N, expelir o excesso do nitrogênio na forma de amônio (NH₄⁺) em virtude das características tóxicas ao metabolismo dos protozoários. Esse nitrogênio secretado será fundamental para garantir a relação C/N no composto (LAVELLE, 1996).

Observou-se apenas indivíduos da família Parameciidae (*Paramecium* sp. Müller, 1773), conforme observado na Figura 61.

Figura 61. *Paramecium* sp. observados no sistema de compostagem. Objetiva de 10x.



Fonte: autoria própria

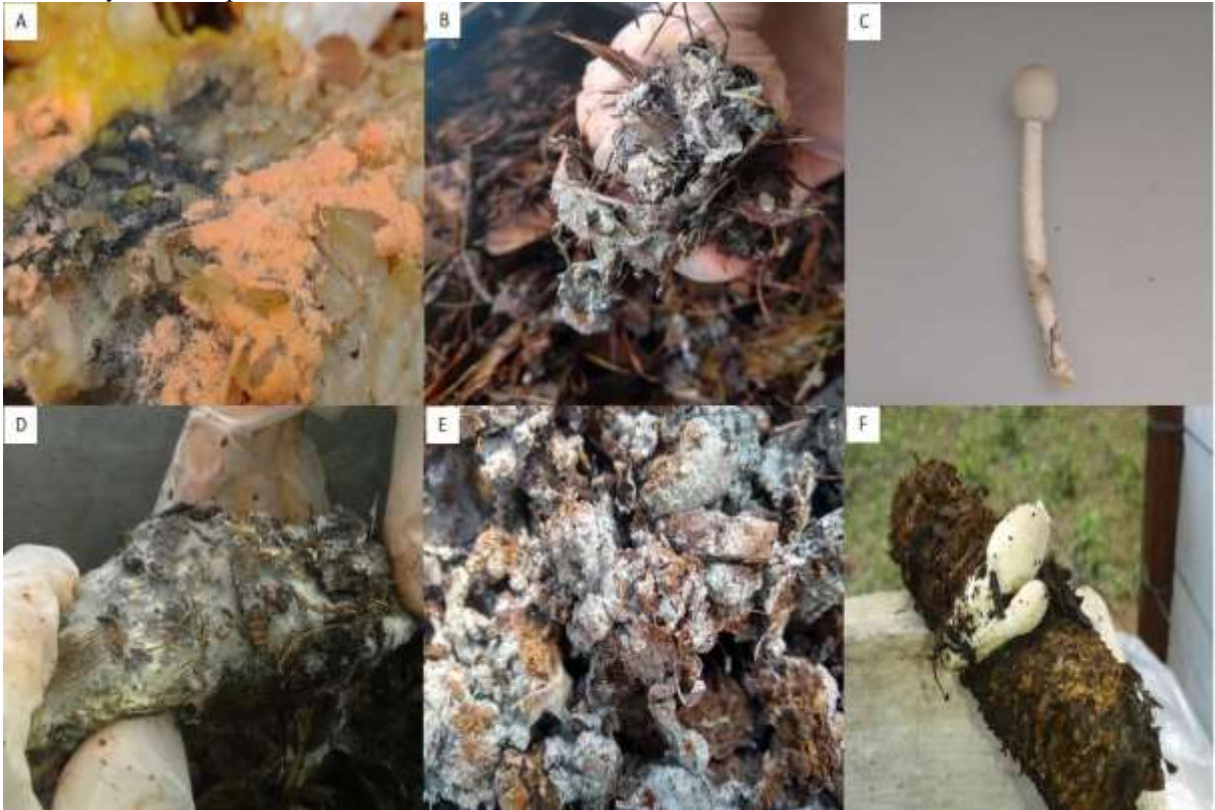
Paramecium sp. é um gênero de protozoários ciliados. Estes foram poucos representativos no sistema e não foram observados em outras fases. Provavelmente, torna-se necessário técnicas metodológicas mais aprofundadas para identificar e quantificar outros organismos.

5.6.1.11 Fungos e líquens

Embora não tenha sido possível o acompanhamento diário de fungos no sistema de compostagem e identificação a nível específico, em decorrência das dificuldades das análises laboratoriais, principalmente durante a pandemia da Covid-19, ainda foi possível observar fungos no sistema sobre a massa de substrato. De forma geral, os fungos foram importantes para decomposição da matéria orgânica complexa e foram observados a olho nu até a 8ª semana, sendo predominante durante a fase termófila.

Foram observados fungos na forma de bolor, principalmente do filo Ascomycota e fungos de corpos frutíferos do filo Basidiomycota (Figura 62).

Figura 62. Fungos observados no sistema de compostagem. Foto A, B, D e E: filo Ascomycota. Foto C e F: filo Basidiomycota. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

A presença de fungos na compostagem é um conhecimento bastante difundido na literatura, mas pesquisas sobre líquens ainda são pouco incipientes. No entanto, no presente estudo foi possível observar líquens frutíferos em pequenos galhos, gravetos, sementes e cascas, possivelmente, em virtude do teor de umidade e matéria orgânica (Figura 63).

Figura 63. Líquens observados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

De acordo Madigan *et al.* (2016) os líquens são formados pela associação mutualística de fungos, principalmente do filo Ascomycota com cianobactérias ou algas verdes. Em pesquisa realizada por Devi, Sharma e Singh (2012) foram registradas concentrações de algas na decomposição de resíduos de aves e palhas a partir da 8ª semanas de tratamento, seguindo do declínio durante a estabilização do material.

Os líquens também foram observados no trabalho de Araújo *et al.* (2019) para resíduos sólidos orgânicos, no entanto não se tem estudos mais aprofundados que estabeleçam essa relação.

Os líquens foram observados especialmente no final da fase de semi-cura, quando os níveis de temperatura estavam baixos e o de umidade ainda permaneciam >40%.

5.6.1.12 Concentração de ovos de helmintos para os diferentes tratamentos

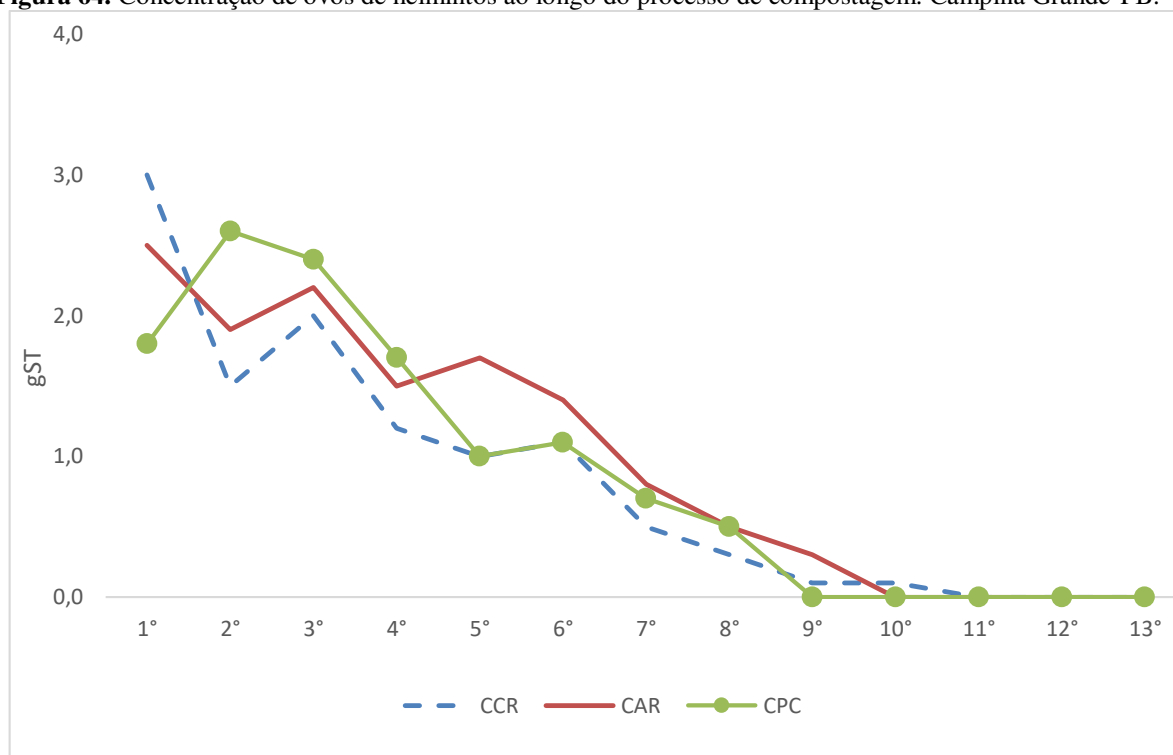
A recuperação, identificação e quantificação de ovos de helmintos durante processo de compostagem é uma importante estratégia para avaliar a qualidade sanitária da massa do substrato e indica a eficiência do procedimento na higienização do material, principalmente, porque esses grupos de organismos apresentam alto potencial de contaminação, resistência aos fatores ambientais e baixa dose infectante, como citam Carrington (2001); Russo (2003); Metcalf (2003); Kiehl (2012); Polprasert e Koottatep (2017); Silva (2021). Dessa forma, embora sejam organismos participantes no sistema de compostagem e alguns sejam eficientes na decomposição da matéria orgânica pré-digerida, a inativação e/ou destruição de ovos de helmintos durante a decomposição aeróbia dos resíduos sólidos orgânicos é fundamental para a eficiência do processo.

A concentração de ovos de helmintos inicial nos resíduos estudados foi 9,5 ovos/gST com viabilidade de 70,5%, indicando um resíduo sólido orgânico com elevada dose contaminante. Dias após a instalação do sistema, na primeira coleta, esse percentual caiu para 7,3 ovos/gST, reduzindo significativamente ao longo do processo chegando a produção de composto com 0,0 ovos/gST, expressando o alcance do objetivo do tratamento desses resíduos.

A partir da 8ª semana os ovos coletados apresentaram rompimento da membrana, indicando a inviabilidade dos organismos. A partir da 11ª semana já não tinha ovos de helmintos, comprovando a compostagem como técnica eficaz para a inativação e eliminação de ovos de helmintos. Todos os sistemas de compostagem foram efetivos no tratamento dos resíduos sólidos orgânicos. Ao longo das 11ª semana, foram coletados 33,4 ovos/gST, mas

segundo Neves (2016), apenas um ovo é suficiente para contaminar uma comunidade (Figura 64).

Figura 64. Concentração de ovos de helmintos ao longo do processo de compostagem. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Destaca-se que, em vários momentos, em todos os sistemas ocorreram picos e declínios na concentração de ovos de helmintos. Isso é resultado, possivelmente, da formação de bolotas da massa de substrato na base das composteiras que pode ter contribuído para que os ovos ficassem mais protegidos. Quando ocorria o reviramento manual das leiras, as bolotas iam se desmanchando, liberando os ovos para a massa de substrato, aumentando o percentual de ovos de helmintos nas amostras coletadas. De acordo com Silva (2021) esse ambiente é favorável para abrigo de organismos patogênicos.

A formação de chorume no início do sistema pode ter favorecido a formação das bolotas no sistema CAR e CPC, em virtude da granulometria fina da massa do substrato. Segundo Kiehl (2012) quanto mais fina a granulometria, maior será a área exposta para atividade microbiana, aumentando as reações bioquímicas, contudo, partículas muito finas podem provocar compactação excessiva, dificultando a aeração.

Nessa perspectiva, destaca a importância do reviramento da pilha de compostagem para mitigar a compactação da massa. A sequência seguida nesta pesquisa de três vezes na semana contribuiu para homogeneização da massa do substrato e redução do alto teor de umidade,

favorecendo a ação dos organismos autóctones. Embora, na base das composteiras não houve total inativação dos ovos de helmintos na fase termófila, necessitando atenção maior durante o reviramento para reduzir as bolotas.

O reviramento ao longo do experimento permitiu com que a massa compactada na base das composteiras fosse deslocada para superfície, desmanchando as bolotas, permitindo com que os ovos ficassem expostos às condições adversas sob a massa de substrato e favorecendo a higienização do substrato de forma homogênea. Isso pode ser comprovado, a partir do aumento constante de ovos de helmintos coletados nos sistemas logo após o reviramento da massa do substrato.

Nessa perspectiva, entende-se que a temperatura da pilha de compostagem é um fator que influencia na redução e destruição de ovos de helmintos no sistema de compostagem, mas não é o único parâmetro que necessita ser observado.

A redução do teor de umidade, o ambiente com concentração baixa de matéria orgânica, a estrutura de cada sistema de composteira, as relações ecológicas e as condições ambientais a que os helmintos estão submetidos, também mostraram-se serem condições desfavoráveis para ovos de helmintos.

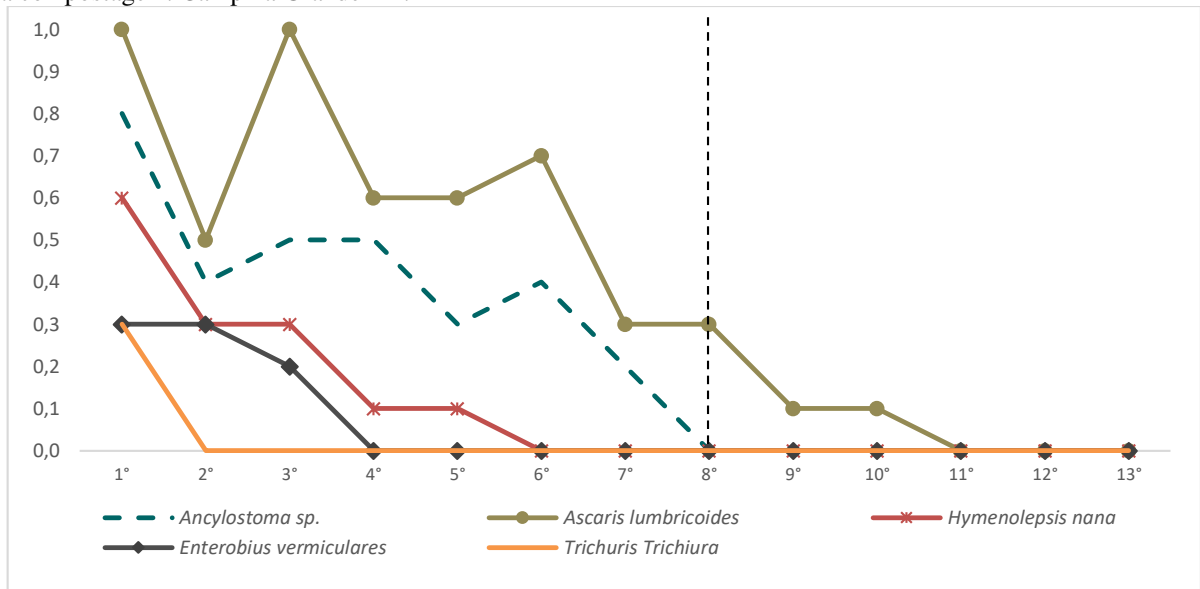
Além disso, a elevação do pH também pode ter favorecido na redução e inativação dos ovos de helmintos nos sistemas. Segundo Carrington (2001) a combinação de pH elevado e temperaturas alta destrói os ovos de *Ascaris lumbricoides*.

A incidência de ovos de helmintos após a fase termófila sugere que o pH atua sobre os ovos remanescentes. Com a redução das temperaturas, que é o principal parâmetro estudado para eliminação de ovos de helmintos, o pH alcalino pode atuar nesse viés, inativando e eliminando os ovos. Esse dado foi semelhante aos resultados de Feitosa (2019), Silva (2021) e Gomes (2022) que observaram ovos de helmintos remanescentes após a fase termófila, mas eliminação no composto final.

Destaca-se também que os nematódeos são prejudicados por fungos nematófagos que os utilizam como forma de nutrição. De acordo com Neves (2016) este fungos vivem na matéria orgânica, no qual desenvolvem relações parasíticas ou predatórias com os nematódeos.

O monitoramento semanal dos três tratamentos e suas repetições permitiram acompanhar a prevalência dos helmintos ao longo de todo o experimento. Observando o número de helmintos no sistema CCR, entende-se que a compostagem foi efetiva na eliminação total dos helmintos na 11^a semana. *Ascaris lumbricoides* foram os mais resistentes, seguido de *Ancylostoma* sp. (Figura 65).

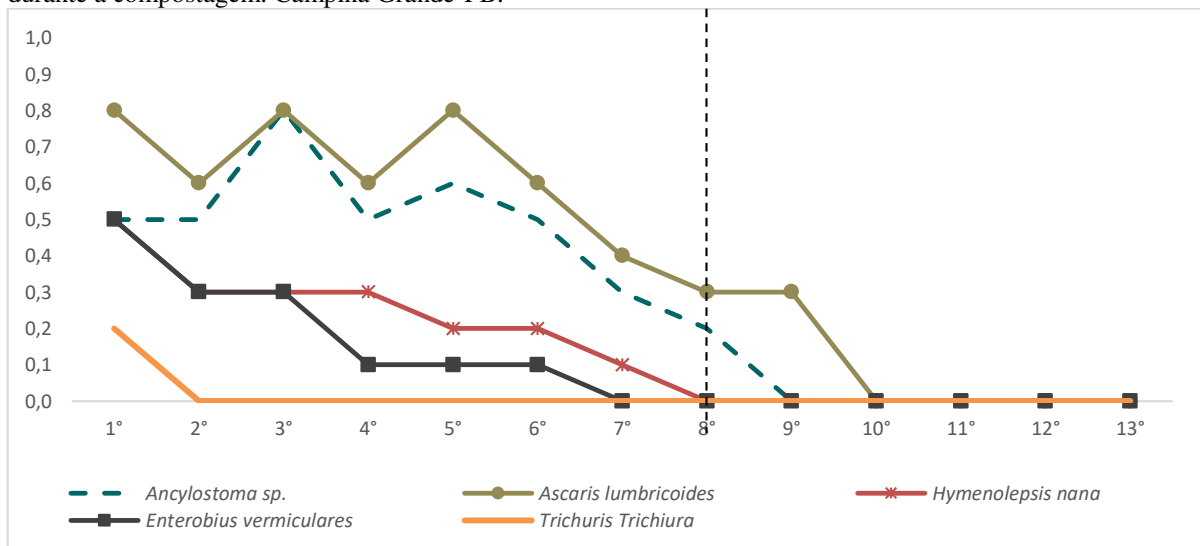
Figura 65. Valores médios de ovos de helmintos no sistema de composteira de concreto retangular (CCR) durante a compostagem. Campina Grande-PB.



Linha: período máximo de coleta de ovos de helmintos viáveis no sistema de compostagem. A partir desse momento, apenas foram coletados ovos inviáveis. Fonte: autoria própria

Embora tenha apresentado problemas estruturais na manivela das composteira, o que promoveu compactação da massa de substrato e geração de chorume no início do sistema, após superado os desafios, o sistema CAR também foi eficiente no tratamento dos resíduos sólidos orgânicos promovendo a eliminação do ovos de helmintos na 10ª semana do experimento. Assim como no sistema CCR, os parasitos mais abundantes no sistema CAR foram *Ascaris lumbricoides* e *Ancylostoma sp.* (Figura 66).

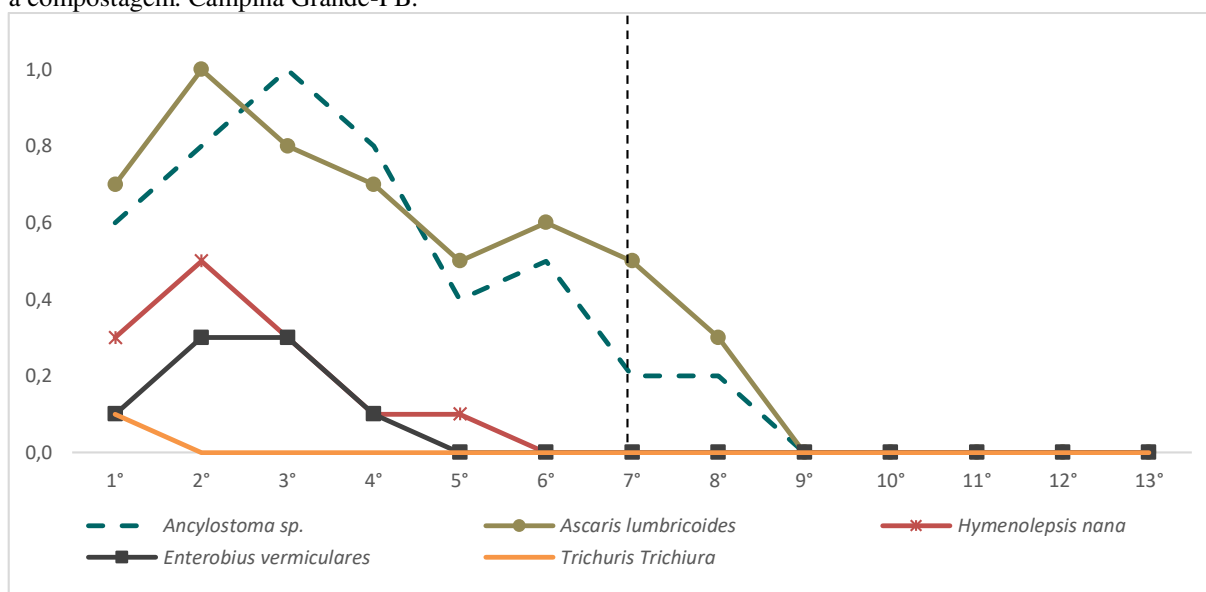
Figura 66. Valores médios de ovos de helmintos no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) durante a compostagem. Campina Grande-PB.



Linha: período máximo de coleta de ovos de helmintos viáveis no sistema de compostagem. A partir desse momento, apenas foram coletados ovos inviáveis. Fonte: autoria própria

Do mesmo modo que o sistema CAR, o sistema CPC também apresentou problemas estruturais de compactação e formação de chorume, dificultando o tratamento da massa de substrato no início do sistema. Mas, após os problemas serem contornados, o sistema foi eficaz em decompor a matéria orgânica, favorecendo a ação dos organismos aeróbios, ao mesmo tempo que criou condições desfavoráveis para os ovos de helmintos. Observou-se que o sistema foi o mais eficiente na inativação e eliminação dos ovos de helmintos e, conseqüentemente, na geração do composto orgânico higienizado, possivelmente, em virtude da sua estrutura. Os helmintos foram eliminados na 9ª semana (Figura 67).

Figura 67. Valores médios de ovos de helmintos no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC) durante a compostagem. Campina Grande-PB.



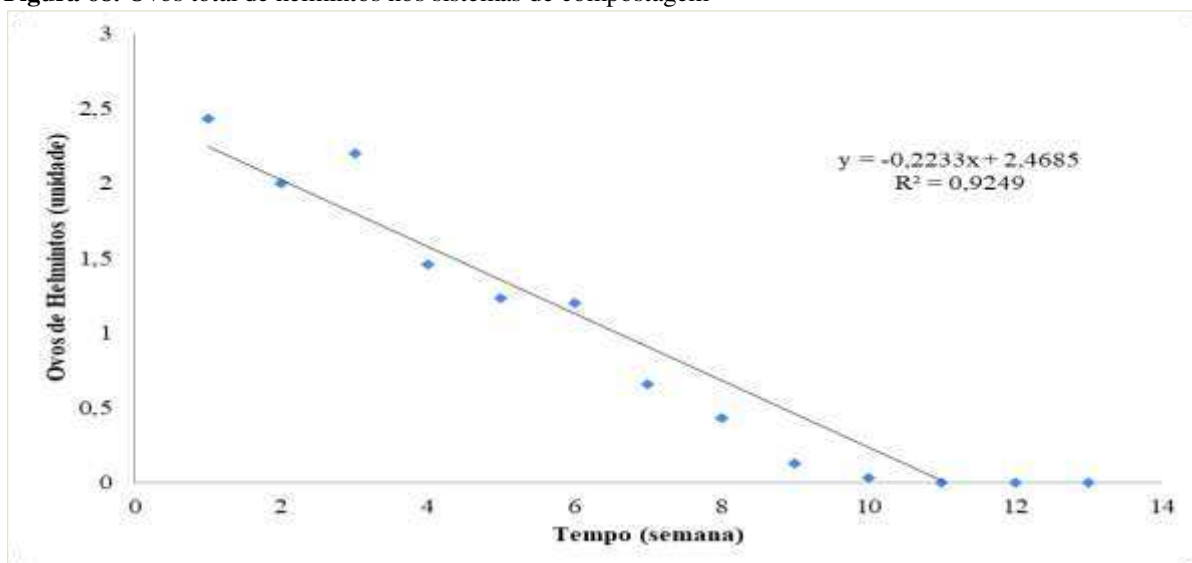
Linha: período máximo de coleta de ovos de helmintos viáveis no sistema de compostagem. A partir desse momento, apenas foram coletados ovos inviáveis. Fonte: autoria própria

A quantidade de ovos de helmintos identificada foi em média de 2,4 na primeira semana de análise do material, à medida que foi passando o tempo houve redução do número de ovos, sem obter nenhuma identificação na 11ª semana (Figura 68).

Notou-se que todos os sistemas promoveram a redução e eliminação dos ovos de helmintos no material estudado, embora, esse percentual tenha variado, de acordo com o material estrutural das composteiras. Isso ocorreu, pois mesmo sendo usado o mesmo resíduo sólido orgânico inicial coletado na fonte geradora para alimentar as composteiras (CCR; CAR; CPC) e suas repetições (R1; R2; R3), após instalação, cada sistema se comportou de forma diferente, tornando-se um ecossistema próprio. Os sistemas sofrem influências estruturais da

composteira e condições ambientais de forma diferente, apresentando parâmetros físicos, químicos e biológicos distintos.

Figura 68. Ovos total de helmintos nos sistemas de compostagem



Fonte: autoria própria

O tempo de permanência do material orgânico no sistema de compostagem foi estatisticamente significativo a nível de 1%, Tabela 11, com coeficiente de variação de 1,26 a 4,08%. Não sendo observado diferença estatística para o tipo de sistema de compostagem implantado em relação aos ovos helmintos identificados.

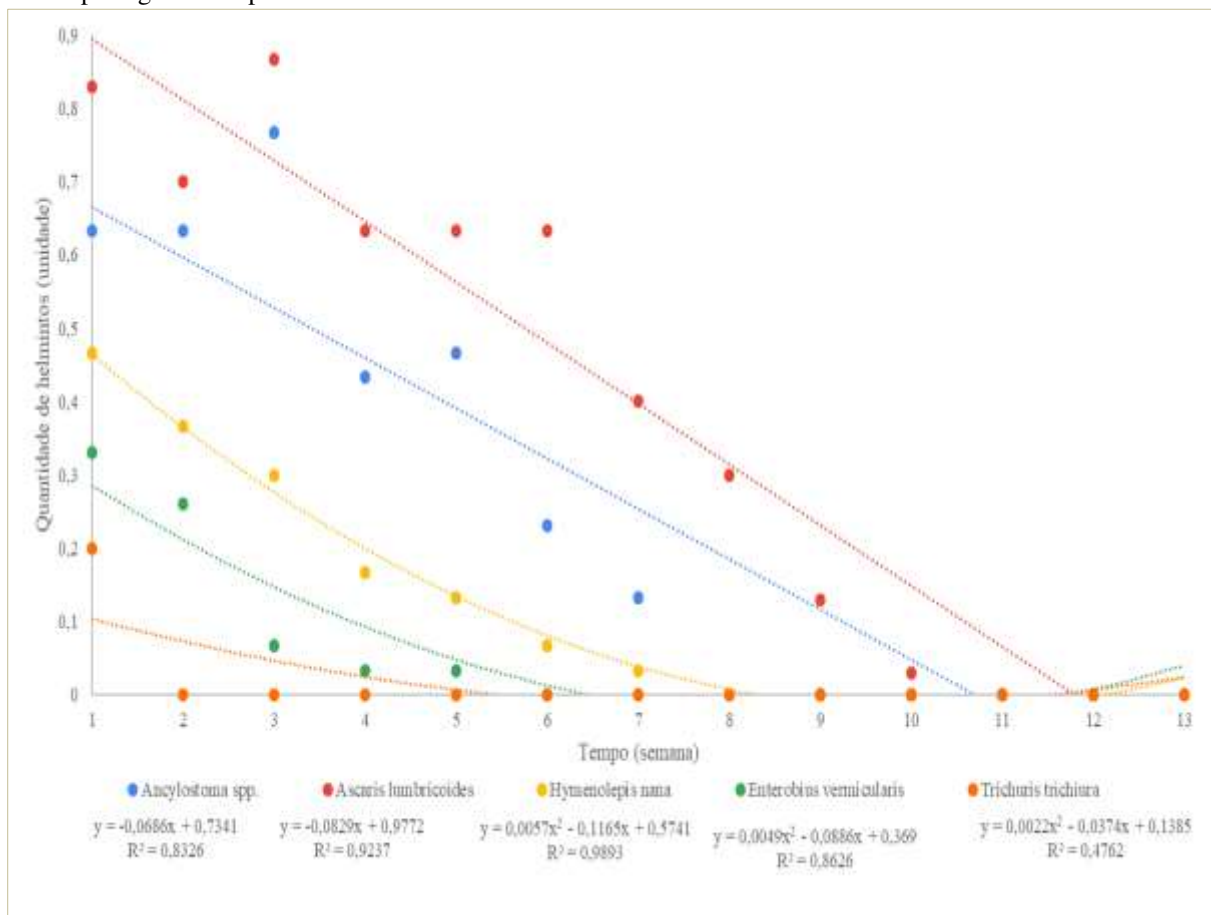
Tabela 11. Análise de variância da quantidade de helmintos identificados em material composto orgânico submetido a diferentes sistemas de compostagem e tempo.

Quadrado Médio 1						
Fator de variação	GL	Ancylostoma spp.	Ascaris lumbricoides	Hymenolepis nana	Enterobius vermicularis	Trichuris trichiura
Tipo de compostagem	2	0,0067 ^{ns}	0,00008 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,002 ^{ns}	0,00016 ^{ns}
Tempo (Semana)	12	0,049 ^{**}	0,061 ^{**}	0,016 ^{**}	0,0097 ^{**}	0,002 ^{**}
Regressão linear	1	0,53 ^{**}	0,68 ^{**}	0,15 ^{**}	0,08 ^{**}	0,005 ^{**}
Regressão quadrática	1	0,003 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,038 ^{**}	0,027 ^{**}	0,006 ^{**}
Desvio da Regressão	10	0,003 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	0,0013 ^{**}
Resíduo	24	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Coeficiente de Variação (%)		4,08	4,04	3,00	2,62	1,26

^{ns}: não significativo (P>0,05); *; significativo (P<0,05);**;significativo(P<0,01);1 Transformação Raiz quadrada de Y + 1.0 - SQRT (Y + 1.0)

Ao analisar a quantidade de cada helmintos identificados relacionados com o tempo que cada composto passou nos sistemas de tratamentos (Figura 69), verifica-se que com aumento do tempo de permanência houve redução na quantidade, em que com 11 semanas não foram identificados a presença de nenhum destes helmintos.

Figura 69. Quantidade de helmintos identificadas em material composto orgânico submetido a diferentes sistemas de compostagem e tempo.



Fonte: autoria própria

Na tabela 12, nota-se que o tipo de compostagem não teve efeito significativo estatisticamente em relação aos helmintos, enquanto que o tempo foi diferente estatisticamente a nível de 1%. Assim o uso de qualquer tipo de sistema de compostagem pode ser aplicado.

Tabela 12. Análise de variância da quantidade de ovos de helmintos encontradas em material composto orgânico submetido a diferentes sistemas de compostagem e tempo.

		Quadrado Médio 1
Fator de variação	GL	Ovos de Helmintos
Tipo de compostagem	2	0,01 ^{ns}
Tempo (Semana)	12	0,31 ^{**}
Regressão linear	1	3,55 ^{**}
Regressão quadrática	1	0,07 ^{**}
Desvio da Regressão	10	0,014 ^{ns}
Resíduo	24	0,013
Coeficiente de Variação (%)		6,25

^{ns}: não significativo (P>0,05); *: significativo (P<0,05); **: significativo (P<0,01); 1 Transformação Raiz quadrada de $Y + 1.0 - \text{SQRT} (Y + 1.0)$. Fonte: autoria própria.

Os ovos da família Ascarididae (*Ascaris lumbricoides*) foram encontrados na maior parte das amostras analisada, com porcentagem de viabilidade de 63%, o que reflete o parasitismo da população local.

Esta espécie de parasita é encontrada em quase todos os países do mundo e ocorre em frequência variada, decorrente das condições ambientais e sociais da região (SILVA *et al.*, 2020). Estima-se que 1,2 bilhões de pessoas no mundo estejam infectadas com *Ascaris lumbricoides* (WHO, 2021).

Ascaris lumbricoides apresenta uma membrana externa mamilonada formada por mucopolissacarídeos e proteínas; uma camada intermediária com proteína e quitina que confere estrutura e resistência mecânica e a camada interna delgada e impermeável, composta por lipídios e proteínas, protege o ovo da dessecação, ácidos e bases fortes, oxidantes, agentes redutores, detergentes, compostos proteolíticos e confere resistência às condições ambientais adversas (NEVES, 2016). De acordo com Feachem *et al.* (1983) a espécie é resistente aos fatores químicos e ambientais, que normalmente destroem bactérias e vírus.

Oh *et al.* (2016) analisaram os efeitos de desinfetantes comerciais no desenvolvimento embriogênico de ovos de *Ascaris* sp. A pesquisa demonstrou que o tratamento de ovos de *Ascaris* sp. com vários desinfetantes disponíveis comercialmente não afeta o período embrionário. Enquanto outros podem atrasar ou interromper o processo, mas dificilmente matam completamente.

Ascaris lumbricoides pode ser considerado indicador da qualidade ambiental, devido sua alta dose contaminante e sua capacidade de resistência aos fatores ambientais adversos, segundo Silva (2021). Dessa forma, sendo os ovos de *Ascaris lumbricoides* observados com

maior frequência e com o maior percentual de resistência aos fatores adversos do sistema de compostagem em estudo, pode-se considerar o helminto como indicador da qualidade sanitária dos resíduos sólidos orgânicos, pois se os ovos de *Ascaris lumbricoides* forem destruídos, possivelmente as demais espécies também estarão destruídas.

Apesar de *Trichuris trichiura* ser constituído de uma camada lipídica externa, uma camada quitinosa intermediária e uma camada vitelínica interna, conferindo-lhe resistência aos fatores ambientais adversos (NEVES, 2016), todos ovos coletados no sistema de compostagem estavam inviáveis. Sua presença foi observada apenas na primeira análise realizada.

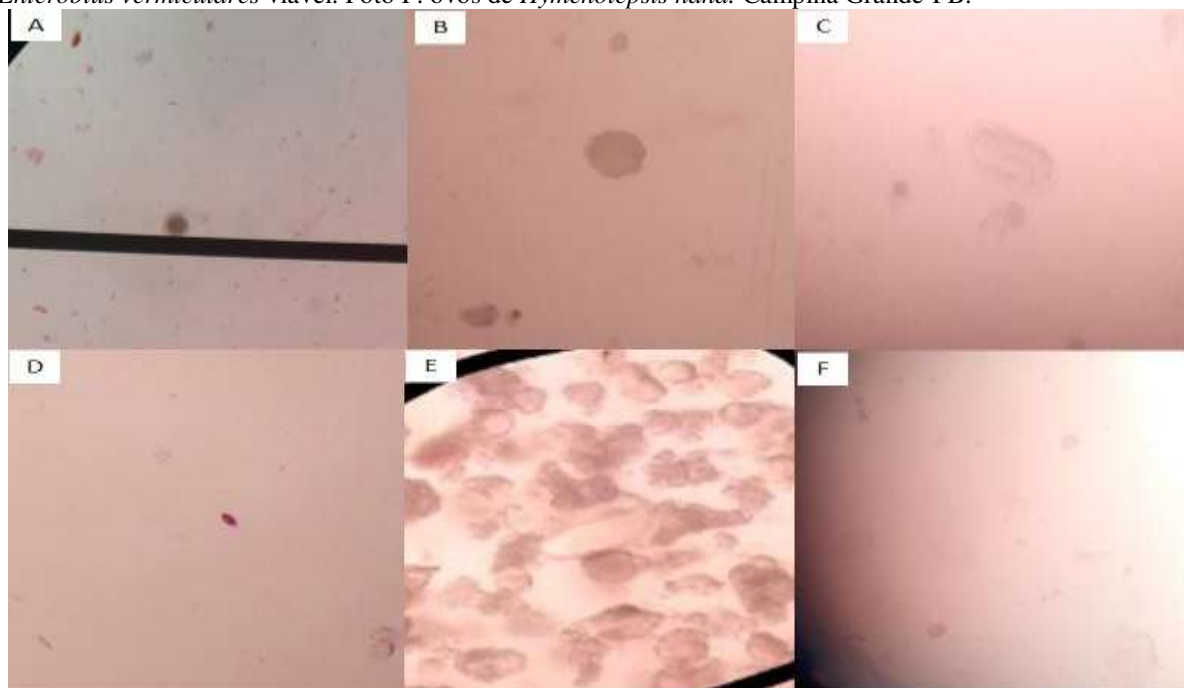
Segundo Neves (2016) os ovos de *Ancylostoma* sp. tem casca fina e simples, sendo destruídos em temperaturas superiores a 40°C. Enquanto que os *Enterobius vermiculares* tem cutícula extremamente distendida, tornando o rompimento mais facilitado, sendo inativados em teor de umidade baixa e temperatura > 22 °C.

Já os ovos de *Hymenolepis nana*, Feachem *et al.* (1983) citam que são transparentes, com membrana externa delgada e membrana interna. São destruídos em condições de baixa umidade e temperatura acima de 37 °C.

A ordem de destruição de ovos de helmintos durante o sistema de compostagem foi considerada como: *Enterobius vermiculares*, *Hymenolepis nana*, *Ancylostoma* sp. e *Ascaris lumbricoides*. Entende-se que os indivíduos coletados no sistema de *Trichuris trichiura* já estavam inativos.

Na figura 70 são apresentados os ovos de helmintos observados nas análises sanitárias dos resíduos sólidos orgânicos.

Figura 70. Ovos de helmintos observados no sistema de compostagem em objetiva de 40x. Foto A: ovo de *Ascaris lumbricoides* viável; Foto B: ovo de *Ascaris lumbricoides* viável com destaque na membrana mamilonada; Foto C: ovo de *Ancylostoma* sp. No centro destaca-se a larva. Foto D: ovo de *Trichuris trichiura* inviável. Foto E: *Enterobius vermicularis* viável. Foto F: ovos de *Hymenolepsis nana*. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Nos três sistemas observou-se o declínio acentuado de ovos de helmintos, seguido de aumento na segunda (CPC) e na terceira semana (CCR e CAR). Isso ocorre, devido ao reviramento constante da massa do substrato. Quando ocorre o reviramento, a massa de substrato que estava na base das leiras, é deslocada para cima, quebrando as bolotas de substrato e favorecendo que os ovos de helmintos sejam expostos às condições do meio, como incidência solar, ventos e predação por mesoinvertebrados. Processo observado ao longo de todo o experimento. Então, mesmo ocorrendo o declínio gradativo dos ovos, é justificável ocorrer picos de concentração em virtude dos reviramentos da massa de substrato.

A ausência de bolotas da massa de substrato fez com que os ovos não tivessem locais de abrigo e foram submetidos a altas temperaturas, umidade mais amenas e pH alcalino, sendo condições desfavoráveis para a sobrevivência dos mesmos.

A visão geral referentes aos ovos de helmintos encontrados no sistema de compostagem mostra que os resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar são altamente patogênicos, mas o tratamento de compostagem foi favorável à inativação e destruição dos ovos de helmintos, atingindo 100% de eficiência. Os fatores físicos, químicos e biológicos promoveram, em conjunto, condições adversas à sobrevivência desses organismos e geração de composto com qualidade agronômica.

5.7 Sucessão ecológica durante as fases do tratamento aeróbio dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares

O processo de sucessão ecológica das espécies demonstrou a intensidade das perturbações internas (mudanças das condições físicas, químicas e biológicas ao longo do tempo), estruturais (modelo das composteiras; trituração; uso de manivela, espátulas ou pá; controle de água; homogeneização da massa de substrato; manejo pelos pesquisadores) e externas (entrada de água ou sol em excesso nas leiras; entrada de predadores; saída de insetos) no sistema de compostagem. O sucesso das espécies no meio, é resultado da sua função ecológica, crescimento corpóreo e capacidade de sobreviver às condições ambientais, predação e parasitismos (Figura 71).

Figura 71. Diferentes estágios de desenvolvimento larvais e pupário de *Musca domestica*, *Hermetia illucens* e *Drosophila melanogaster* sobre a massa de substrato. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Tudo que afeta o desenvolvimento da espécie no meio, é um fator limitante (ODUM; BARRET, 2007). As mudanças das condições ambientais, as interações ecológicas, os recursos, além do manejo dos pesquisadores, podem afetar o desempenho das espécies no sistema, fazendo as espécies responderem com amplitudes de tolerância mais amplas ou mais estreitas.

Observando o comportamento da massa de substrato ao longo do processo de decomposição da matéria orgânica e, considerando os parâmetros físicos, químicos, biológicos

e sanitários, constatou-se que o sistema foi dividido em quatro fases características, fundamentais para entender a sucessão ecológica no sistema (Quadro 10).

Quadro 11. Fases observáveis no período de 93 dias do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos coletados no condomínio residencial. Campina Grande-PB.

Fases	Atividade biológica	Temperatura	pH	Estabilidade	Qualidade sanitária	Táxon (%)	Cinética
1	Adaptação	Mesófila	Ácido	Instável	Péssima	1,0	Lenta
2	Intensa atividade biológica (detritívoros)	Degradação ativa (Termófila)	Neutro	Instável	Péssima	20,7	Rápida
3	Intensa atividade biológica Moderada	Semi-cura	Alcalino	Semi-estável	Regular	34,6	Moderada
4	atividade biológica (predação)	Estabilização (Ambiente)	Alcalino	Estável	Boa	43,7	Lenta

Fonte: autoria própria

A fase mesófila diferiu entre os sistemas, permanecendo o sistema de composteira de concreto retangular (CCR) apenas os dois primeiros dias; o sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) permaneceu até o sexto dia e o sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC) permaneceu na fase mesófila até o quarto dia.

Inicialmente a massa de substrato apresentou uma temperatura ambiente, pH ácido, teor de umidade alto (71%), qualidade sanitária péssima (9,5 ovos/gST) e matéria orgânica instável, parâmetros característicos da fase mesófila. Nesta fase, instalam-se espécies pioneiras, como as bactérias. Sequencialmente, os fungos aparecem na massa de substrato. Estes encontraram no ambiente condições favoráveis para instalação e desenvolvimento. As bactérias e fungos são considerados, na ecologia, como *eces*, pois são os primeiros grupos a se estabelecerem no sistema. Essas espécies são consideradas a microfauna de um sistema.

Juntamente com os fungos, também foram observados ovos de dípteros escondidos em frestas de sementes e galhos, indicando que a oviposição já tinha ocorrido, possivelmente, quando os resíduos sólidos orgânicos estavam sendo armazenados na fonte geradora. Esses correspondem a mesofauna do sistema.

A ação metabólica das bactérias e dos fungos na massa de substrato favorece o aumento da temperatura, contribuindo para que as primeiras larvas eclodirem no sistema. Esses emergiram rapidamente e passaram a se locomover sobre a massa de substrato rapidamente, se alimentando da matéria em decomposição. Em seguida, outras larvas e ninfas também emergiram no sistema. Embora seja uma fase de considerável atividade, durante a fase mesófila foram observados 1% dos mesoinvertebrados. Entende-se que toda comunidade pioneira tem número reduzido de espécies; quanto mais se aproxima do clímax, mais diversidade é verificada.

De acordo com Luff e Hutson (1977) três estágios são envolvidos no desenvolvimento da mesofauna de uma área degradada: imigração, estabelecimento da população e manutenção da população. Esses estágios também foram observados no sistema de compostagem. Segundo os autores, no primeiro estágio destaca-se a habilidade de espécies dispersivas que ovipositam na massa do substrato. Logo após, para o estabelecimento da população, ocorreu a necessidade de condições de alimentação, habitat favorável e proteção. Para a manutenção da população durante a compostagem, a população estabelecida deve ser capaz de sobreviver às mudanças das fases do tratamento.

As espécies que têm capacidade de ocupar, reproduzir e se desenvolver na matéria orgânica no estágio inicial do sistema de compostagem são pioneiras. De acordo com Sautter (1998) o tamanho do corpo, o nicho ecológico, o número de descendentes e o modo de reprodução têm sido usados para explicar o padrão sucessional na colonização de espécies.

Dentro deste grupo, algumas populações conseguiram a habilidade de manter-se no sistema de compostagem, apresentando uma capacidade de resistência às condições do meio e foram possíveis observá-las em outras fases. Há espécies, como da ordem de dípteros, que continuaram a dominar no sistema após a mudança de fase. Outras espécies foram restritas às condições mesófilas iniciais e suas populações reduziram rapidamente e/ou saem do sistema, como bactérias e fungos mesófilos, cumprindo a sua função ao criar condições adequadas. Logo, toda comunidade inicial tende a decair, dando origem a novos ciclos.

Ocorreu pouca diversidade da mesofauna durante esta fase, observando apenas as espécimes da ordem Diptera: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Ornidia obesa* e *Drosophila melanogaster*.

As espécies mais especializadas no ambiente e recursos alimentares tornaram-se menos suscetíveis às variações bruscas dos fatores ecológicos, como a *Hermetia illucens* e a *Musca*

domestica. A estabilidade dessas espécies criaram condições que permitiram a sobrevivência de outras espécies ecológicas no sistema.

O maior tempo no sistema promoveu maior investimento de energia e massa. Essa tendência é um reflexo de que a comunidade está aproveitando ao máximo os recursos do ambiente. Assim, os nutrientes tendem ser cada vez mais reciclados e reaproveitados de uma forma mais eficiente durante a sucessão. Enquanto que pelotas fecais são descartados na massa de substrato, sendo rica fonte de nutrientes.

Por outro lado, essas espécies apresentaram maior dominância nos sistemas, promovendo um índice de Shannon baixo e alto índice de Simpson para todos os sistemas.

As larvas de *Drosophila melanogaster* e *Ornidia obesa*, por sua vez, predominaram em pH ácido, identificando-as como indicadoras da fase mesófila, mas logo após os valores de pH aumentaram (no início da fase de degradação ativa), as espécies encontraram condições desfavoráveis, não sendo mais observadas a partir do 12^a dia. Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho de Mira e Jaramillo (2010) ao utilizarem os insetos coletados na compostagem de resíduos sólidos orgânicos.

O potencial hidrogeniônico regula as atividades das enzimas. Alterações bruscas são evitadas por muitas espécies, devido ao tamponamento do sistema, reações químicas que absorvem o excesso de íons H⁺ ou suprem sua falta dentro de certos limites. Muitos organismos são menos tolerantes à alteração do pH. O pH ácido deixa os nutrientes insolúveis, impossibilitando serem absorvidos pelas plantas, sendo necessária a alcalinização da massa. Muitas espécies são capazes de sobreviver a ambientes ácidos, conseguindo ocupar locais que outros não conseguem (CARRINGTON, 2001; METCALF; EDDY, 2003; POLPRASERT; KOOTTPET, 2017).

A ação metabólica das larvas e ninfas e a metabolização de substratos ricos em carbono por bactérias e fungos, aumentou a temperatura até os níveis mais altos (>50 °C). Em consequência disso, ocorreu crescimento de diversidade e estreitamento dos nichos ecológicos. Essa fase promoveu a substituição da comunidade de bactérias e fungos mesófilos por comunidades de bactérias e fungos termófilos e aumento considerável de mesoinvertebrados. Na fase termófila, ocorreu maior diversidade de organismos, prevalecendo organismos saprófagos das famílias Muscidae (*Musca domestica*), Stratiomyidae (*Hermetia illucens*), algumas espécies de Syrphidae (*Ornidia obesa*) e Drosophilidae (*Drosophila melanogaster*); e ácaros predadores das famílias Parasitidae e Macrochelidae.

Durante esta fase, ocorreu acelerada degradação da matéria orgânica, ocasionando, segundo Pereira e Silva (1999), no rápido consumo de oxigênio e elevação da temperatura.

Na fase termófila, as leiras reduziram de tamanho, em virtude da redução da granulometria do material. Inicialmente, o material encontrava-se bastante úmido, gerando chorume, ocasionando a fuga de algumas espécies de dípteros para as áreas com menor acúmulo de água, principalmente a base das leiras. O controle da umidade permitiu a continuidade do desenvolvimento e o deslocamento das espécies por toda a leira.

Possivelmente, o teor de umidade alto tenha dificultado o estabelecimento dos ácaros predadores. Estes foram observados apenas na segunda semana de instalação do sistema. E desapareciam sempre que as condições do teor de umidade eram desfavoráveis, mostrando limites de tolerância. Provavelmente, apresentam estágios inativos ou sobrevivem como ovos inertes que são reativados quando a umidade está favorável.

Os ácaros podem não ter um papel importante na movimentação da matéria e na ingestão de materiais minerais, mas, por serem mais numerosos e melhor distribuídos, influenciam no polimento do composto (SILVA, 2021), são importantes na formação de aglomerados que são densamente colonizados por bactérias e fungos e contribuindo na decomposição dos resíduos sólidos orgânicos.

Embora a literatura aponte a fase termófila como a etapa mais importante para eliminação de ovos de helmintos (CARRINGTON, 2001; RUSSO, 2003; KIEHL, 2012; POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017), os níveis elevados de temperatura não foram, necessariamente, o único fator responsável pela destruição dos ovos. Os resultados indicam que o reviramento da massa de substrato, redução da umidade, as condições ambientais e o pH também exerceram influência no processo e contribuíram para qualidade sanitária do composto.

As populações de ácaros e dípteros não foram afetadas pelas altas temperaturas. No entanto, estudos mostram que a faixa de temperatura ideal seja entre 20 e 30°C (WEIGERT *et al.*, 2002; GOBBI, 2012). Em resposta às alterações de temperatura, os mesoinvertebrados podem deslocar-se para áreas mais úmidas, reduzindo seu ciclo de desenvolvimento e, em alguns casos, podem entrar em estivação temporária.

A fase de semi-cura foi caracterizada pela redução dos valores máximos de temperatura, a um valor <40 °C. A fase apresentou riqueza significativa de organismos com prevalência no sistema CPC. De acordo com Kiehl (2012), o material apresenta um grau de decomposição não considerado mais danoso às plantas, mas que ainda não tem propriedades atinentes ao humificado. Como cita Odum e Barret (2007) a planta não come matéria orgânica.

Nesta fase o ambiente é favorável a vários organismos, resultado da ação das espécies que antecederam esta fase. Essa fase é relativamente curta e alguns autores não a categorizam. Mas é necessário apresentá-la, uma vez que nessa fase, foram percebidas várias mudanças significativas no sistema. Além de redução significativa nos níveis de temperatura, ocorreu um aumento no pH, apresentando os maiores valores (8,8-9,0) e controle no teor de umidade. Durante essa fase, ocorreu o estabelecimento de ácaros nos três sistemas e a emergência de coleópteros, hemípteros e a entrada de himenópteros no sistema CAR e CPC.

A fase de estabilização foi caracterizada pela temperatura semelhante a ambiente (25-27 °C), leve redução do pH (8,3-8,6), teor de umidade baixo (29-34%) e sólidos totais voláteis (39-42%). Ocorreram mudanças visíveis no volume e aspecto da massa de substrato, como escurecimento da massa, material com cheiro de terra e granulometria fina.

Ao contrário de outras pesquisas que citam a fase de estabilização com baixa abundância biológica (PEREIRA; SILVA, 1999; SILVA, 2021), este estudo apresentou a maior abundância de espécie durante a estabilização. Contudo, vale destacar que 55% das espécies coletadas nesta fase foram adultos da ordem Diptera que saíam do sistema ao completarem seu ciclo de vida (Muscidae e Stratiomyidae), por isto, já não habitavam o sistema e não desempenhavam nenhum nicho ecológico. Outros grupos também foram coletados nesta fase da ordem Coleoptera (Phalacridae, Silvanidae e Staphylinidae), Orthoptera (Gryllidae), Hemiptera (Anthocoridae), Hymenoptera (Formicidae), Mesostigmata (Parasitidae e Macrochelidae), Isopoda (Armadillidiidae) e Araneae (Theridiosomatidae).

As ordens Diptera, Isopoda e Coleoptera alimentavam-se de matéria orgânica e desempenharam papel significativo na degradação da massa de substrato recalcitrante, enquanto que os demais táxons eram predadores de outros animais. E, por isso, mesmo apresentando intensa atividade biológica, estes não foram diretamente responsáveis pela decomposição da massa de substrato durante esta fase, mas contribuíram para manter a diversidade do sistema, favoreceram o controle biológico, realizaram o polimento do material, promovem a escavação de galerias e túneis de oxigenação na massa. Por isso, são de grande importância para o andamento da compostagem.

Destaca-se também que, mesmo colocando tela de nylon, alguns indivíduos entraram no sistema de compostagem, a exemplo da ordem Orthoptera (Gryllidae), Hymenoptera (Formicidae), Isopoda (Armadillidiidae) e Araneae (Theridiosomatidae). Possivelmente, a abundância de espécies nesta fase seja resultado das condições favoráveis do ambiente para a inserção dessas espécies.

Vários táxons foram observados em diferentes fases, entendendo que, em algumas espécies, a mudança de fase não é um fator limitante, mesmo tendo sua prevalência em fases características. Isso pode ser identificado em indivíduos da ordem Diptera (Muscidae e Stratiomyidae) que foram coletados no sistema durante a fase de mesófila, termófila, semi-cura e, no caso da família Stratiomyidae, também foram observados durante a estabilização.

Também foram observados a ordem Mesostigmata (Parasitidae e Macrochelidae) durante entre o final da fase termófila, fase de semi-cura e início da fase de estabilização. Os ácaros são bastantes influenciados pelo teor de umidade, então, possivelmente, a redução do percentual de água no final do processo de compostagem justifica seu declínio no sistema.

Todo indivíduo está localizado espacialmente em um ambiente no qual consegue viver, alimentar-se e desenvolver-se. Nesse ambiente, duas ou mais espécies podem estar inseridas no mesmo habitat, desempenhando nichos diferentes, um usa matéria orgânica como alimento e outro são predadores de larvas. Também poderão ocorrer das espécies competirem pelo mesmo recurso, promovendo a sobreposição de nicho. Enquanto houver matéria orgânica para o crescimento e desenvolvimento dos organismos, não há problema, mas à medida que a matéria é degradada, os organismos podem mudar seu nicho ecológico ou buscar novo habitat.

O modelo de teia alimentar tem sido bem discutido ao longo dos anos e várias teias vem sendo descritas em diferentes ecossistemas ecológicos (CORREIRA, 2002). No entanto, mesmo sendo um ecossistema completo, os organismos presentes em sistemas de compostagem são largamente ignorados, ou limitados às bactérias e fungos. Embora apresentem uma diversidade significativa e são de grande importância para a fertilização do solo.

Ressalta-se também que mesmo sendo uma prática necessária para o tratamento aeróbio dos resíduos sólidos orgânicos, o manejo da massa de substrato pode ocasionar em efeitos negativos nas populações de mesoinvertebrados. Isso ocorre, pois são realizados diferentes procedimentos, como o reviramento do material, coleta de amostras, medição de temperatura, adição de água, recirculação do chorume (quando necessário). Isso é um processo normal, pois é um sistema experimental.

O sistema CCR é caracterizado por ter dois compartimentos, impondo a transferência da massa de substrato pelos compartimentos, empregando pá agrícola. Quando a massa de substrato era transportada, algumas larvas que estavam situadas na base da composteira ficaram desprotegidas. Foi necessário a coleta manual pelos pesquisadores, para evitar que essas larvas ficassem sem fonte de alimento e água. As larvas que não foram coletadas, rapidamente entraram em pupário.

As composteiras CAR e CPC apresentam apenas um compartimento, promovendo proteção às larvas contra ressecamento e falta de recursos. Além de ser importante para evitar contato direto com o material. Um único compartimento mantém o teor de umidade e temperatura mais elevado, mas caso não seja monitorado regularmente ou apresente problemas estruturais (como ocorreu na manivela das composteiras), podem gerar chorume. A água em excesso pode ser um fator limitante para o estabelecimento de algumas espécies no sistema, mas não necessariamente é prejudicial para o sistema, uma vez que é necessária às funções metabólicas das espécies. Por outro lado, o chorume é prejudicial para o desenvolvimento das espécies e é fundamental o seu controle na compostagem. O acompanhamento do sistema, o aumento da quantidade de reviramentos semanais da massa de substrato e a recirculação do chorume promoveram o controle da compostagem e continuidade do processo, sem nenhuma prejuízo.

De modo geral, observou-se que assim como em um ambiente inóspito de um sistema florestal, também foi possível monitorar o estabelecimento e a sucessão ecológica de espécies. Primeiramente observou-se a presença de espécies *eceses*, como bactérias, fungos e líquens. A compostagem seguiu a mesma dinâmica observada no meio natural. Ocorreu um aumento da biodiversidade. Assim como um processo transitório, observou-se a entrada de espécies (predadores), o estabelecimento de espécies com limites de tolerância a alguns fatores ambientais e a saída de diferentes espécies (completaram o ciclo de vida ou o ambiente não era mais adequado para sobrevivência de algumas espécies), alterando a abundância das populações e a dinâmica do sistema.

No final do processo de compostagem, embora tenha ocorrido, *a priori*, uma constância na composição do sistema, ao longo da fase de estabilização, observou-se que a comunidade não tende a chegar a um clímax como ocorre na natureza, uma vez que, na compostagem a matéria orgânica torna-se estável, não sendo regulada pela nova entrada de matéria orgânica. Durante a estabilização é observada apenas a entrada de organismos predadores. Este material está adequado para ser usado na agricultura, em jardins e hortas.

5.8 Análise temporal dos mesoinvertebrados

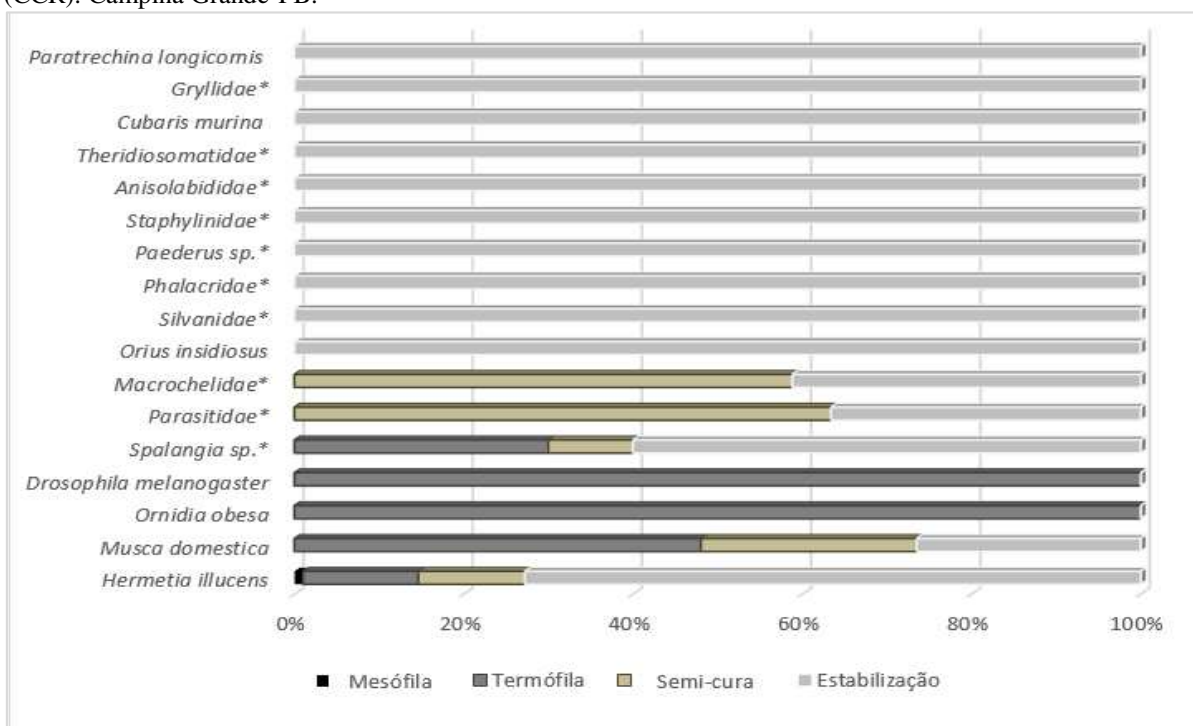
Da mesma maneira que é necessário avaliar os índices ecológicos nos sistemas de compostagem, entende-se que a necessidade de avaliar as fases em cada sistema. Observou redução no total de mesoinvertebrados ao longo do processo de decomposição. A abundância

dos mesoinvertebrados diferiu significativamente entre as diferentes fases de decomposição ($p < 0,05$).

A abundância dos mesoinvertebrados na fase mesófila correspondeu a 0,4% no sistema CCR, 2% no sistema CAR e 1% no sistema CPC, do total de indivíduos coletados em cada sistema. Na mudança para fase termófila, observou um considerável aumento (CCR = 17%, CAR = 20%, CPC = 25%). A fase seguinte, de semi-cura, apresentou aumento em todos os sistemas (CCR = 22%, CAR = 35%, CPC = 49%). A fase de estabilização apresentou os maiores valores para o sistema CCR (60,6%) e o sistema CAR (43%), enquanto que o sistema CPC (25%) apresentou um decréscimo na abundância.

A coleta dos mesoinvertebrados durante as fases de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no sistema de composteira de concreto retangular (CCR) podem ser observados na Figura 72.

Figura 72. Mesoinvertebrados coletados nas diferentes fases do sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.



*Espécimes não identificados a nível específico por falta de caracteres morfológicos. Fonte: autoria própria

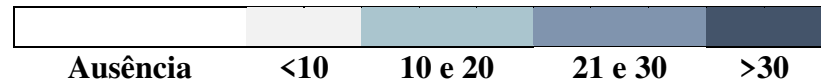
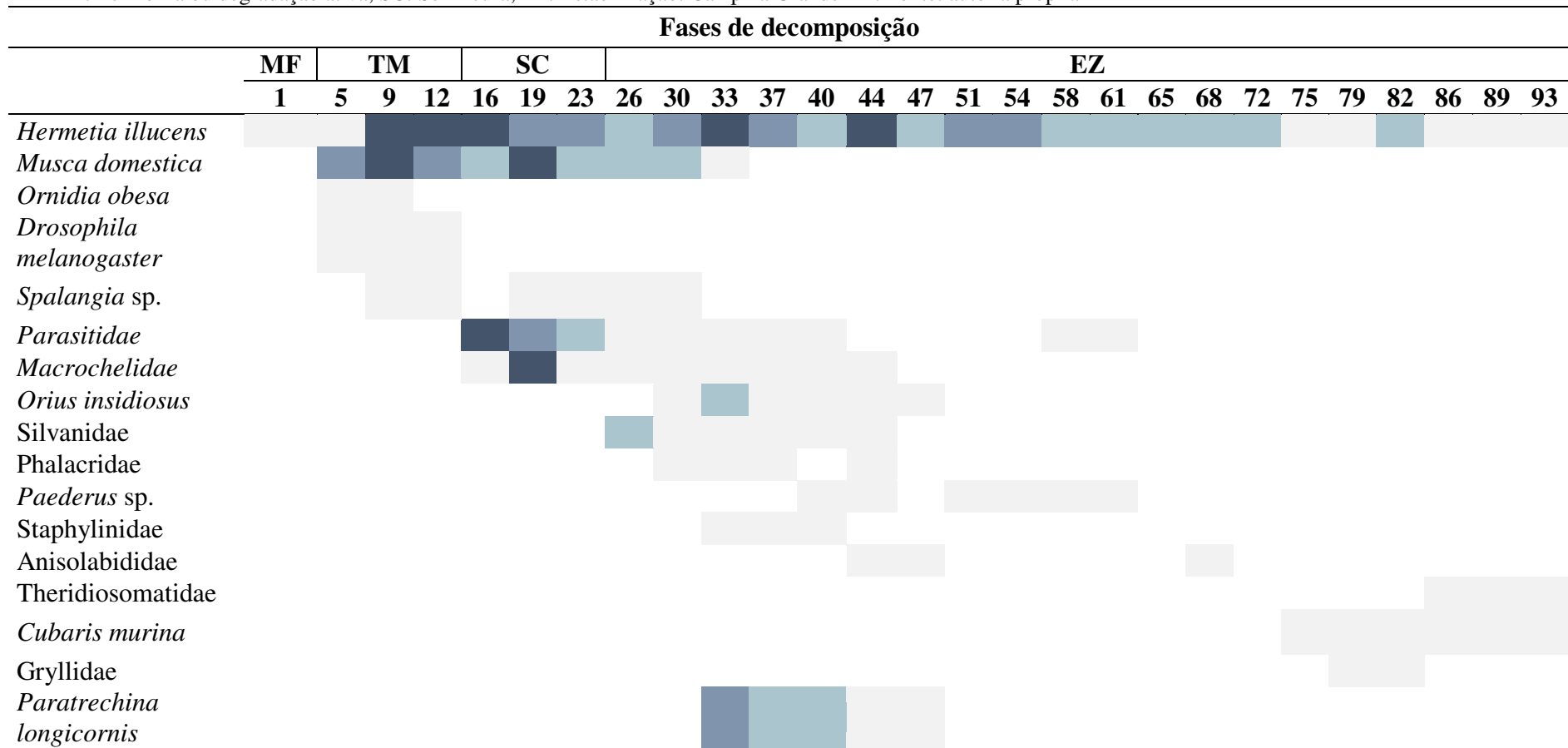
No sistema de composteira de concreto retangular (CCR) observou-se apenas a *Hermetia illucens* durante a fase mesófila. A espécie foi a única coletada em todas as fases. De forma geral, a maioria das espécies estava presente apenas durante a fase de estabilização. Embora, estas estavam no sistema para alimentar de outros insetos, uma vez que a matéria orgânica estava em processo de sanitização. Para Lavelle (1996), quando os recursos orgânicos

estão escassos, as teias alimentares tendem a ter tamanho reduzido de níveis tróficos e menos componentes em cada nível.

No sistema de composteira de concreto retangular (CCR) durante a fase mesófila a família mais abundante foi Stratiomyidae (*Hermetia illucens*). Na fase termófila foi observado abundância das famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*), Muscidae (*Musca domestica*) e Drosophilidae (*Drosophila melanogaster*). Na fase de semi-cura, a maior abundância foi das famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*), Parasitidae e Macrochelidae. Durante a fase de estabilização as famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*) e Formicidae (*Paratrechina longicornis*).

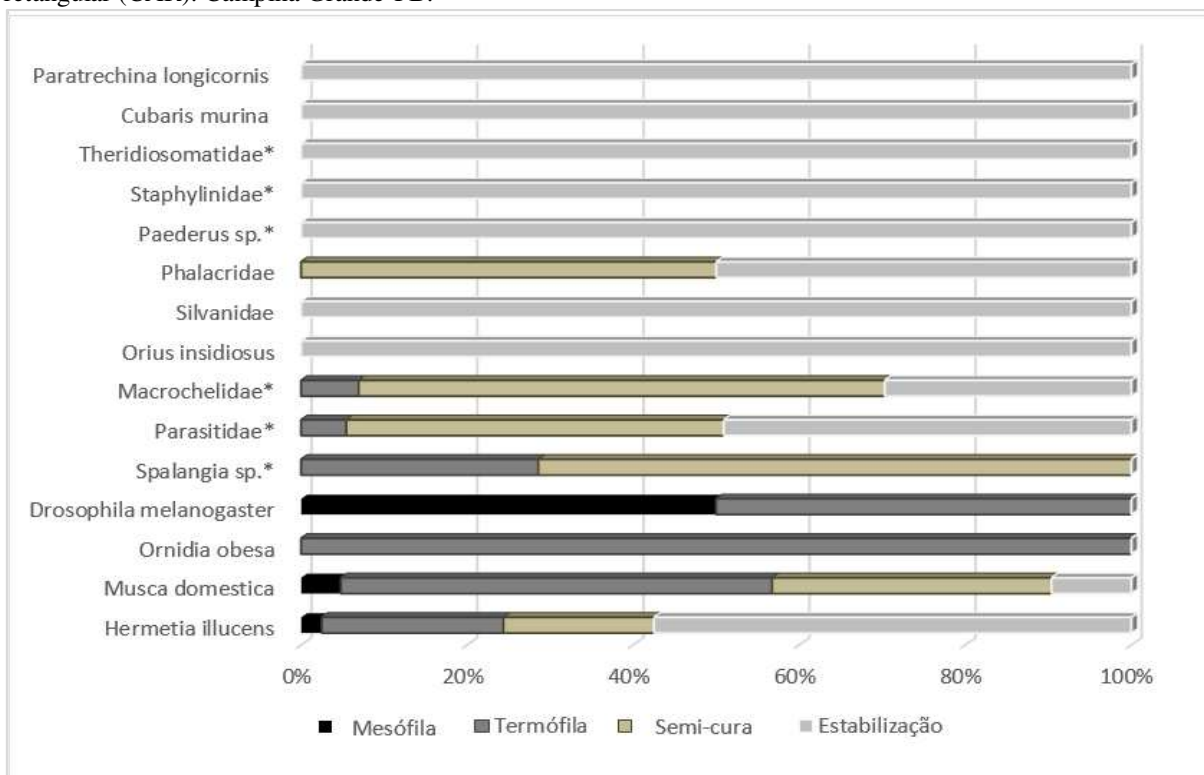
A distribuição e abundância das famílias de mesoinvertebrados ao longo das coletas das amostras e entre as fases de decomposição no sistema de composteira de concreto retangular (CCR) podem ser observadas na Tabela 13.

Tabela 13. Abundância dos mesoinvertebrados ao longo dos dias de coleta e das fases de decomposição no sistema de concreto retangular (CCR). Legenda = MT: Mesófila; TM: Termófila ou degradação ativa; SC: Semi-cura; EZ: Estabilização. Campina Grande-PB. Fonte: autoria própria



A coleta dos mesoinvertebrados durante as fases de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) estão presentes na Figura 73.

Figura 73. Mesoinvertebrados coletados nas diferentes fases do sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.



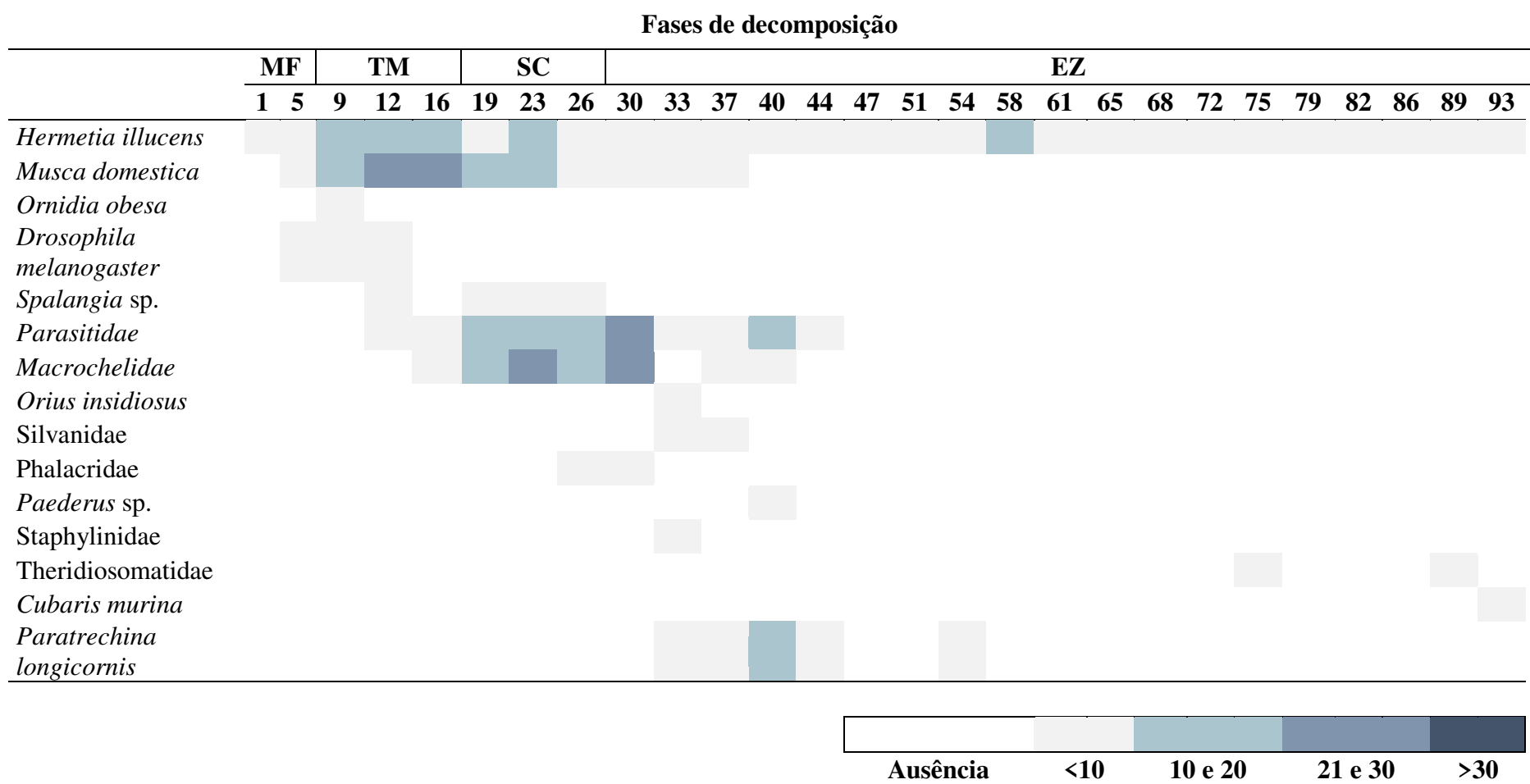
*Espécimes não identificados a nível específico por falta de caracteres morfológicos. Fonte: autoria própria

No sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) observou-se a presença das espécies *Hermetia illucens*, *Musca domestica* e *Drosophila melanogaster* durante a fase mesófila. As demais espécies tiveram um comportamento semelhante ao sistema CCR, sendo sua maior abundância, principalmente na fase de estabilização.

No sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) durante a fase mesófila foi observada abundância da família Stratiomyidae (*Hermetia illucens*). Na fase termófila ocorreu abundância das famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*) e Muscidae (*Musca domestica*). Na fase de semi-cura a maior abundância foi das famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*), Parasitidae e Macrochelidae. Na fase de estabilização as famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*), Parasitidae e Formicidae (*Paratrechina longicornis*).

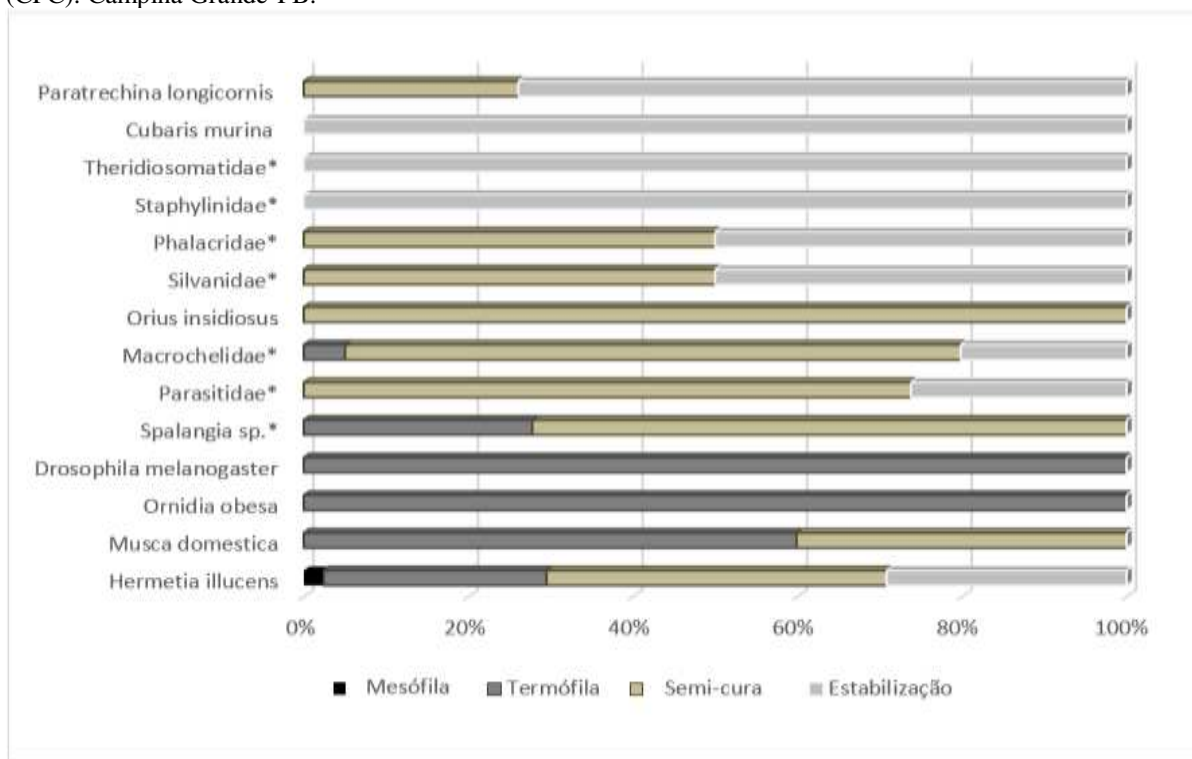
A distribuição e abundância das famílias de mesoinvertebrados ao longo das coletas das amostras e entre as fases de decomposição no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) podem ser observadas na Tabela 14.

Tabela 14. Abundância dos mesoinvertebrados ao longo dos dias de coleta e das fases de decomposição no sistema composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Legenda = MF: Mesófila; TM: Termófila ou degradação ativa; SC: Semi-cura; EZ: Estabilização. Campina Grande-PB. Fonte: autoria própria



A coleta dos mesoinvertebrados durante as fases de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no sistema de composteiras de polietileno cilíndrica (CPC) estão presentes na Figura 74.

Figura 74. Mesoinvertebrados coletados nas diferentes fases do sistema de composteira de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande-PB.



*Espécimes não identificados a nível específico por falta de caracteres morfológicos. Fonte: autoria própria

Ao contrário dos outros sistemas que sua maior abundância prevaleceram durante a fase de estabilização, o sistema de composteiras de polietileno cilíndrica (CPC) apresentou uma distribuição mais uniforme.

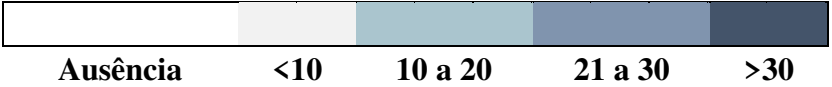
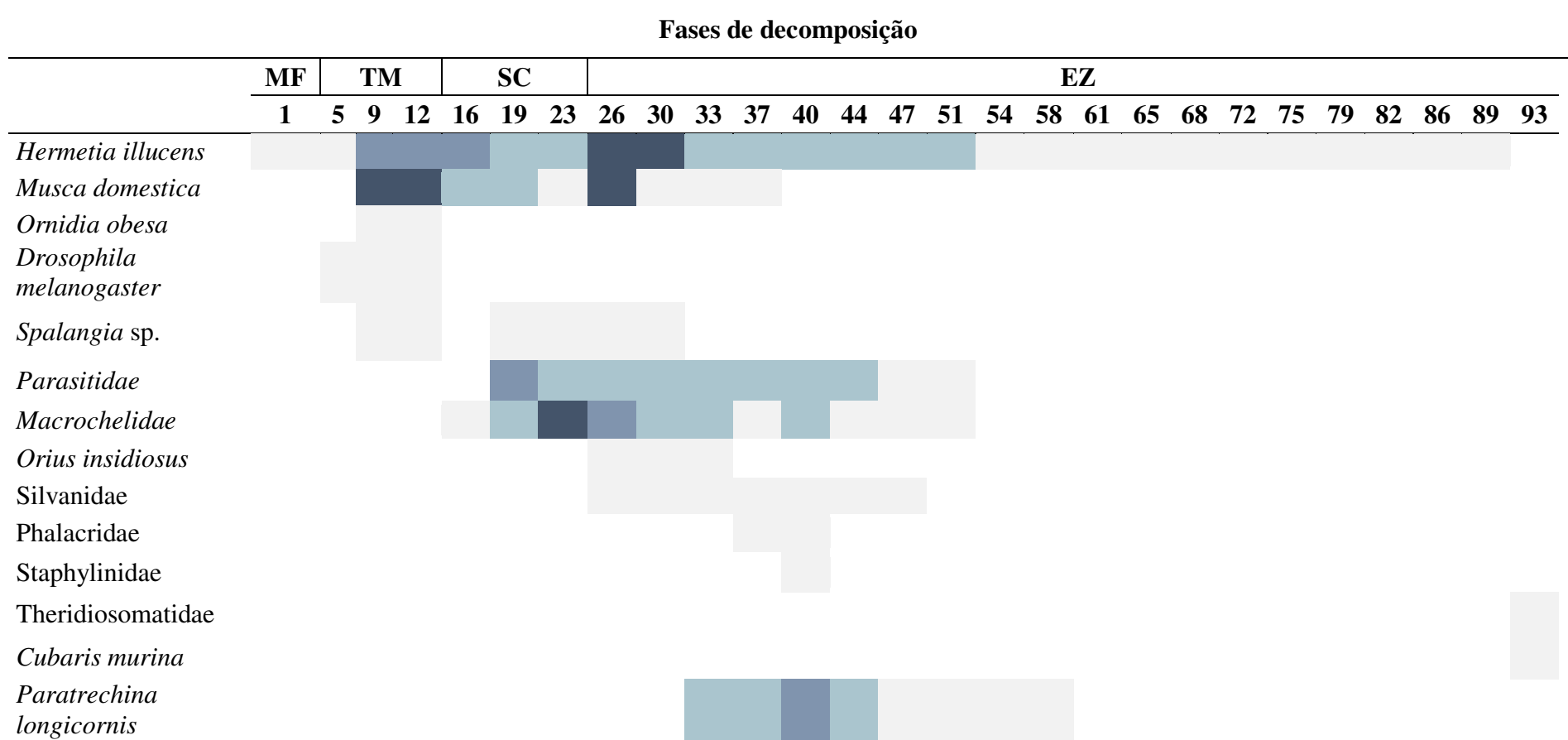
Da mesma maneira que o sistema CCR, observou-se apenas a *Hermetia illucens* durante a fase mesófila. Logo após, outras espécies de Diptera, Hymenoptera e Mesostigmata prevaleceram no sistema. Apenas as famílias Formicidae (*Cubaris murina*), Theridiosomatidae e Staphylinidae (sp.1) estavam presentes apenas na fase de estabilização.

De forma geral, a fase mesófila do sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC) apresentou abundância da família Stratiomyidae (*Hermetia illucens*). A fase termófila apresentou maior abundância das famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*), Muscidae (*Musca domestica*) e Drosophilidae (*Drosophila melanogaster*). Durante a fase de semi-cura, observou abundância das famílias Stratiomyidae (*Hermetia illucens*), Muscidae (*Musca domestica*),

Parasitidae e Macrochelidae. Na fase de estabilização observou maior abundância Stratiomyidae (*Hermetia illucens*) e Formicidae (*Paratrechina longicornis*).

A distribuição e abundância das famílias de mesoinvertebrados ao longo das coletas das amostras e entre as fases de decomposição no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC) podem ser observadas na Tabela 15.

Tabela 15. Abundância dos mesoinvertebrados ao longo dos dias de coleta e das fases de decomposição no sistema composteiras de polietileno cilíndrica (CPC). Legenda = MF: Mesófila; TM: Termófila ou degradação ativa; SC: Semi-cura; EZ: Estabilização. Campina Grande-PB. Fonte: autoria própria.



A riqueza dos mesoinvertebrados em cada sistema variou entre a fase mesófila (CCR = 4%, CAR = 11%, CPC = 4%), termófila (CCR = 19%, CAR = 25%, CPC = 24%), semi-cura (CCR = 19%, CAR = 21%, CPC = 36%) e estabilização (CCR = 58%, CAR = 43%, CPC = 36%), demonstrando que, assim como a abundância, a maior riqueza de espécies foi entre a fase de semi-cura e estabilização.

Os índices ecológicos ao longo das fases mostram diversidade baixa nos sistemas, mas quando analisa os índices de Shannon-Wiener entre as diferentes fases de decomposição, as diversidades foram mais altas nas fases de semi-cura e estabilização. Não observou diversidade durante a fase mesófila, pois apenas a *Hermetia illucens* foi coletada no sistema. O sistema de composteira de aço inoxidável (CAR) apresentou uma fase mesófila com maior diversidade, quando comparado aos demais sistemas, em virtude da coleta e identificação de *Musca domestica* durante a fase. Os valores de dominância de Simpson-Gini também foram maiores nas mesmas fases supracitadas.

Os resultados das relações quantitativas e dos mesoinvertebrados no sistemas de compostagem CCR, CAR e CPC estão descritos nas tabela 16, 17 e 18, respectivamente.

Tabela 16. Resumo das relações quantitativas e mesoinvertebrados representativos das diferentes fases da decomposição de resíduos sólidos orgânicos em sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.

Parâmetros	Fases da compostagem			
	Mesófila	Termófila	Semi-cura	Estabilização
Duração (dias)	0-2	3-13	14-22	23-93
Umidade (%)	71	57,2	59-41	43-35
STV (%)	81,3	73,4	73-69	67-42
pH	5,3	7,3	8,7	8,8-8,2
Temperatura (°C)	37-40	43-55	39-27	27-22
Helmintos (ovos/gST)	3,0	1,5	2,0	1,2-0,0
Abundância (%)	0,4	17	22	60,6
Riqueza (%)	4	19	19	58
Índice de Shannon Wiener	0.00	0.98	1.38	1.64
Índice de Gini-Simpson	0.00	0.56	0.74	0.65
Índice de Margalef	0.00	0.77	0.74	2.17
Índice de Menhinick	0.45	0.37	0.33	0.60

Fonte: autoria própria

Tabela 17. Resumo das relações quantitativas e mesoinvertebrados representativos das diferentes fases da decomposição de resíduos sólidos orgânicos em sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.

Parâmetros	Fases da compostagem			
	Mesófila	Termófila	Semi-cura	Estabilização
Duração (dias)	1-6	7-18	19-29	30-93
Umidade (%)	71	69-65	65,1-55	56-31,7
STV (%)	81,3	73-70	69,5-66	65-42
pH	5,3	7,1-8,5	8-6-9,0	9,0-8,6
Temperatura (°C)	32,8-36	39,4-55	39,6-27	27,1-21
Helminhos (ovos/gST)	2,5	1,9-2,2	1,5-1,7	1,4-0,0
Abundância (%)	2	20	35	43
Riqueza (%)	11	25	21	43
Índice de Shannon Wiener	1.09	1.28	1.45	1.62
Índice de Gini-Simpson	0.66	0.64	0.74	0.74
Índice de Margalef	0.78	1.28	0.96	2.03
Índice de Menhinick	0.83	0.67	0.44	0.80

Fonte: autoria própria

Tabela 18. Resumo das relações quantitativas e mesoinvertebrados representativos das diferentes fases da decomposição de resíduos sólidos orgânicos em sistema de composteira de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande-PB.

Parâmetros	Fases da compostagem			
	Mesófila	Termófila	Semi-cura	Estabilização
Duração (dias)	1-4	5-18	19-38	39-93
Umidade (%)	71	65-50	47-45	43-29
STV (%)	81	75-67	63-60	58-39
pH	5,3	7,4-8,2	8,5-9,0	8,6-8,3
Temperatura (°C)	33-37	36-55,3	40-26	27-21
Helminhos (ovos/gST)	1,8	2,6-2,4	1,7-1,0	1,1-0,0
Abundância (%)	1	25	49	25
Riqueza (%)	4	24	36	36
Índice de Shannon Wiener	0.00	1.11	1.72	1.46
Índice de Gini-Simpson	0.00	0.59	0.79	0.72
Índice de Margalef	0.00	0.92	1.31	1.48
Índice de Menhinick	0.38	0.40	0.43	0.60

Fonte: autoria própria

5.9 Caracterização estrutural e funcional da comunidade na compostagem

Com base nos resultados observados, entende-se que a compostagem é um nicho ecológico, apresentando condições físico-químicas para o desenvolvimento e complemento do ciclo de vida de algumas espécies e declínio de outras. Essas espécies apresentam funções ecológicas dentro do sistema, através de suas características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais.

A comunidade ecológica pode ser vista do ponto de vista estrutural ou existência permanente (fatores abióticos físicos e químicos e fatores bióticos) e do ponto de vista funcional ou metabolismo da comunidade (transferência de matéria e energia, devido às relações tróficas, cadeias alimentares, ciclos biogeoquímicos, ausência e distribuição dos organismos no tempo), de acordo com Odum e Barret (2007).

Os estudos mostraram que a comunidade influenciou e foi influenciada pelas variações físicas, químicas e biológicas que ocorrem dentro das leiras. Entende-se que o material inicial, antes da montagem, apresentava características semelhantes entre os parâmetros monitorados, identificados pelas análises iniciais, mas quando montando as leiras de compostagem, cada sistema apresentou características específicas únicas. Ocorreu diferença estatística na abundância e diversidade de organismos entre os sistemas CCR, CAR e CPC, embora não significativo.

Isso deixa evidente que o modelo de composteira influenciou diretamente sobre a dinâmica dos organismos que atuam na degradação da matéria orgânica, bem como, sobre o controle dos organismos patogênicos e vetores.

De forma geral, o sistema CCR apresentou maior diversidade e abundância de espécies ao longo do tempo. Contudo, o sistema precisou de reviramento com auxílio de uma pá manual entre as estruturas das composteiras para promover uma aeração mais eficiente; processo que dificulta a aceitação das pessoas em adquirir hábito de realizar a compostagem.

Esse manejo do material e o modelo do sistema mais aberto, provocou a ocupação das espécies do sistema em áreas no qual a umidade era mais alta, como o centro e a base da leira. Devido a maior evapotranspiração do sistema, como forma de evitar a dessecação dos organismos. Dessa forma, ocorreu necessidade de maior controle da umidade durante a fase de semi-cura e estabilização do sistema. Ocorreu também temperaturas altas no sistema, embora, as temperaturas termófilas das composteiras CCR permaneceram por menor tempo (12 dias).

Os sistemas CAR e CPC, por sua vez, apresentaram condições inversas. Este sistema promoveu a manutenção do teor de água na massa de substrato por mais tempo, dificultando a

evapotranspiração, contribuindo para gerar condições anaeróbias e a temperatura se manteve constante nos primeiros dias. O material apresentou cheiro forte, compactado e foi produzido chorume. A compactação da massa de substrato prejudica a ação dos organismos, que não conseguem se locomover sobre o meio, em busca de alimento, durante esse período.

O alto teor de umidade e a temperatura baixa na fase inicial não foi impedimento para o desenvolvimento das espécies. Estudos de Ruiz, Navarro e Laraño (2016) concluíram que o número total da mesofauna é maior em parcelas úmidas do que em parcelas secas.

De fato, as espécies tendem a preferir ambientes mais úmidos, no entanto, o excesso de água contribuiu na geração de chorume que, por sua vez, promoveu consequência direta sobre o comportamento dos organismos, identificando-os como fatores limitantes ao meio. As larvas de *Hermetia illucens* foram mais afetadas, pois pararam seu crescimento, se mantendo nos primeiros instares. De acordo com Odum e Barret (2007) organismos que estão normalmente sujeitos a temperaturas variáveis na natureza tendem a ficar inibidos ou mais lentos a uma temperatura constante.

Outro fator importante é a temperatura. Durante o sistema de compostagem, a temperatura atuou diretamente sobre o comportamento dos organismos. Devido os organismos serem exotérmicos, os níveis de temperatura dependeram da ação dos organismos. Temperaturas iniciais baixas, características da fase mesófila, foram responsáveis por garantir a sobrevivência dos ovos depositados na massa de substrato, criando condições adequadas para eclosão. Em pesquisa realizada com ovos de Diptera, observou que os mesmos sobrevivem em temperatura entre 20 e 30°C (WEIGERT *et al.*, 2002; LI *et al.*, 2011).

O aumento da temperatura ao longo do processo regula a velocidade do metabolismo, promovendo aumento proporcional nas necessidades energéticas do organismo e, por conseguinte, na quantidade de alimento necessária para mantê-lo vivo (POLPRASERT; KOOTTAPET, 2017). Isso faz com que o organismos tenha que ingerir mais matéria orgânica em decomposição, liberando nutrientes e água no meio.

Os níveis de temperatura alcançaram valores considerados altos para maioria dos organismos coletados no sistema de compostagem (>50 °C), mas verificou-se que as espécies sobreviveram em níveis de temperaturas altos, embora possam retardar os estágios de desenvolvimento subsequentes e/ou procurar áreas com níveis de temperatura mais amenas. Segundo Madigan *et al.* (2016), temperaturas muito elevadas podem provocar desnaturação das proteínas, paralisando todas as reações químicas dos organismos da mesofauna na forma larval e ninfa.

De forma geral, os organismos iniciais se adaptaram a temperatura variável do meio. De acordo com Odum e Barret (2007) ovos, larvas e ninfas se desenvolvem mais rapidamente em temperatura variável.

Tradicionalmente, a temperatura é utilizada para classificação as fases e os organismos que constituem a compostagem (SILVA, 2021). Mesmo os organismos sendo sensíveis a temperatura é necessário analisar a temperatura como fator limitante, mas não como único parâmetro a ser analisado. Isso é justificado porque outros parâmetros como, teor de umidade, pH, iluminação e interações entre as espécies, também exerceram influência na regulação dos organismos.

Mesmo assim, as temperaturas elevadas foram favoráveis para ação de bactérias e fungos termófilos e tenha contribuído para redução e eliminação de organismos patogênicos, como as bactérias e ovos de helmintos.

Os organismos adaptados às condições iniciais foram as famílias Muscidae (Diptera: *Musca domestica*), Stratiomyidae (Diptera: *Hermetia illucens*), Syrphidae, Drosophilidae (Diptera: *Drosophila melanogaster*) e Pteromalidae (Hymenoptera: *Spalangia* sp.).

Apesar disso, as famílias não pareceram ser significativamente influenciadas pela mudança da fase, saindo do sistema apenas quando completaram seu ciclo de vida, com exceção da Stratiomyidae (Diptera: *Hermetia illucens*) observada em todas as fases do sistema. Embora, estudo de Mira e Jaramillo (2010) indique correlação negativa de espécie da ordem Diptera e fatores ambientais iniciais, talvez por não considerarem os seus estágios.

O desenvolvimento e prevalência das moscas variam em função da temperatura (TROTTA *et al.*, 2006), tendo, possivelmente, contribuído pelo declínio acelerado das espécies no sistema.

Não foram observados organismos saindo ou morrendo no sistema, em decorrência de fatores ambientais desfavoráveis (como contaminação por metais pesados, teor de umidade elevado, temperatura extrema ou qualquer outro fator que promovesse risco direto a biota local), mas, observou-se que os organismos tiveram que se adaptar aos fatores limitantes do meio, criando condições adequadas para sobrevivência. Isso decorre devido aos limites de capacidade de tolerância do organismo.

Os mesoinvertebrados apresentaram algumas formas para sobreviver aos valores altos na compostagem: como tolerar as condições do meio ao ponto de alcançar o limite máximo da capacidade de suporte, a exemplo dos dípteros, que mantiveram-se no sistema mesmo em condições de temperatura, umidade e iluminação desfavoráveis. A espécie *Hermetia illucens*

permaneceu ao longo de todo o sistema. Enquanto que, as larvas de *Musca domestica* entraram em pupário quando, no momento de reviramento e passagem do material entre os dois comportamentos das composteiras, ficaram dispersas e desprotegidas na base da composteira CCR.

Além disso, os ácaros apresentaram tolerância às condições adversas e, quando estas passavam seu limite de tolerância, os mesmos entravam em latência, reaparecendo no sistema, quando as condições eram favoráveis. Os isópodes não participaram da fase de decomposição ativa, possivelmente, por preferir outras dietas, a exemplo da predação. Embora, sua participação no final do processo, provavelmente contribuiu para polimento do composto e redução dos níveis de metais no material.

Alguns estudos apontam que insetos têm a capacidade de diminuir a temperatura corporal por meio da evaporação da água (STEHR, 1991; TRIPLEHORN; JOHNSON, 2004; POLPRASERT; KOOTTATEP, 2017; CORDEIRO, 2018), possivelmente, pode ter sido uma estratégia utilizada por algumas espécies. Além disso, as espécies fogem de zonas desfavoráveis ou reduzem sua atividade metabólica para sobreviver às condições do meio.

Isso foi observado ao longo das análises de captura, identificação e contagem das espécies de mesoinvertebrados. Quando não era possível realizar a técnica no mesmo momento da coleta das amostras, foi necessário colocar as amostras na geladeira para análises posteriores. Quando, logo após, era realizado a pesagem da amostra e colocado na placa de petri para contagem e identificação das espécies, observou-se que os mesoinvertebrados apresentavam um período de dormência e se mexiam levemente sobre a massa de substrato, mas após as amostras voltarem a temperatura ambiente, todos os mesoinvertebrados voltavam suas atividades metabólicas.

Outra estratégia observada entre os mesoinvertebrados foi evitar as temperaturas altas indo a locais com temperaturas amenas como a base da leira, no qual o teor de umidade estava elevado, contribuindo para temperaturas mais baixas no estrato. Esse evento foi característico de larvas de *Musca domestica*, *Drosophila melanogaster* e *Ornidia obesa*. De acordo com Odum e Barret (2007) os animais regulam as suas atividades de forma a evitar a desidratação, movendo-se para locais protegidos ou entrando em atividade à noite. A umidade tem um papel importante na modificação dos efeitos da temperatura.

Entende-se que a temperatura tenha sido um fator limitante para algumas espécies, principalmente na forma de larvas e ninfas, mas as adaptações realizadas pelas espécies foram suficientes para evitar mortes ou fugas do sistema.

Evitar locais desfavoráveis também foi observada com indivíduos da ordem Mesostigmata (Família Parasitidae e Família Macrochelidae). Estes apresentaram preferência ao teor de umidade entre 45 e 55%, não sendo observados no sistema em percentuais acima ou abaixo desses valores, indicando que a umidade é um fator limitante das famílias, pois estes não parecem ser influenciados pela temperatura ou pH.

Os predadores, a exemplo das aranhas, vagueavam por toda a leira procurando presas, os animais menores, como os ácaros da Família Mesostigmata e Parasitidae, permaneciam em seus locais favoráveis e apresentavam nela as suas maiores abundância, como folhas, galhos, cascas e insetos.

Os organismos das famílias Staphylinidae (sp1), Staphylinidae (*Paederus* sp.), Phalacridae, Silvanidae, Formicidae, Anthocoridae, Anisolabididae, Armadillidiidae, Gryllidae e Theridiosomatidae só foram observados no sistema a partir da fase de semi-cura do sistema, observando-se que esses organismos são influenciados pelo pH ácido, temperatura alta e teor de umidade elevado, decorrentes da fase inicial do sistema. Vale ressaltar que a família Armadillidiidae (Isopoda: *Cubaris murina*) é caracterizada por se alimentar de matéria orgânica em decomposição e tem maior sucesso em umidades mais altas em serapilheira, mas a temperatura termófila (>40 °C) e pH ácido podem ter inibido o táxon no início do sistema de compostagem.

De forma geral, observou-se que a luz, temperatura, água e pH são fatores ecológicos reguladores. Os organismos adaptados respondem a esses fatores ou são limitados por eles. De acordo com Odum e Barret (2007) a luz é fonte fundamental de energia, sem a qual a vida não poderia existir, sendo grande parte das características estruturais e de comportamento dos organismos. No entanto, a exposição direta do protoplasma à luz provoca a morte do organismo. A luz, portanto, não é só um fator vital, mas também um fator limitante.

Do ponto de vista funcional, a comunidade do sistema apresentou uma microfauna, mesofauna e macrofauna. Os microfauna do sistema corresponde a bactérias, fungos, ovos de helmintos, protozoários e líquens, que são organismos que vivem em filmes de água. Segundo Lavelle (1996) a microfauna tem a capacidade de digerir o substrato. No entanto, sua incapacidade de movimentação e a distribuição descontínua de recursos orgânicos na escala que operam, fazem com que permaneçam inativos em partes do tempo.

A mesofauna do sistema foi composto por Dípteros, Coleópteros, Mesostigmata e Hemípteros, ou seja, organismos com tamanho entre 0,2 e 10mm. A mesofauna era bastante diversificada e apresenta alta taxa populacional.

A atividade da mesofauna tem efeitos significativos na dinâmica, organização e estrutura da matéria orgânica (LAVELLE, 1996). Segundo Trautmann e Krasny (1997) a mesofauna abre pequenos espaços para locomoção, promove a quebra mecânica e enzimática do material em decomposição ao alimentar-se de matéria orgânica, excretam suas fezes que podem ser aproveitados por outros organismos, promovendo, como produto final o húmus. Além disso, contribuem para promover a estrutura da massa de substrato, acelerar a mineralização dos nutrientes e, especialmente, na mobilização do nitrogênio.

A macrofauna correspondeu a tatu de jardim, tesourinha, grilos e aranhas. Estes apareceram no sistema na fase de estabilização e foram responsáveis pela movimentação da massa de substrato; alimentação da matéria orgânica; regulação e controle biológico, através da predação, de outras populações de organismos; na manutenção da qualidade do composto e redistribuição de nutrientes.

Os mesoinvertebrados observados e monitorados no sistema de compostagem foram classificados quanto à similaridade do uso de recursos (Guilda), conforme quadro 12.

Quadro 12. Guildas no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.

Famílias	Necrófago	Saprófago	Predador	Parasitas	Omnívoro	Fungívoro	Outros
Stratiomyidae	x	x			x		
Muscidae	x	x	x		x		x
Drosophilidae	x						x
Syrphidae	x	x		x			x
Staphylinidae		x	x				
Phalacridae						x	x
Silvanidae			x			x	x
Formicidae	x				x		
Pteromalidae				x			
Anthocoridae			x		x		x
Gryllidae	x	x			x		x
Anisolabididae		x	x				x
Parasitidae	x	x	x	x	x		x
Macrochelidae	x	x	x	x	x		x
Theridiosomatidae			x				
Armadillidiidae	x	x					

Fonte: autoria própria

Existe uma estreita relação entre o nicho ocupado por um organismo e as características físicas e químicas do meio (ODUM; BARRET, 2007). Espera-se que os organismos tenham ou produzam condições de ter capacidade de tolerar as condições físicas e químicas

correspondentes a, no mínimo, aquela considerada ótima para seu crescimento. Os estudos experimentais da presente pesquisa mostraram que essa relação é verdadeira, identificando que as espécies apresentam uma amplitude larga de tolerância para um ou mais fatores, enquanto apresentam estreita tolerância a outros.

No entanto, há uma falta de conhecimento sobre os papéis funcionais que algumas espécies desempenham no sistema de compostagem, de modo que sua contribuição para o funcionamento do sistema tem sido comparativamente menos investigada do que em outros organismos (NORIEGA *et al.*, 2018). Isso acarreta no receio da população em realizar a compostagem domiciliar e/ou comunitária, por medo que os organismos saiam do sistema, por acreditar que os organismos prejudiquem as plantas, por considerar certos organismos como repulsivo ou não entender os benefícios dos organismos na decomposição da matéria orgânica.

Os benefícios que os organismos exercem no sistema de compostagem foram classificados de acordo com seus serviços ecossistêmicos¹² (Quadro 13).

Quadro 13. Serviços ecossistêmicos prestados pelos organismos no sistema de compostagem

Serviço de provisão	Composto estabilizado Formação de biomassa Nutrientes para o solo Nutrição de diferentes organismos
Serviço de regulação	Absorção de carbono Processos de nitrificação Decomposição e humificação Controle biológico Regulação dos fatores físicos e químicos Ciclagem da matéria Fluxo de energia Mineralização Densidade e diversidade biológica
Serviços de apoio	Aeração do substrato Revolvimento do substrato
Serviços de saúde	Eliminação de organismos patogênicos Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos Limpeza ambiental
Serviços culturais	Valoração dos resíduos sólidos orgânicos Cumprimento à Gestão integrada de resíduos sólidos Organismos bioindicadores Instrumento de pesquisa entomológica

¹² Os serviços ecossistêmicos são todos serviços ofertados por um sistema ou espécie que beneficia de forma direta ou indiretamente os seres humanos, fornecendo-lhes energia e bem-estar através de serviços ecossistêmicos de provisão, regulação, apoio, saúde e culturais.

Pesquisa realizada nos Llanos colombianos avaliaram a atividade da biota edáfica no solo e seus serviços ecossistêmicos. Lavelle *et al.* (2014) encontraram a relação significativa entre a macrofauna do solo e a qualidade química e física do solo, a produtividade primária, o carbono no solo e na vegetação, a conservação da biodiversidade e a condição socioeconômica dos proprietários das terras.

O interesse de pesquisas sobre os serviços ecossistêmicos de organismos cresceu nos últimos tempos, mas, no geral, ainda são poucos os estudos dedicados a grupos tróficos com papéis únicos no fornecimento de serviços ecossistêmicos, a exemplo dos artrópodes. Este nível de conhecimento baixo possivelmente ocorre devido às dificuldades de quantificar os valores dos serviços ecossistêmicos da mesofauna, métodos experimentais funcionais ou por considerar as espécies apenas como vetores mecânicos. Vale salientar que uma mesma espécie pode apresentar serviços (benefícios) e desserviços ecossistêmicos (prejuízos). A exemplo, destaca-se as moscas representante da *Ornidia obesa*, fundamental para decomposição da matéria orgânica, mas que causam miíase, conforme descrevem Monteiro *et al.* (2008) e López; Romero e Parra (2017).

De forma geral, observa-se que a comunidade de mesoinvertebrados inclui ovos, larvas, ninfas, pupas e adultos, os quais apresentaram diversas características biológicas e ecológicas que justificam a sua ampla função em estudos no sistema de compostagem, dentre elas, destacam-se sua abundância e diversidade no sistema de compostagem; podem ser afetados por alterações ambientais e/ou estruturais; sua natureza leva a uma eficiente análise das fases do sistema; são diferentemente sensíveis a mudanças do meio e reagem a eles rapidamente, apresentando um espectro variável de respostas; favorecem a ciclagem de nutrientes e transformação da matéria orgânica; contribuem para formação de composto de qualidade; formam uma comunidade heterogênea, com representantes de várias ordens; alguns resistem às condições do meio, mostrando ampla capacidade de tolerância; participam da sucessão ecológica do sistema de compostagem; vivem o suficiente para sofrer as variações dos parâmetros físicos e químicos; sua coleta é simples e de baixo custo; não afetam adversamente o ambiente e são mais fáceis de identificar, segundo metodologias existentes.

Os resultados revelam que são necessários conhecimentos mais aprofundados acerca da fisiologia do organismo com relação à composição química celular e os mecanismos de ajustamento metabólico quando as condições se mostram adversas. Fica evidente que o nível de conhecimento nessa área ainda é incipiente. É necessário definir o perfil metabólico dos organismos e identificar seu papel na decomposição da matéria orgânica, principalmente para

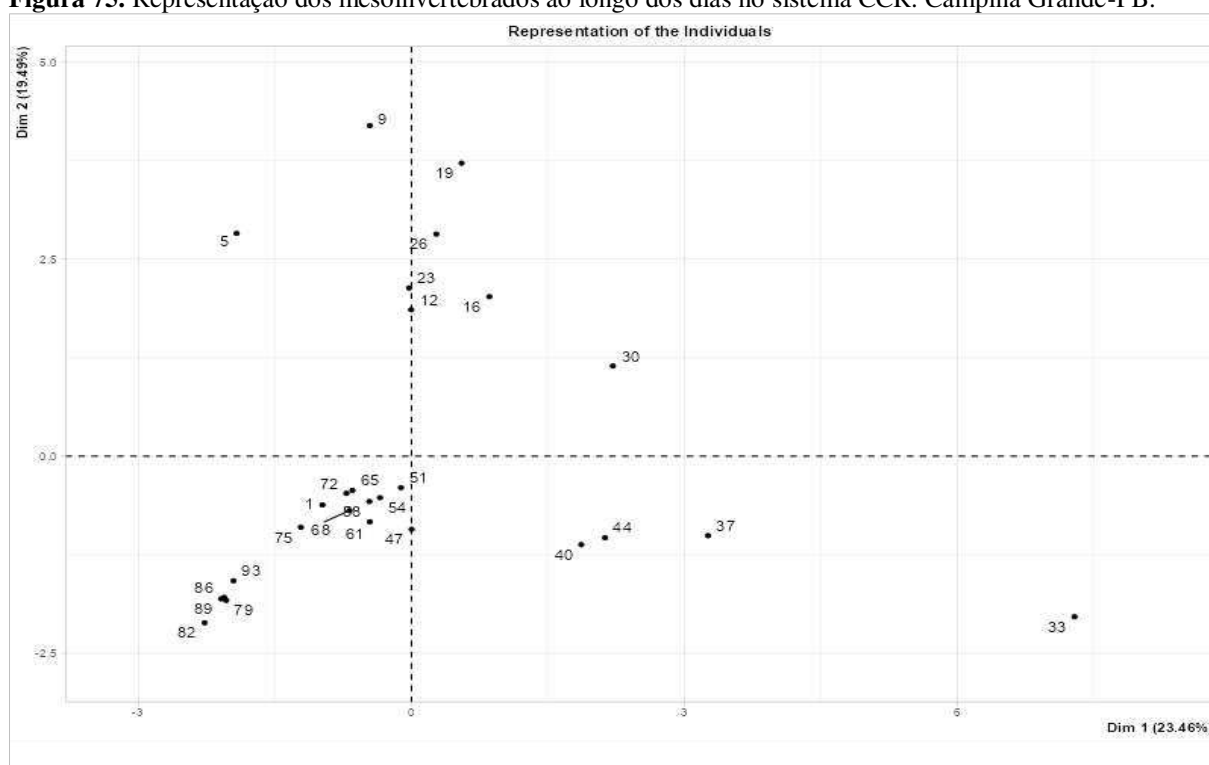
aqueles com potencial de degradação significativo (como Stratiomyidae: *Hermetia illucens*) e com capacidade de controle biológica (como Pteromalidae: *Spalangia* sp.).

5.10 Análise multivariada

Para análise dos componentes principais (PCA) foram escolhidos os parâmetros físico-químicos mais analisados: sólidos totais voláteis (STV%), sólidos totais (ST%), potencial hidrogeniônico (pH), teor de umidade (%), temperatura (°C) e ovos de helmintos (ovos/gST). Os gráficos de *loading* são plotados com dois componentes principais extraídos para os diferentes sistemas CCR, CAR e CPC.

A Figura 75 apresenta a representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema de concreto (CCR).

Figura 75. Representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema CCR. Campina Grande-PB.



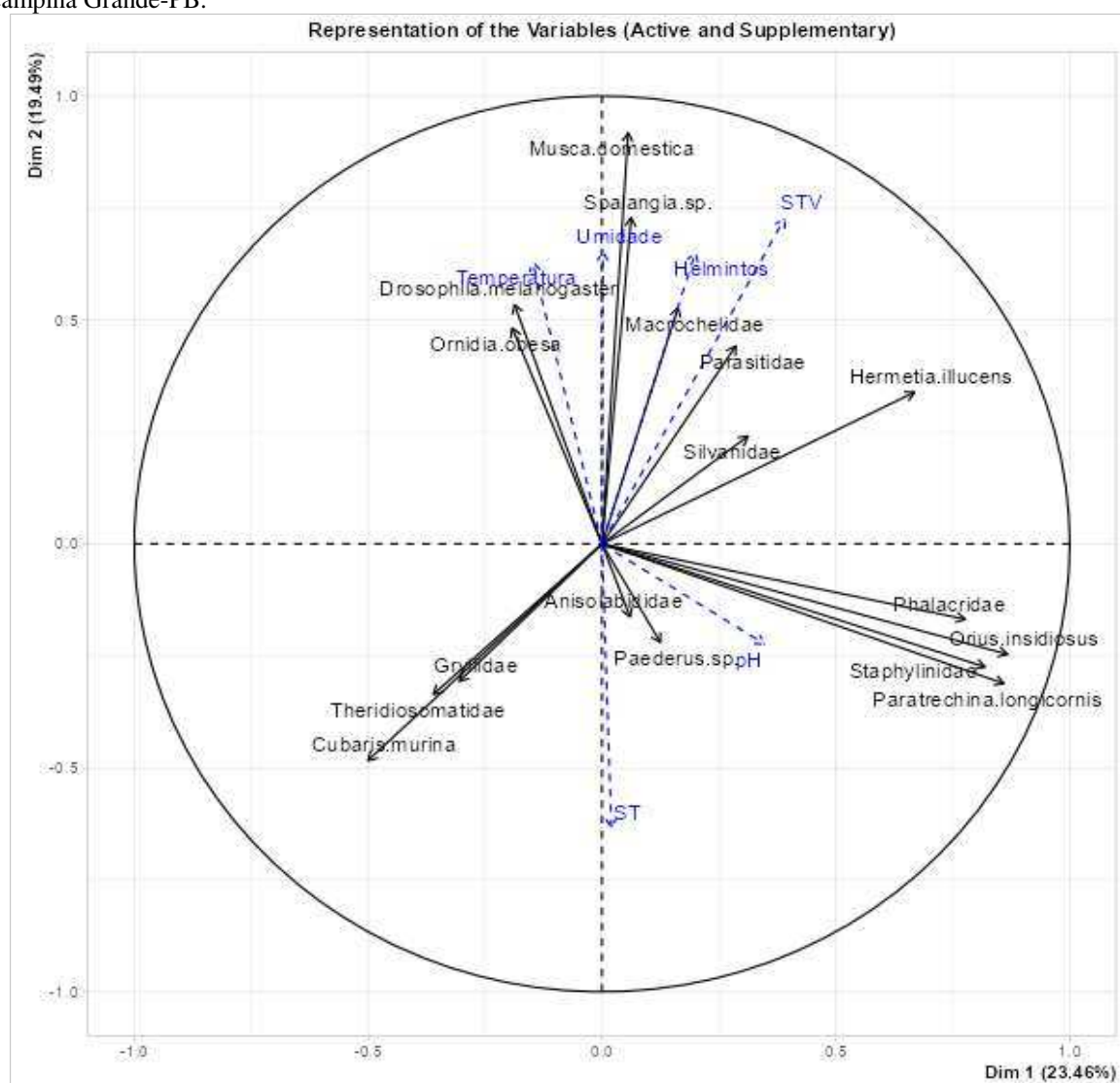
Fonte: autoria própria

Através da representação dos mesoinvertebrados, observou-se que, de modo geral, as espécies apresentaram maior abundância e riqueza entre os 12 e 44° dias, que correspondeu 68,1% das espécies no sistema. Esse período corresponde entre o final da fase termófila até a fase de estabilização. Durante essa etapa, todas as famílias de Coleoptera e a família

Pteromalidae (*Spalangia* sp.) completaram seu ciclo e saíram do sistema. Do mesmo modo, observou-se redução da população de Anthocoridae (*Orius insidiosus*), Formicidae (*Paratrechina longicornis*) e dos ácaros Parasitidae e Macrochelidae.

A Figura 76 apresenta a análise de componentes principais no sistema de concreto retangular (CCR).

Figura 76. Análise de componentes Principais (PCA) no sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Ornidia obesa e *Drosophila melanogaster* são influenciadas pela mudança de pH. Ambas prevaleceram em pH baixo, desaparecendo do sistema quando os níveis alcançaram o meio neutro.

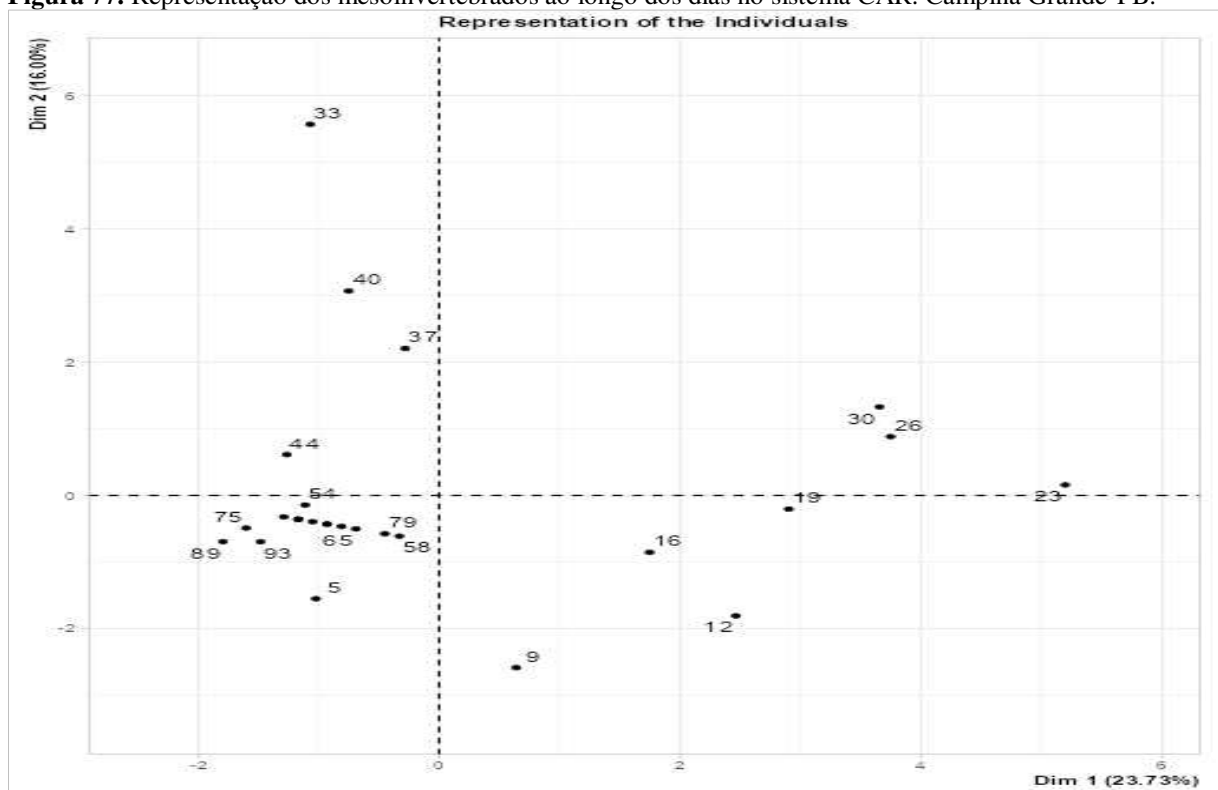
Gryllidae, Theridiosomatidae, Armadillidiidae (*Cubaris murina*), Anisolabididae, Phalacridae, Staphylinidae (*Paederus* sp. e sp1), Anthocoridae (*Orius insidiosus*) e Formicidae (*Paratrechina longicornis*) são negativamente associados ao teor de umidade. Isso ocorreu pois essas espécies tiveram sua incidência a partir da quarta semana de montagem do sistema, quando os níveis de umidade estavam entre 42 e 40% e a massa já apresentava concentração de sólidos totais alta. Embora tenham contribuído para diversidade de espécies no sistema, foram pouco abundantes e algumas espécies saíram rapidamente.

Musca domestica, *Hermetia illucens*, *Spalangia* sp., Silvanidae, Parasitidae e Macrochelidae são positivamente associados com umidade, sólidos totais voláteis e temperatura, portanto, são altamente relacionados ao andamento do processo.

Observa-se que helmintos parecem estar associados com *Musca domestica*, *Hermetia illucens*, *Spalangia* sp., Silvanidae, Parasitidae e Macrochelidae, mas entende-se que os mesmos coabitam no ambiente durante as mesmas condições ambientais que as espécies citados.

A Figura 77 tem a representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR).

Figura 77. Representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema CAR. Campina Grande-PB.

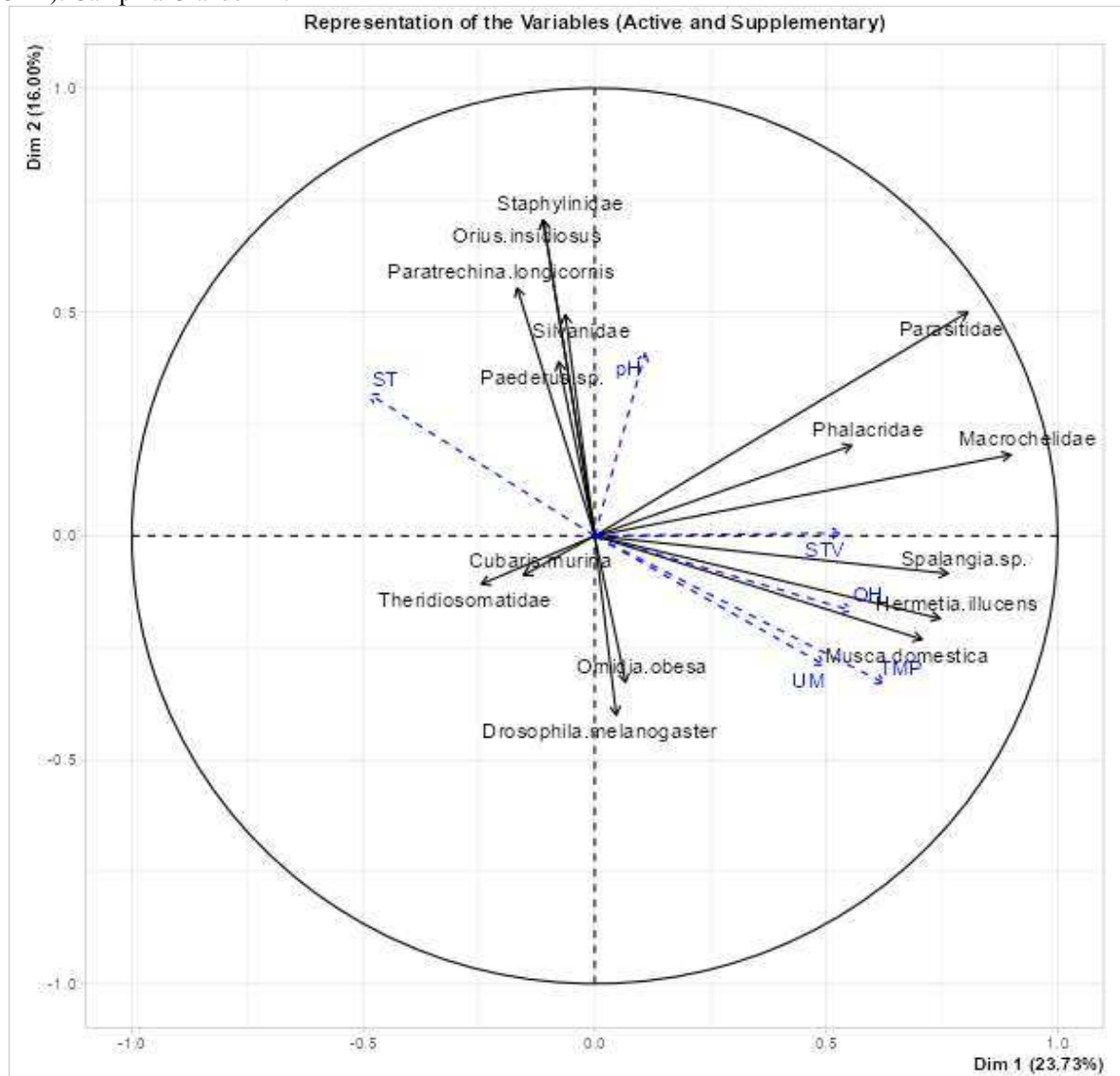


Fonte: autoria própria

A representação dos mesoinvertebrados mostra uma maior abundância e riqueza no sistema CAR (entre 9 e 30° dias). Esse período ocorreu entre a fase termófila e o início da fase de estabilização e corresponde a 66,4% das espécies coletadas no sistema.

A figura 78 apresenta a análise de componentes principais no sistema de aço inoxidável retangular (CAR).

Figura 78. Análise de componentes Principais (PCA) no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.



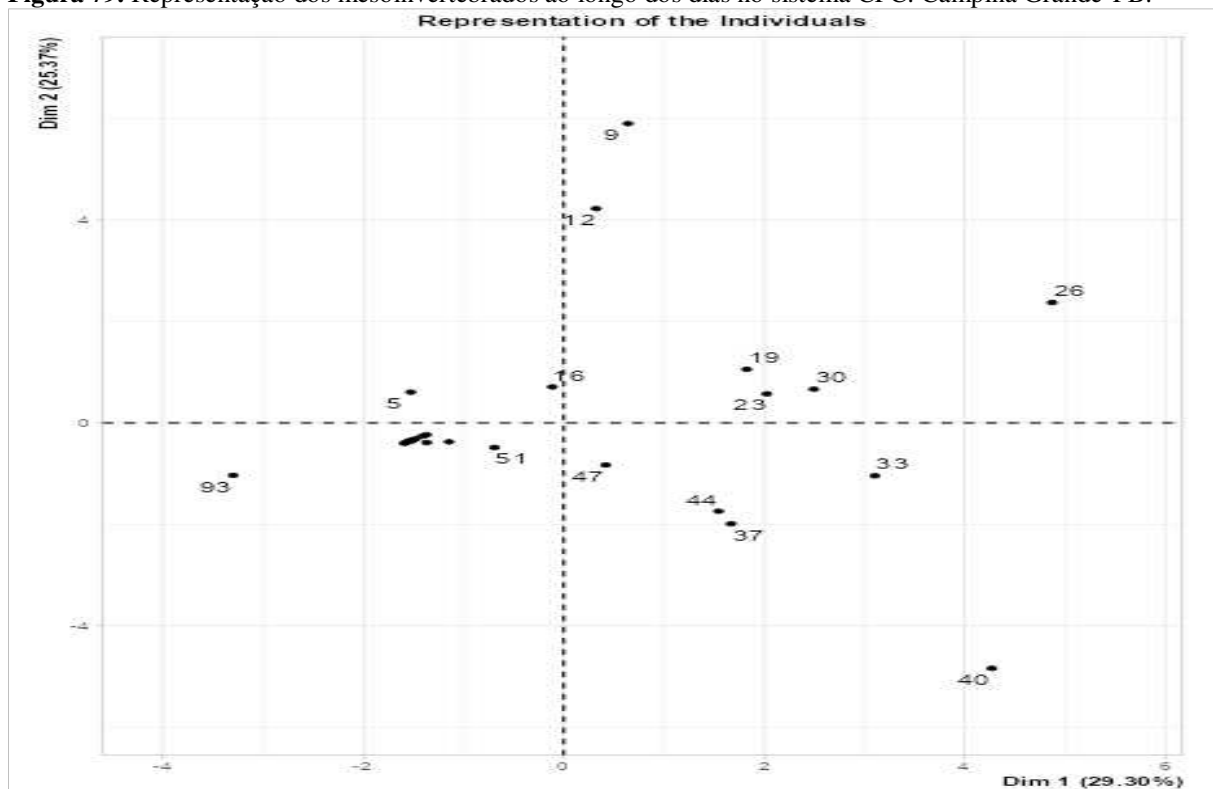
Fonte: autoria própria

Assim como nos demais sistemas, Theridiosomatidae e Armadillidiidae (*Cubaris murina*) apresentaram-se associação entre si, mas não apresentaram relação com as outras espécies. No sistema CAR observou-se uma semelhança significativa entre os táxons Coleoptera, Hemiptera e Hymenoptera. Todos relacionados aos sólidos totais.

Musca domestica, *Hermetia illucens*, *Ornidia obesa* e *Drosophila melanogaster* mostraram associação, indicando sua relação taxonômica. A *Spalangia* sp. é conhecida pelo seu papel parasitoide, ou seja, passam parte do seu ciclo de vida no interior do corpo do hospedeiro. Os himenópteros parasitóides são os principais agentes de controle biológico de pupas de moscas (THOMAZINI; BERTI FILHO, 2000). Dessa forma, sua relação com as espécies de Diptera e incidência durante a fase pupal no sistema é justificável. Sua incidência no sistema de compostagem corresponde às mesmas condições ambientais e ao mesmo período de tempo que as pupas de Diptera.

A Figura 79 tem a representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC).

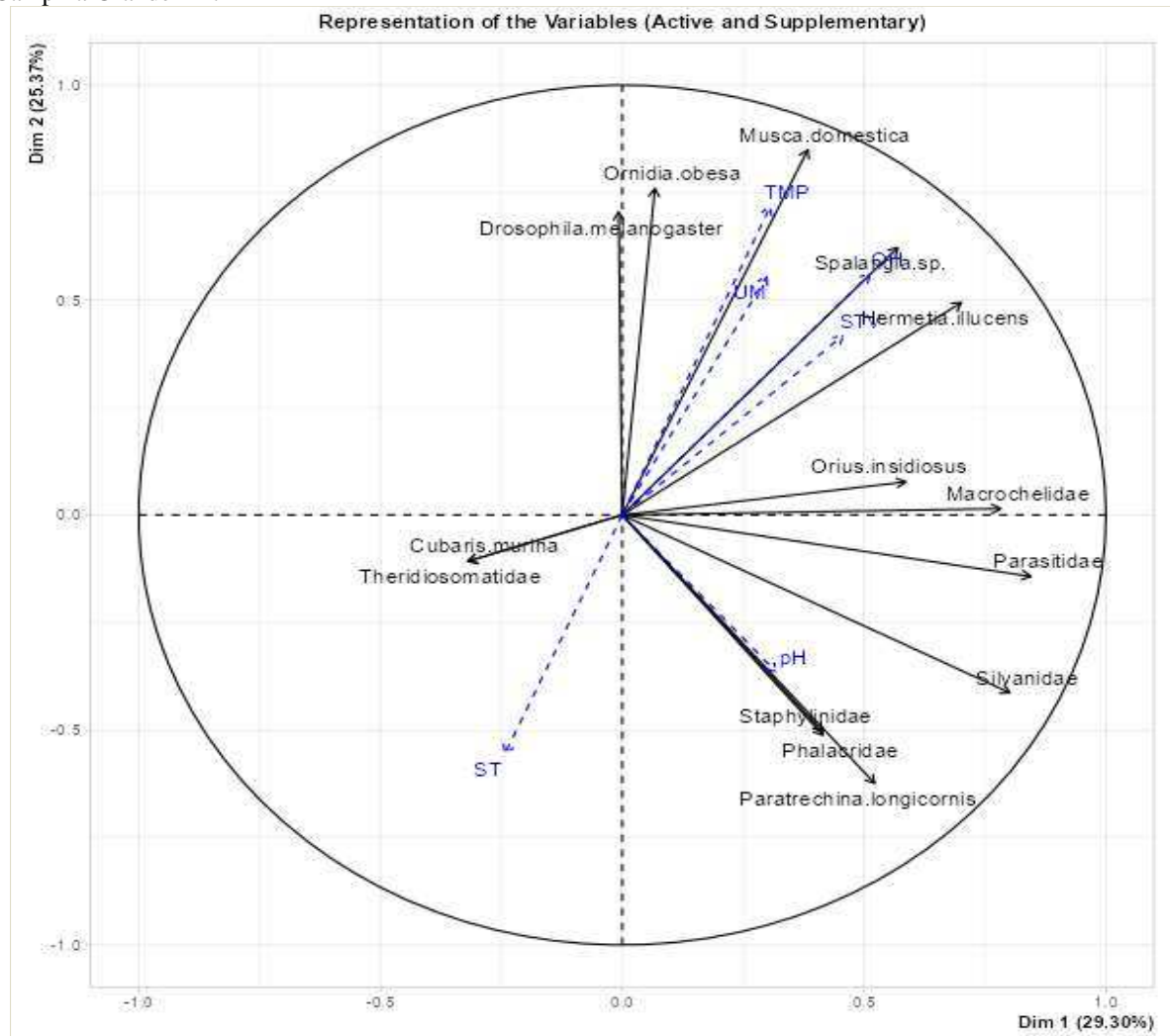
Figura 79. Representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema CPC. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Na representação dos mesoinvertebrados ao longo dos dias no sistema CPC, observou-se que a escala de abundância ao longo dos dias ocorreu por um período maior de tempo (entre 9 e 44° dias), mostrando que a maior abundância do sistema ocorreu entre a fase de maiores temperaturas (termófila) e a fase estabilização. Essa fase corresponde a 86,6% dos organismos coletados no referido sistema (Figura 80).

Figura 80. Análise de componentes Principais (PCA) no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC). Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Neste sistema, todas as espécies de táxons, com exceção de *Theridiosomatidae* e *Armadillidiidae* (*Cubaris murina*), encontram-se no eixo x. Isso é resultado do processo de sucessão ecológica no sistema CPC, indicando que, em determinado momento da compostagem, as espécies se correlacionaram. Apenas *Theridiosomatidae* e *Armadillidiidae* (*Cubaris murina*) foram visualizadas em pequena abundância no final do processo. *Paederus* sp., *Anisolabididae* e *Gryllidae* não foram coletados no sistema CPC.

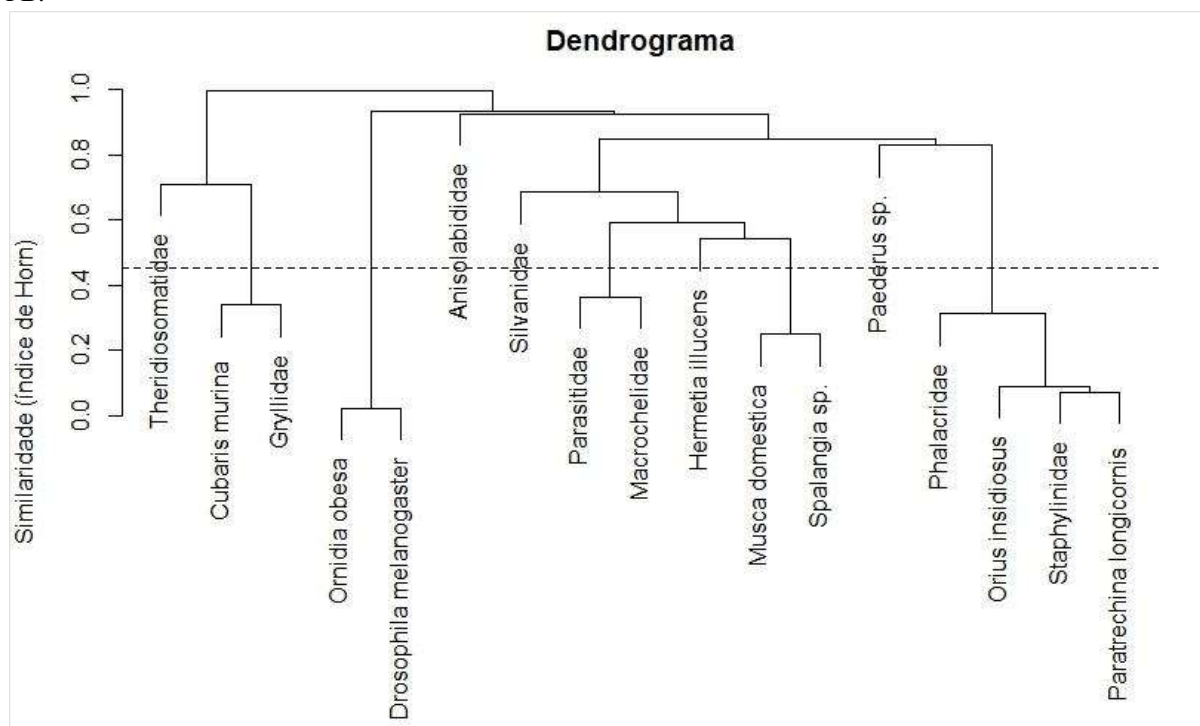
Assim como nos outros sistemas, observou-se que *Theridiosomatidae* e *Armadillidiidae* (*Cubaris murina*) são isolados dos demais táxons. Sua presença apenas no final da fase de estabilização promoveu ausência de inter-relação com as outras espécies.

Resultados semelhantes foram observados no dendrograma baseado na similaridade de Horn e apresentou valores superiores a 0.4. De forma geral, as espécies adaptadas às condições iniciais estiveram próximas, enquanto que as espécies adaptadas às condições mais amenas,

com pH alcalino e sólidos totais alto, mantiveram-se associadas. Nessa perspectiva, pode-se apontar as principais espécies indicadoras de cada fase no sistema CCR.

A Figura 81 apresenta o dendrograma, representando a similaridade das espécies no sistema de composteira de concreto retangular (CCR).

Figura 81. Dendrograma obtido pela UPGMA, representando a similaridade entre as amostras (Morisita-Horn), baseado nas espécies encontradas no sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.



Índice de correlação fonética = 0.8999374. Fonte: autoria própria

O índice de Morisita-Horn nos sistemas mostra exatamente as similaridades e distâncias observadas nas análises de campo. No primeiro grupo, encontram-se os táxons presentes apenas no final do sistema, já na fase de estabilização (Theridiosomatidae, Armadillidiidae = *Cubaris murina* e Gryllidae).

Tanto a família Gryllidae, quanto Anisoplabiidae foram pouco representativas e estavam presentes apenas no sistema CCR.

Nos três sistemas, observou-se semelhança entre os dípteros *Ornidia obesa* e *Drosophila melanogaster*. Ambos os táxons tiveram pouca incidência, no mesmo período de tempo, durante a fase termófila. Seguidamente, sua abundância reduziu até saírem do sistema.

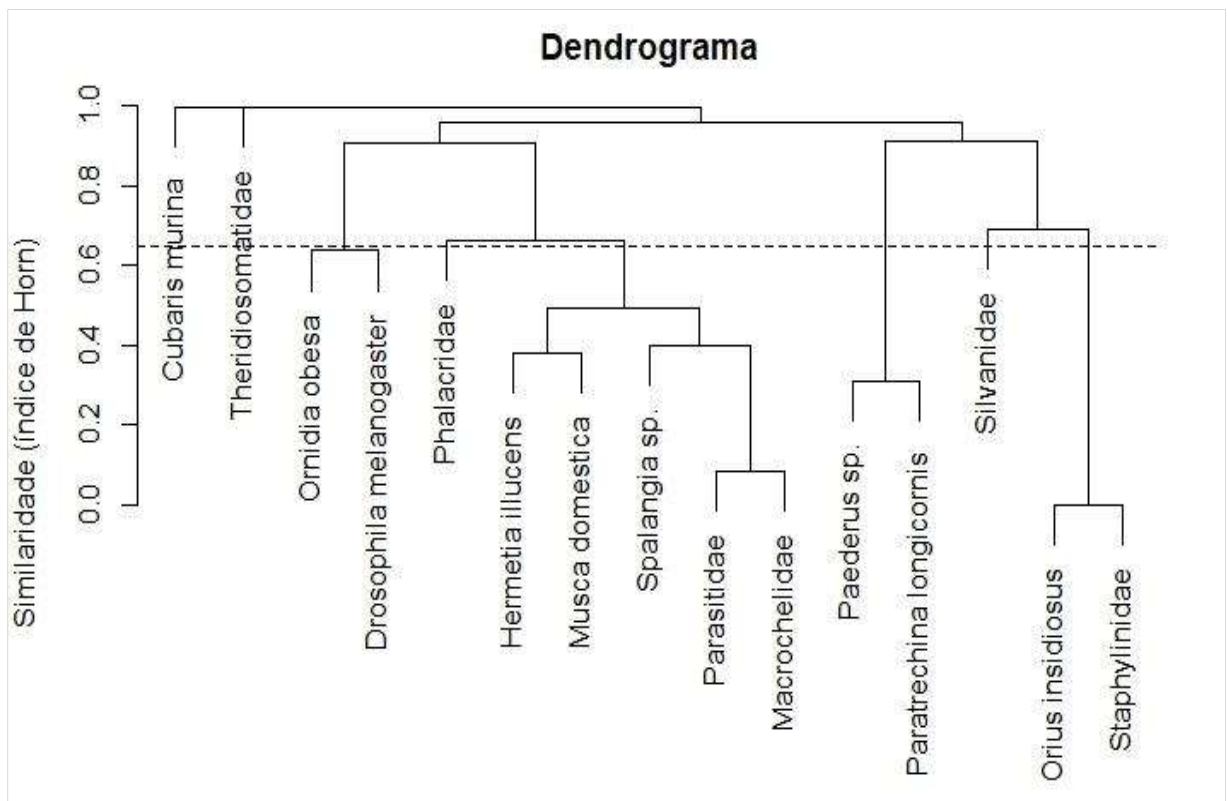
Nos sistemas CCR e CAR, as moscas *Hermetia illucens* e *Musca domestica* tiveram correlacionadas com *Spalangia* sp., em virtude de sua característica parasitóide, juntamente

com os ácaros Parasitidae e Macrochelidae, que são predadores e tem preferência as mesmas condições ambientais que as moscas.

Ocorreu uma diferenciação de similaridade dos táxons Phalacridae, Anthocoridae (*Orius insidiosus*), Staphylinidae (Sp.) e Formicidae (*Paratrechina longicornis*), Silvanidae e Staphylinidae (*Paederus* sp.) nos três sistemas. Possivelmente, as condições do meio tenham contribuído para capacidade de suporte de cada espécie, sua permanência no sistema e sua relação com outras espécies.

A Figura 82 apresenta o dendrograma, representando a similaridade das espécies no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR).

Figura 82. Dendrograma obtido pela UPGMA, representando a similaridade entre as amostras (Morisita-Horn), baseado nas espécimes encontradas no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.

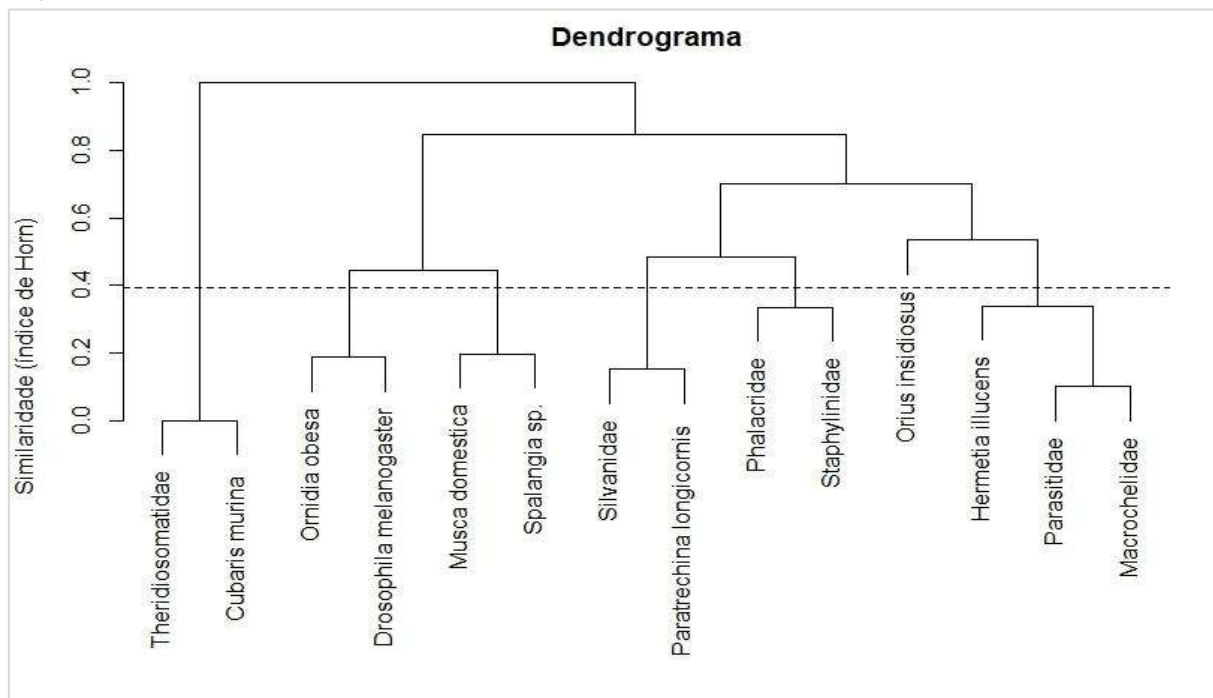


Índice de correlação fonética = 0.9268656. Fonte: autoria própria

O resultado da similaridade no sistema de aço inoxidável retangular mostrou valores superiores a 0.6. De forma semelhante ao sistema CCR, observou-se que as espécies se comportavam mostrando associação entre aquelas com limites de tolerância às condições do meio.

A Figura 83 apresenta o dendrograma, representando a similaridade das espécies no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC).

Figura 83. Dendrograma obtido pela UPGMA, representando a similaridade entre as amostras (Morisita-Horn), baseado nas espécimes encontradas no sistema de composteira de polietileno cilíndrico (CPC). Campina Grande-PB.



Índice de correlação fonética = 0.8251408. Fonte: autoria própria

O resultado da similaridade no sistema de polietileno cilíndrico mostrou valores de 0.4.

Ao contrário dos outros sistemas, a espécie *Spalangia* sp. esteve relacionada apenas com *Musca domestica*, enquanto que *Hermetia illucens* apresentou similaridade com Parasitidae e Macrochelidae. Os demais táxons mostraram respostas semelhantes.

Os dados mostram que, embora tenha-se realizado a compostagem com o mesmo resíduo sólido orgânico e no mesmo período de tempo, o sistema é constituído por diversidade de espécies que coabitam de forma dinâmica, correlacionando e influenciando no desenvolvimento umas das outras. Cada sistema tem as suas especificidades. De acordo com Eira (1995) seres vivos e ambiente afetam-se mutuamente, e as condições são continuamente modificadas podendo favorecer ou desfavorecer os próprios organismos ou o ambiente. Ressalta-se que a abundância e diversidade de espécies podem ser alteradas, à medida que variam as condições ambientais e as influências externas. As condições ambientais e os recursos do meio definem a forma de desenvolvimento, as necessidades e os limites de tolerâncias dos organismos.

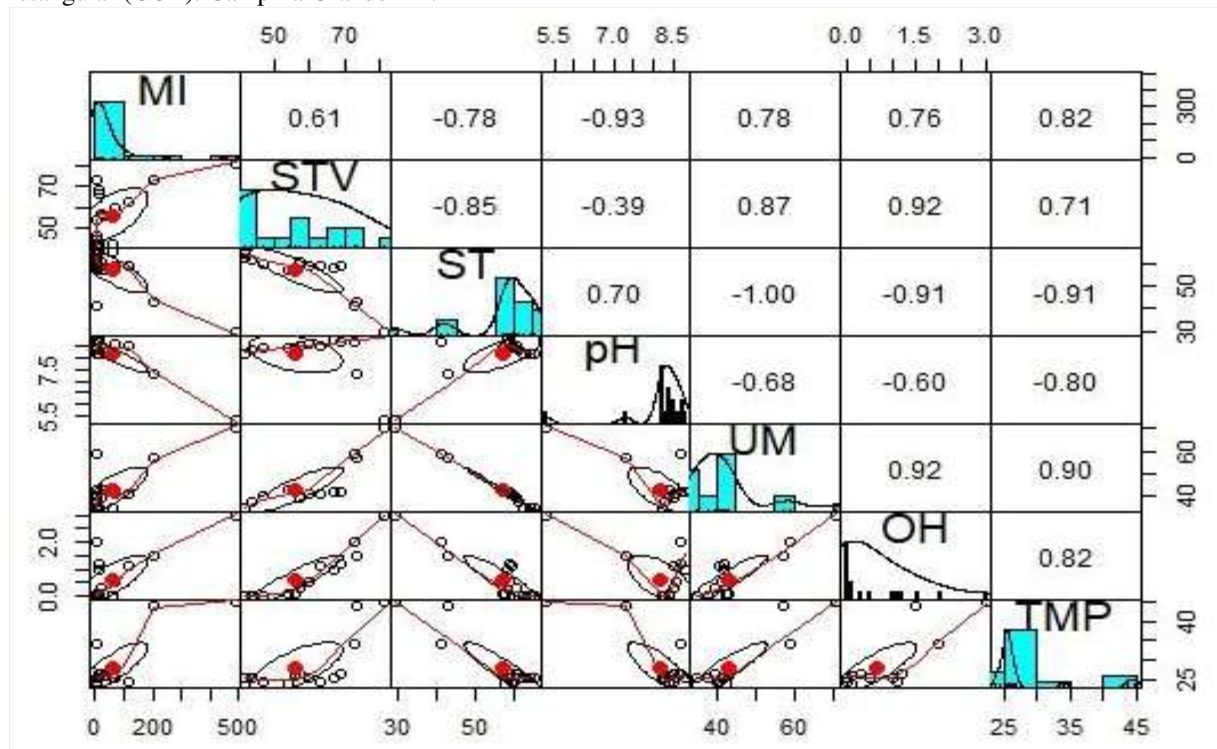
Nessa perspectiva, a diferença das associações entre as espécies e os parâmetros físico-químicos demonstram que cada composteira é um sistema único e as condições ambientais, modelo de composteira e influências externas influenciam na dinâmica das espécies.

5.11 Análise de correlação entre os principais parâmetros monitorados durante a compostagem

A aplicação do Coeficiente de Karl Pearson revelou a existência de correlação entre os parâmetros analisados, durante o processo de compostagem nos sistemas CCR, CAR e CPC, indicando a interdependência entre os parâmetros.

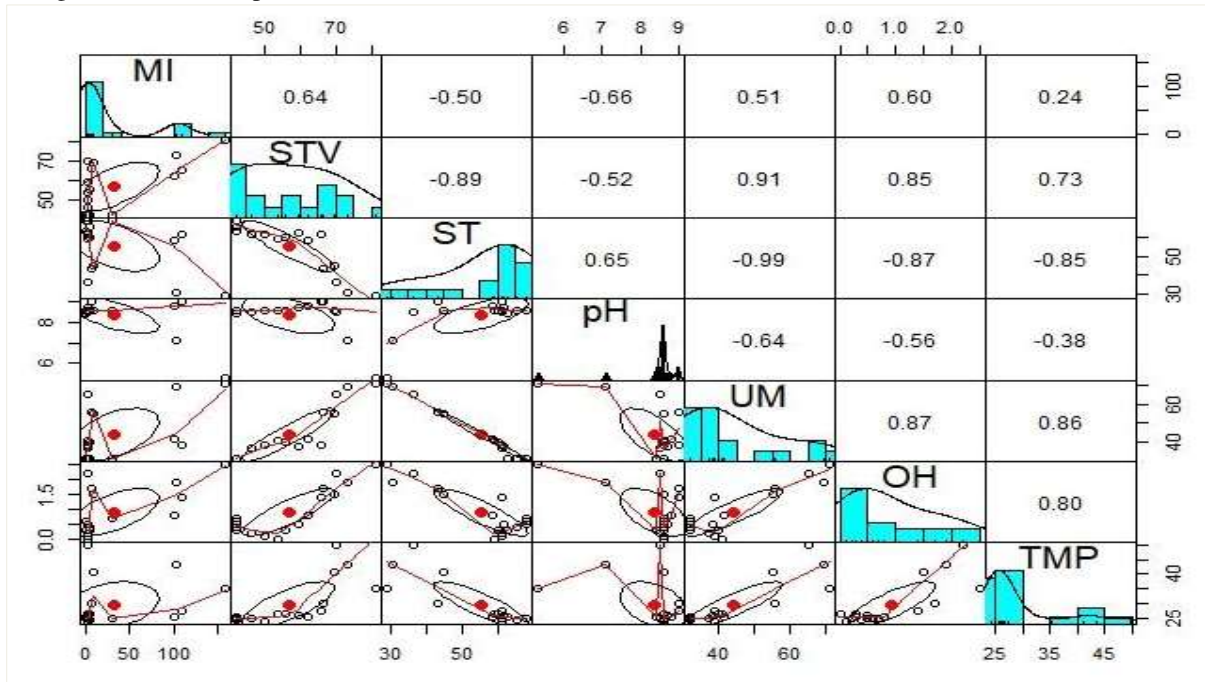
Nas figuras 84, 85 e 86 estão presentes o coeficiente de correlação com combinação gráfica e numérica pelo *pairs plot*. As correlações classificadas por Shimakura (2006) como super forte ($r = 0,90$ a $1,00$), forte ($r = 0,70$ a $0,89$), moderada ($r = 0,40$ a $0,69$) e fraca ($r = 0,20$ a $0,39$), observada entre os parâmetros monitorados durante o período de 93 dias de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

Figura 84. Correlação entre os principais parâmetros monitorados no sistema de composteira de concreto retangular (CCR). Campina Grande-PB.



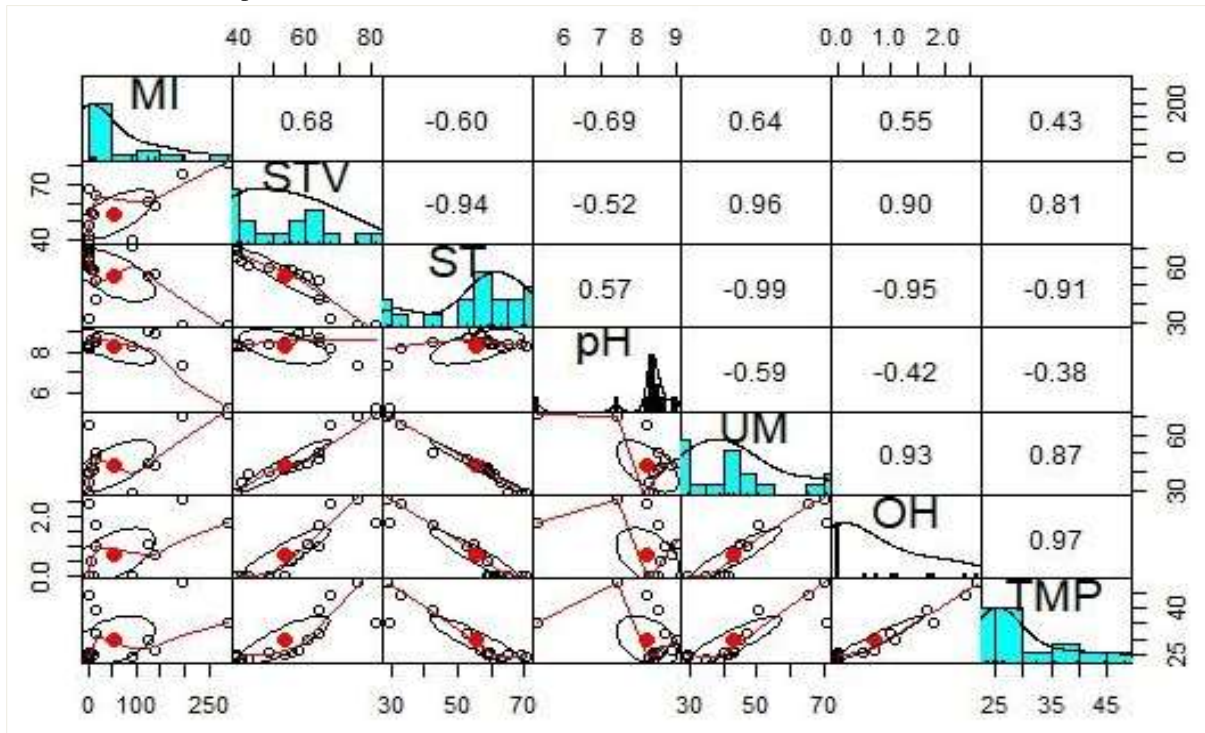
Legenda: MI = Mesoinvertebrados; STV = Sólidos totais voláteis; ST = Sólidos totais; pH = Potencial hidrogeniônico; UM = Teor de umidade; OH = Ovos de helmintos; TMP = Temperatura. Fonte: autoria própria
Significância: 0; *** = 0.001; ** = 0.01; * = 0.05; ‘.’ = 0.1; ‘ ’ = 1.

Figura 85. Correlação entre os principais parâmetros monitorados no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR). Campina Grande-PB.



Legenda: MI = Mesoinvertebrados; STV = Sólidos totais voláteis; ST = Sólidos totais; pH = Potencial hidrogeniônico; UM = Teor de umidade; OH = Ovos de helmintos; TMP = Temperatura. Fonte: autoria própria
Significância: 0; *** = 0.001; ** = 0.01; * = 0.05; ‘.’ = 0.1; ‘ ’ = 1.

Figura 86. Correlação entre os principais parâmetros monitorados no sistema de composteira de polietileno cilíndrica (CPC). Campina Grande-PB.



Legenda: MI = Mesoinvertebrados; STV = Sólidos totais voláteis; ST = Sólidos totais; pH = Potencial hidrogeniônico; UM = Teor de umidade; OH = Ovos de helmintos; TMP = Temperatura. Fonte: autoria própria
Significância: 0; *** = 0.001; ** = 0.01; * = 0.05; ‘.’ = 0.1; ‘ ’ = 1.

A diagonal representa os histogramas que indicam a distribuição das parcelas em classes de valores das taxas de dinâmicas. A diagonal inferior tem a combinação gráfica de dispersão da relação entre os parâmetros, mostrando correlação positiva entre os parâmetros, com exceção do pH e sólidos totais, que mostraram-se negativo para os parâmetros. A diagonal superior representa a correlação e a significância das relações entre os parâmetros.

A partir dessas análises, entende-se que à medida que os valores de pH e sólidos totais aumentam, o número de ovos de helmintos presentes nos sistemas diminuem. Os resultados sugerem que pH alcalino e sólidos totais alto se relacionam negativamente com os ovos de helmintos. Os níveis de temperatura baixaram, assim como ovos de helmintos, ao longo do tempo. Logo, é esperado correlação positiva para os dois parâmetros.

Estudos supõem que temperaturas altas são responsáveis pela destruição de ovos de helmintos (FEACHEM *et al.*, 1983). No entanto, a correlação alta positiva indica que esse não é o único parâmetro necessário para eliminação e destruição da membrana dos ovos. Resultados semelhantes também foram observados com a co-compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares e lodo de esgoto realizados em três cidades paraibanas, realizados por Silva (2021).

Podia-se concluir sobre este resultado que as temperaturas mais altas das composteiras do sistema CPC levariam a uma destruição mais rápida de ovos de helmintos no sistema de compostagem. Contudo, mesmo que as temperaturas no sistema CPC tenham sido as mais altas, a redução de ovos de helmintos entre os três sistemas não apresentaram desvio padrão significativo.

Diante disso, entende-se que a temperatura da pilha de compostagem é um fator que influencia na redução e destruição de ovos de helmintos no sistema de compostagem, mas não é o único parâmetro a ser observado.

A incidência de ovos de helmintos após a fase termófila levanta a possibilidade que o pH atua sobre os ovos remanescentes. Sem ação dos valores de temperaturas altas, que é o principal parâmetro estudado para eliminação de ovos de helmintos, o pH alcalino pode atuar nesse viés, inativando e eliminando os ovos. Esse resultado corrobora com a pesquisa de Feitosa (2019) e Silva (2021) que observaram ovos de helmintos remanescentes após a fase termófila.

A temperatura correlaciona positivamente com sólidos totais voláteis e com mesoinvertebrados, indicando a característica exotérmica dos organismos autóctones no sistema de compostagem. Como processo aeróbio, quanto maior for a concentração de sólidos totais voláteis, maior será a taxa de bioconversão da massa de substrato. Dessa forma, à medida

que aumentou a contração de sólidos no material, elevou-se a concentração de ovos de helmintos, representado pela correlação positiva forte (CPC) e muito forte (CCR e CAR). Isso significa que, à medida que o substrato vai sendo volatizado vai reduzindo os helmintos, mostrando uma dependência alta entre os dois parâmetros.

Os dados mostraram uma correlação positiva forte (CAR) e muito forte (CCR e CPC) entre teor de umidade e ovos de helmintos, resultado, possivelmente, dos ovos serem preferencialmente depositado em locais de umidade alta, características observadas nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. A formação de bolotas na massa de substrato pode ter criado um ambiente favorável para sua incidência por mais tempo no sistema. Embora o reviramento adequado tenha contribuído para desmanchar esses micro-habitats. Dessa forma, ocorreu redução e destruição dos ovos de helmintos, à medida que umidade também reduziu nos sistemas.

Os achados deste estudo mostram que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares são ambiente com condições adequadas para incidência de ovos de helmintos, com um potencial contaminante significativo. Mas a compostagem é uma técnica eficaz para a inativação e destruição dos ovos de helmintos.

5.12 Massa de biodegradação

A evolução cinética estuda a velocidade das reações químicas e os fatores que as influenciam, podendo ser usada para a avaliação do processo de compostagem, visto que, quanto maior for o valor de k, melhor será o desempenho do processo (TOSUN *et al.* 2008). Dessa forma, as constantes de velocidade de biodegradação da concentração de sólidos totais voláteis (STV), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foram estimadas obedecendo a cinética de primeira ordem (Tabela 19).

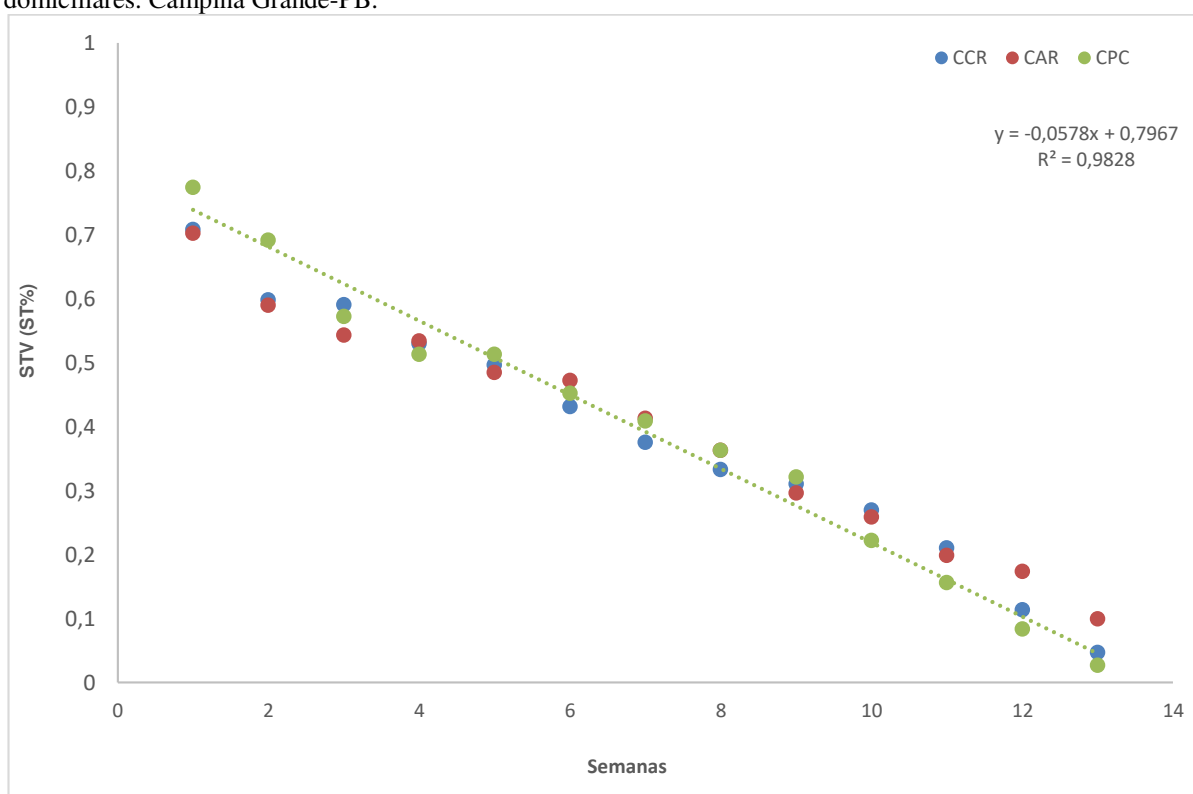
Tabela 19. Dados quantitativos da massa de biodegradação obtidos nos sistemas de compostagem.

Sistemas de compostagem	STV (ST%)	N (ST%)	P (ST%)	K (ST%)
CCR	0,007 dia ⁻¹	0,042 dia ⁻¹	0,059 dia ⁻¹	0,050 dia ⁻¹
CAR	0,007 dia ⁻¹	0,043 dia ⁻¹	0,059 dia ⁻¹	0,050 dia ⁻¹
CPC	0,008 dia ⁻¹	0,044 dia ⁻¹	0,059 dia ⁻¹	0,053 dia ⁻¹
Média	0,007 dia⁻¹	0,043 dia⁻¹	0,059 dia⁻¹	0,051 dia⁻¹

STV: sólidos totais voláteis; ST: sólidos totais; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio. Fonte: autoria própria

Observou-se decaimento da taxa de STV em função do tempo, como era esperado. Os valores máximos e mínimos variaram entre $k = 0,007 \text{ dia}^{-1}$ a $k = 0,059 \text{ dia}^{-1}$, indicando um processo de estabilização lenta (Figura 87). Haug (1993) cita que o assunto da cinética da compostagem é complexo e muitas vezes não há distinção nítida entre frações rápidas, lentas e não biodegradáveis para estabilização completa. Neste tipo de experimento, também é extremamente difícil separar biomassa e massa de compostagem, porque ambos são geralmente expressos em sólidos suspensos voláteis.

Figura 87. Taxa de biodegradação de STV nos diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

O modelo de cinética de primeira ordem não leva em consideração um expressivo aumento de biomassa devido à ação dos organismos pela adição de um substrato orgânico. Essa é uma condição que prevalece com fontes prontamente passíveis de decomposição, pois pode haver assim um desbalanço entre outros fatores que se tomam limitantes (CALDEIRA, 1997).

Segundo Minihoni, Eira e Cardoso (1990) a velocidade de decomposição reflete o grau de biodegradabilidade. Ou seja, quanto mais simples são os materiais utilizados na compostagem, mais rápido será a capacidade dos organismos de degradar a matéria orgânica. Do mesmo modo, materiais mais complexos e de difícil degradação, como lignina e hemicelulose, promovem um processo mais lento.

Nessa perspectiva, a velocidade de que os resíduos sólidos orgânicos são degradados dependes da constituição da massa de substrato (como a relação C/N, granulometria, macro e micronutrientes, presença de poluentes que promovam a saída e/ou a morte dos organismos), das condições do meio e dos organismos presentes. Os resíduos sólidos orgânicos coletados na fonte geradora eram compostos por frutas, verduras, restos de alimentos, ossos, galhos, flores, sementes de manga e caju, sabugos de milho, entre outros. Por isso, alguns materiais podem ter contribuído para a relação C/N inicial e, conseqüentemente, a velocidade de biodegradação.

Dessa forma, os valores altos da relação C/N (37/1) do material inicial promoveu o retardo do processo, exigindo um período maior para sua completa decomposição. Porém, foi observado no sistema que essa relação diminuiu ao longo do experimento, promovendo um composto com relação C/N (entre 20 e 18/1) adequado. Para Kiehl (2012) isso ocorreu, pois, no metabolismo dos organismos presentes no sistema de compostagem, parte do carbono é perdido na forma de CO₂.

Fósforo e microelementos, quando dispostos em quantidades insuficientes, também podem tornar-se fatores limitantes para a biodegradação de compostos orgânicos (POLPRASERT; KOOTTAPEP, 2017). A matéria orgânica coletada na fonte geradora apresentava quantidade de fósforo de 0,47%, indicando um percentual baixo, mas comum no estado da Paraíba.

Outro fator que pode ser limitante é o teor de umidade. Polprasert e Koottatep (2017) consideram que sob condições mais úmidas, a matéria orgânica decompõe-se mais lentamente, devido ao inadequado fornecimento de CO₂. Nessas condições, há substituição dos organismos aeróbios por anaeróbios e/ou fermentativos, havendo diminuição da liberação de CO₂ em decorrência da produção de outros compostos finais ricos em carbono e energia, tais como ácidos orgânicos e álcoois. Dessa forma, o teor de umidade alto no início do experimento pode ter contribuído para redução da taxa de biodegradação, uma vez que, os organismos retardaram seu desenvolvimento durante a geração de chorume.

Nesse contexto, entende-se que as propriedades químicas e físicas dos resíduos sólidos orgânicos coletados na fonte geradora podem ter contribuído para redução da taxa de biodegradação lenta. Mas, outros fatores, como o teor de umidade alto que, conseqüentemente, promove a geração de chorume, também favorecem a lentidão do processo.

Embora o sistema CCR e CAR tenham tido processos bastantes diferentes, em relação ao teor de umidade, temperatura, abundância de espécies e tempo de estabilização, observou que os valores da constante (K) foram estatisticamente próximo ($k_{STV} = 0,00707 \text{ dia}^{-1}$; $k_{STV} =$

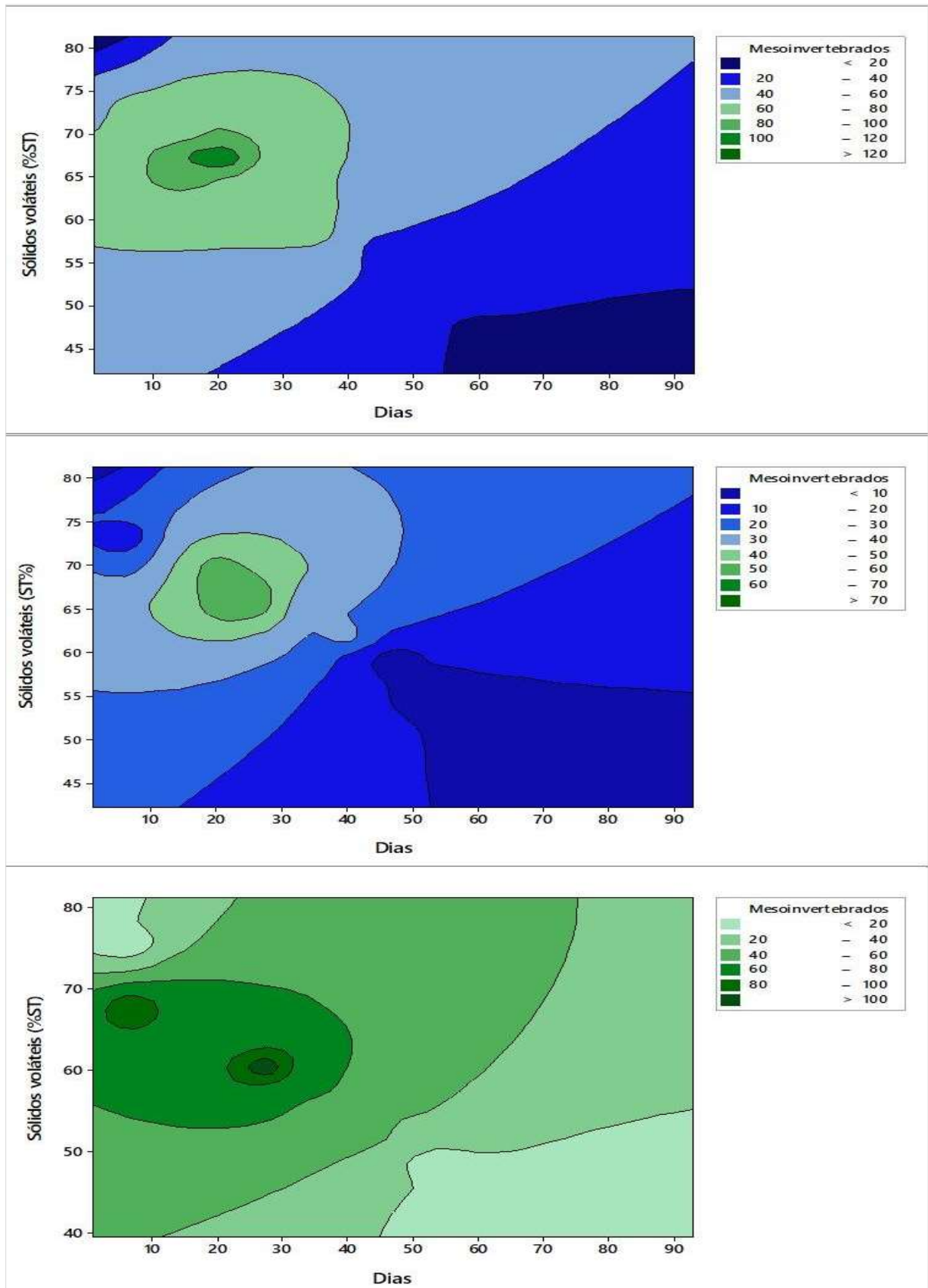
0,00702 dia⁻¹);). O sistema CCR apresentou a maior abundância e riqueza de espécies, mas o comportamento constante dos parâmetros físicos, químicos e biológicos no sistema CPC expôs maior velocidade de biodegradação ($k_{STV} = 0,008 \text{ dia}^{-1}$).

Ressalta-se que durante a compostagem a maior parte da matéria orgânica é transformada. Observando o gráfico de contorno foi possível observar a interação entre sólidos totais voláteis nos dias de compostagem sobre o comportamento dos mesoinvertebrados.

Analisando os resultados, percebe-se que os sólidos totais voláteis ao longo dos dias de decomposição em relação aos mesoinvertebrados variaram entre os sistemas CCR, CAR e CPC, respectivamente, conforme Figura 88. No entanto, de forma geral, entende-se que em todos os sistemas, quanto maior foram os valores de sólidos totais voláteis (aproximadamente entre 55 e 75%ST), maiores foram a concentração de espécies detritívoras (durante os primeiros 30 dias, desconsiderando as fases do sistemas), ou seja, o sistema inicial apresenta uma quantidade considerável de mesoinvertebrados que se alimentam da matéria orgânica instável e à medida que a matéria orgânica é degradada, estes organismos tendem a diminuir no sistema.

Ressalta-se que a matéria orgânica putrefável é um valioso recurso para os organismos detritívoros e a sua redução é um fator limitante no meio, podendo induzir o antecipação do período pupário das espécies, o aumento da competição, o canibalismo, a falta de recurso seguidamente da extinção de espécies no meio, entre outros.

Figura 88. Sólidos totais voláteis em relação aos dias de compostagem sobre os mesoinvertebrados. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

5.13 Transformação do substrato em composto nos tratamentos

A massa final obtida dos diferentes tratamentos de resíduos sólidos orgânicos domiciliares constituiu composto tipo pó, composto tipo farelo e rejeito, conforme a tabela 20. O rejeito era o composto retido na peneira de 4 mm e compreendeu pedaços de galhos de árvores e caroços de frutas (cajá, manga, abacate), material recalcitrante, mas que podem ser utilizados em outros processos de compostagem como estruturantes. O farelo correspondeu ao composto retido na peneira de 2 mm. O material que passava nas peneiras era composto tipo pó.

Tabela 20. Composição inicial e final da massa dos diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.

Sistemas	Natureza física do composto (kg)			Massa (kg)		Transformação (%)
	Rejeito	Farelo	Pó	Inicial	Final	
CCR	7,20	4,60	3,95	67,5	15,75	23,3
CAR	7,35	4,00	5,25	67,5	16,60	24,6
CPC	6,70	3,70	4,10	67,5	14,50	21,5
Total	21,25	12,30	13,29	202,5	46,84	

Legenda = CCR: composteira de concreto retangular; CAR: composteira de aço inoxidável retangular; CPC: composteira de polietileno cilíndrica. Fonte: autoria própria

Foram coletados na fonte geradora 202,5 kg de resíduos sólidos orgânicos. Após o tratamento, obteve-se 46,84 kg (23,1%) de composto (Figura 89).

Figura 89. Composto gerado no experimento de compostagem de resíduos sólidos orgânicos. Foto A e D: adubo tipo pó. Foto B: adubo tipo farelo. Foto C: adubo tipo rejeito. Foto E: os três adubos gerados. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

Em qualquer processo, a massa de entrada deve ser igual à massa de saída, seja ela sólido, líquido ou gasoso. Apesar disso, Eades *et al.* (2011) cita que a análise de fluxo de massa na compostagem é complicada, uma vez que a perda de sólidos voláteis não pode ser medida com precisão e deve ser determinada por diferença, assumindo um equilíbrio de 100%.

A entrada de massa no sistema foi constituída dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares e adição de água quando os níveis do teor de umidade do material encontravam-se baixos, reduzindo a atividade dos organismos aeróbios. A saída consistiu em composto, CO₂ e água perdida na evaporação. O chorume gerado nas composteiras CAR e CPC não foram considerados saída, pois foi recirculado nos sistemas sempre que possível. Dessa forma, não ocorreu distinção entre água do sistema e o chorume produzido.

Foram tratados 67,5 kg de resíduos sólidos orgânicos domiciliares por sistema. No sistema CCR foram gerados 15,75 kg de composto com percentual de transformação foi 77%. No sistema CAR foi produzido 16,6 kg de composto com percentual de transformação de 75,4% e no sistema CPC foi gerado 14,5 kg de composto com percentual de transformação de 78,5%.

De forma geral, durante o período de estudo foram coletados 202,5 kg de resíduos sólidos orgânicos na fonte geradora e, após o tratamento aeróbio em processo de compostagem descentralizada foram gerados 46,84 kg de composto. A diferença de 155,66 kg foi assumida como resultado da redução da massa, que consistiu predominantemente em dióxido de carbono, água e os organismos aeróbios que completaram seu ciclo biológico e saíram do sistema na forma adulta. Dessa forma, em termos percentuais, o material processado na unidade foi 100% da entrada, enquanto o composto consistia 23% da saída e o percentual de transformação foi de 77% no experimento, mostrando um sistema eficiente.

O composto do tipo pó gerado foi submetido a análises laboratoriais para indicar sua qualidade agrônômica. Os dados estão dispostos na Tabela 21.

Tabela 21. Características dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares (RSOD) e do composto resultante nos diferentes tratamentos de compostagem. Campina Grande-PB.

Parâmetros	RSOD	Composto orgânico			Faixa indicativa 1
		CCR	CAR	CPC	
Potencial Hidrogeniônico (pH)	5,3	8,0	8,3	8,3	> 6,5
Teor de umidade (%)	71	35,5	33,0	30,0	< 50
Sólidos Totais Voláteis (%ST)	81,3	38,0	38,2	36,0	14 <45
Carbono Orgânico Total (%ST)	45,1	21,1	21,2	19,5	8 < 25
Demanda Química de Oxigênio (%ST)	1,202	562,8	565,8	519,9	300 < 700
NH ₄ ⁺ (%ST)	-	0,1	0,1	0,1	0,0
NPK (%ST)	1,0	1,8	1,7	1,9	>1
Relação C/N	37/1	20/1	20/1	18/1	12-18
Ovos de Helminhos (Ovos/gST)	9,5	0,0	0,0	0,0	1
Bactérias Heterotróficas (UFC/mL)	>5.700	0,0	0,0	0,0	NE
<i>Escherichia coli</i> (NMP org./100 mL)	>1600	0,0	0,0	0,0	NE
Coliformes Termotolerantes (NMP org./100 mL)	>1600	0,0	0,0	0,0	<10 ³
Coliformes Totais (NMP org./100 mL)	27 e >1600	0,0	0,0	0,0	NE

RSOD: resíduos sólidos orgânicos domiciliares; NE: dados não especificados; ¹Instrução Normativa nº 07, de abril de 2016 (BRASIL, 2016). Fonte: autoria própria

As características físicas, químicas, biológicas e sanitárias dos compostos resultantes dos diferentes tratamentos atenderam à Instrução Normativa nº 07, de abril de 2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para fertilizantes orgânicos (BRASIL, 2005), confirmam a estabilidade. O sistema apresentou baixa concentração de NH_4^+ . A maior parte do nitrogênio total presente nos resíduos sólidos orgânicos foi transformado em nitrato. De acordo com Kiehl (1998) a ausência de nitrogênio na forma amoniacal indica que o composto está estabilizado.

A instrução normativa estabelece um limite de 1 ovo ou 0,25 ovos/gST para obter composto higienizado de classe C, resultando em material seguro para agricultura (BRASIL, 2016). A ausência de ovos de helmintos no composto final da presente pesquisa aponta a eficiência do sistema de compostagem no tratamento dos resíduos sólidos orgânicos.

De acordo com a Instrução Normativa nº 07/2016 (BRASIL, 2016), considera-se composto higienizado com concentração de Coliformes termotolerantes $<10^3$ NMP/gST. A concentração de Coliformes termotolerantes reduziu ao longo do experimento, sendo ausentes no composto final.

Os valores de temperatura medidos neste trabalho atendeu os critérios nacionais, principalmente em relação as pesquisas realizadas com resíduos sólidos orgânicos no Agreste paraibano (SILVA *et al.*, 2010; NASCIMENTO, 2015; NASCIMENTO *et al.*, 2017; ARAÚJO, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2019; SILVA, 2021).

Em todas as composteiras, o composto gerado possuiu cheiro de terra, cor característica e granulometria fina.

O quadro 10 mostra a composição em nutrientes do composto gerado pelos três sistemas de compostagem. Observa-se que os teores totais de NPK variaram entre 1,7 e 1,9 nos compostos, ou seja, entre 17 kg/t a 19 kg/t. Desse forma, a título de exemplo, foi calculado as quantidades em NPK levadas ao solo pela aplicação de 10, 15 e 20 t/ha dos compostos gerados no sistema de compostagem. Pode-se concluir que uma dose de 20 t/ha (o mais recomendado) do composto gerado no sistema CCR leva para a cultura 360 kg/ha de NPK; no sistema CAR leva para a cultura 340 kg/ha de NPK e no sistema CPC o composto aplicado na mesma dose leva 380 kg/ha de NPK.

Quando comparado aos valores do composto gerado no sistema de compostagem com os fertilizantes minerais comercializados que, em média apresentam entre 260 a 440 kg/t de NPK (KIEHL, 2012), entende-se que o composto resultante é adequado para produção agrícola.

Quadro 14. Quantidade de NPK no composto gerado no sistema de compostagem e as estimativas de NPK em 10 t/ha, 15 t/ha e 20 t/ha que podem ser levadas ao solo. Campina Grande-PB.

Sistema	Soma NPK	NPK em kg/t	NPK em 10 t/ha	NPK em 15 t/ha	NPK em 20 t/ha
CCR	1,8	18	180	270	360
CAR	1,7	17	170	255	340
CPC	1,9	19	190	285	380

Legenda = CCR: composteira de concreto retangular; CAR: composteira de aço inoxidável retangular; CPC: composteira de polietileno cilíndrica. NPK: nitrogênio, fósforo e potássio. Fonte: autoria própria

A concentração de NPK alta é fundamental para o solo. O nitrogênio é utilizado para o crescimento das plantas, estimulando a brotação e o enfolhamento. O fósforo é importante na formação da clorofila e na capacidade da planta de absorver elementos do solo; contribui para a qualidade dos frutos e maturação das sementes. Já o potássio favorece o fortalecimento dos tecidos vegetais, promove a formação de tubérculo e rizomas e aumenta a resistência contra ambientes secos (PRASAD; LEE; GAFFNEY, 2012, KIEHL, 2012; XIONG *et al.*, 2017). O material apresentou uma formação rica em potássio, geralmente utilizado em hortas hidropônicas.

Os valores baixos de NH_4^+ (0,1%) confirmam que a maior parte do nitrogênio está na forma de nitrato.

Além da qualidade agronômica, nota-se que o composto gerado carrega consigo todo o histórico da coleta, tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos. Era um material que iria ser aterrado, mas virou um composto com qualidade e características que nenhum fertilizante mineral poderia proporcionar. O composto contém macro e micronutrientes e é livre de organismos patogênicos, conforme Tabela 22 e 23.

Tabela 22. Macronutrientes em compostos resultantes nos diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.

Sistema	Macronutrientes (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
CCR	1,0	0,4	0,4	0,5	0,3	0,2
CAR	0,8	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2
CPC	1,0	0,4	0,5	0,7	0,4	0,3
Média	1,0	0,4	0,5	0,5	0,3	0,2
Desvio padrão	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1
Faixa indicativa	>1,0	>1,5	>1,5	>1,0	>1,0	>1,0
1						

Legenda = N: nitrogênio; F: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre. Fonte: autoria própria
¹Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009).

Tabela 23. Micronutrientes em compostos resultantes nos diferentes tratamentos de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Campina Grande-PB.

Sistema	Micronutrientes (%)			
	Fe	B	Mn	Zn
CCR	4,6	0,2	1,1	0,3
CAR	5,6	0,2	1,0	0,4
CPC	6,1	0,2	1,0	0,4
Média	5,4	0,2	1,0	0,4
Desvio padrão	0,76	0,00	0,06	0,06
Faixa indicativa 1	>0,2	>0,03	>0,1	>0,1

Legenda = Fe: ferro; B: boro; Mn: manganês; Zn: zinco. Fonte: autoria própria

¹Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009).

O composto resultante do tratamento aeróbio dos resíduos orgânicos domiciliares podem servir como fonte de nutrientes para as plantas, melhora da estrutura do solo e capacidade de retenção de água (KIEHL, 2012).

A concentração de metais pesados no sistema de compostagem está presente na Tabela 24.

Tabela 24. Concentração de metais pesados no sistema de compostagem. Campina Grande-PB.

Metais	Elementos (mg/kgST)			
	CCR	CAR	CPC	Faixa indicativa ¹
Cu	0,01	0,01	0,01	-
Pb	0,1	0,1	0,1	-
Cd	0,1	0,1	0,1	0,7

¹BRASIL (2014). Fonte: autoria própria

A redução da matéria orgânica durante o processo tende a acumular a concentração de metais pesados no substrato; no entanto, 100% das amostras apresentaram percentual menor que 1 mg/kgST para cobre, chumbo e cádmio, logo, não havia valores altos nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

Apesar de atender os parâmetros limites estabelecidos para metais pesados e organismos patogênicos no composto orgânico, alguns autores sugerem o teste de fitotoxicidade para avaliar a qualidade sanitária e agrícola do composto.

5.14 Teste de fitotoxicidade

A produção de compostos fitotóxicos representa uma situação transitória durante a compostagem, pois é elevada na fase inicial, quando há uma rápida degradação da matéria orgânica, e diminui até alcançar a estabilização, quando predominam a humificação e a mineralização (BARRAL; PARADELO, 2011). O teste de fitotoxicidade no composto é usado para analisar a maturidade e seu potencial negativo nas plantas (SILVA, 2021).

A partir dos testes realizados em compostos de origem orgânica coletado na fonte geradora (CCR; CAR e CPC) e o controle (adubo de supermercado), na proporção de 25%, 50% e 100%, constatou-se germinação das sementes de tomate para todos os tratamentos e repetições (Figura 90).

Figura 90. Germinação de sementes de tomateiro (*Solanum lycopersicum*). Foto A: dia 01. Foto B: dias 02-03. Foto C: dia 04-06. Foto D: dia 08-12. Foto E: dias 14-18. Campina Grande-PB.



Fonte: autoria própria

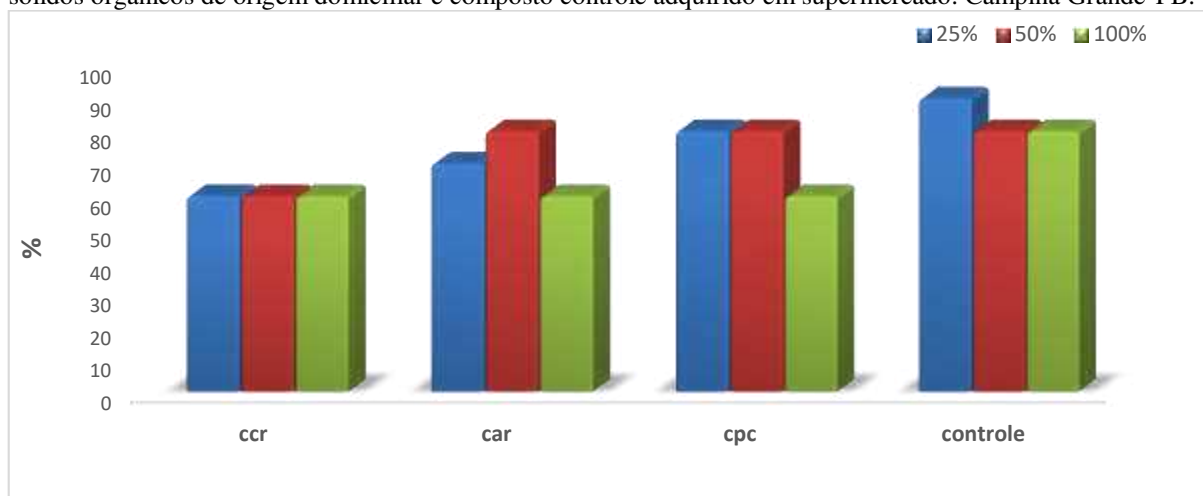
O composto gerado no tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos coletados na fonte geradora do experimento reuniu características favoráveis a germinação. Os valores do

sistema CPC foram os que mais se aproximaram do composto controle, mas, de forma geral, as porcentagens de germinação foram semelhantes às encontradas no controle.

O percentual médio de sementes que germinaram foi entre 60 e 80% para o composto orgânico, refletindo a qualidade do material. Esse resultado é bastante considerável e mostra um composto estável, pois, de acordo com Emino e Warman (2004), valores abaixo de 50% indicam alta fitotoxicidade; valores entre 50% e 80% indicam fitotoxicidade moderada; e valores acima de 80% indicam ausência de fitotoxicidade.

As sementes que germinaram no composto controle (mistura de esterco e húmus de minhoca) foram entre 80 e 90% de germinação, possivelmente pelo papel das minhocas na regulação do comportamento ambiental dos metais pesados (Figura 91).

Figura 91. Porcentagem de germinação de sementes em composto gerado pelo tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar e composto controle adquirido em supermercado. Campina Grande-PB.

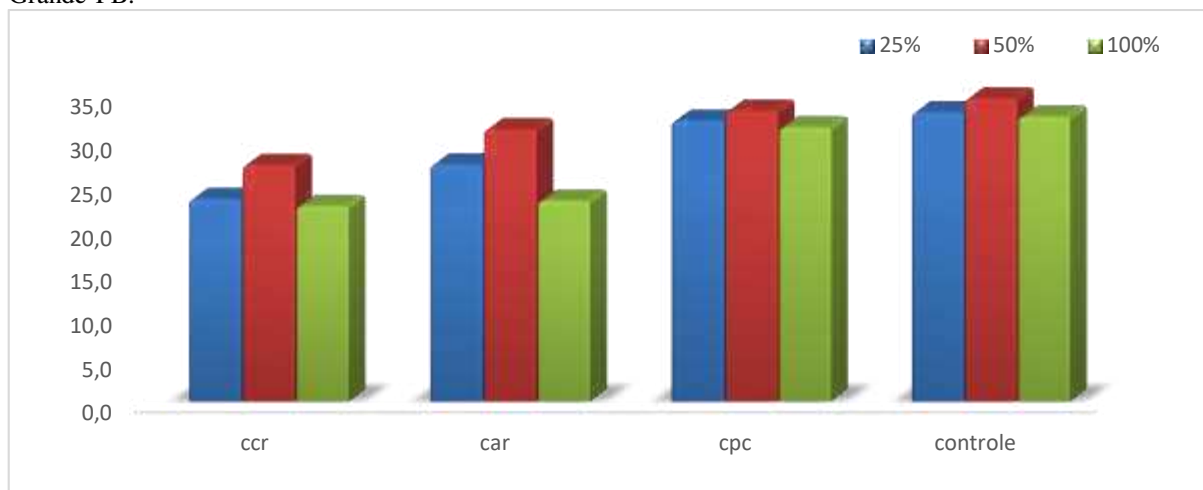


CCR: composteira de concreto retangular; CAR: composteira de aço inoxidável retangular; CPC: composteira de polietileno cilíndrico. Controle: composto adquirido em supermercado. Fonte: autoria própria

A partir dos testes realizados, observou-se que em parcelas com 100% de composto ocorreu menores valores de germinação nos tratamentos. Observou-se que mesmo apresentando os menores resultados nos experimentos com composto a 100%, as sementes conseguiram emergir, apresentaram-se vigorosas e uma taxa de crescimento significativa em todos os tratamentos.

O início da germinação das sementes previstas no rótulo é entre quatro e cinco dias, mas as sementes começaram a germinar entre o primeiro e segundo dia, com a protrusão da radícula e aparecimento da raiz primária. Os dados da Figura 92 mostram um índice de crescimento das sementes que germinaram.

Figura 92. Índice de crescimento de germinação das sementes em composto gerado pelo tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar e composto controle adquirido em supermercado. Campina Grande-PB.



CCR: composteira de concreto retangular; CAR: composteira de aço inoxidável retangular; CPC: composteira de polietileno cilíndrico. Controle: composto adquirido em supermercado. Fonte: autoria própria

O índice de crescimento das sementes germinadas foi entre 22 e 33%, sendo os maiores valores observados no sistema CPC. O índice de crescimento da amostra controle foi superior aos compostos gerados, no entanto, o desvio padrão não foi considerável.

Comparando estatisticamente os dados de índice de crescimento das mudas ao longo dos dias, os resultados de normalidade mostram uma distribuição normal para os sistemas em 100% do composto; CPC ($p = 0,74$), CCR ($p = 0,58$), CAR ($p = 0,59$) e Controle ($p = 0,78$). Também apresentou distribuição normal em 50%: CPC ($p = 0,75$), CCR ($p = 0,85$), CAR ($p = 0,67$) e Controle ($p = 0,78$) e em 25% de composto: CPC ($p = 0,95$), CCR ($p = 0,83$), CAR ($p = 0,96$) e Controle ($p = 0,83$). Também foram utilizados dados de ANOVA seguido de Teste *Post-Hoc* de Tukey. Os resultados mostraram um $p > 0,05$, identificando que o teste não rejeitou a hipótese nula ao nível de significância de 5%, apontando que não há diferença estatística entre os compostos.

5.15 Impactos mitigados

O tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos coletados no condomínio residencial da presente pesquisa, incentivou a separação prévia na fonte geradora e a destinação adequada de 202,5 kg de resíduos orgânicos para um centro descentralizado de compostagem; evitou que estes resíduos fossem para o aterro sanitário de Catolé de Boa Vista-PB que, normalmente, seriam aterrados; possibilitar a melhoria da qualidade ambiental; promoveu a destruição de ovos de helmintos (100%) e Enterobacteriaceae; contribuiu para a literatura apresentando fatores

físicos, químicos, biológicos e sanitários dos resíduos sólidos orgânicos submetidos a compostagem com parâmetros ambientais do Agreste Paraibano; promoveu entendimento sobre a sucessão de mesoinvertebrados no sistema de compostagem, indicando organismos invasores, predadores, bioindicadores, fatores limitantes, espécies com capacidade de controle biológico, entre outros processos ecológicos; indicou as potencialidade e desafios de tecnologias sociais; contribuiu para o retorno de matéria e aproveitamento eficiente de energia; garantiu a produção de 46,84 kg de composto; propiciou o aproveitamento da matéria orgânica, transformando-a, em matéria inorgânica, estabilizada e higienizada; gerou composto com nutrientes que pode ser utilizado na fertilização do solo ou condicionamento do solo, produção de mudas, recuperação de áreas de desertificação, na agricultura e atendeu aos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Promover o tratamento adequado da parcela orgânica dos resíduos sólidos urbanos, gerando composto de qualidade é uma das estratégias essenciais para garantir os princípios e objetivos do saneamento básico e alcançar a sustentabilidade ambiental. Para isso, é fundamental a Educação Ambiental enquanto ferramenta de sensibilização e mobilização social, assegurando uma população que reconheça os problemas ambientais e possa intervir na própria realidade, contribuindo na gestão integrada dos resíduos sólidos.

6 CONCLUSÃO

O sistema de compostagem promoveu o tratamento aeróbio, exotérmico e oxidativo dos resíduos sólidos orgânicos de origem domiciliar, coletado na fonte geradora. A utilização das composteiras CCR, CAR e CCP foram fundamentais para o acompanhamento e entendimento da dinâmica que ocorre durante a compostagem e atende aos princípios da tecnologia social.

O tratamento minimizou os riscos à saúde dos catadores de materiais recicláveis, moradores, funcionários do condomínio Dona Lindú e funcionários da limpeza pública que, constantemente, são submetidos ao entrarem em contato com os resíduos sólidos orgânicos. O tratamento também reduziu os riscos ao meio ambiente, pois evitou que estes materiais fossem descartados no aterro sanitário e aterrado de forma misturada aos demais resíduos sólidos urbanos.

Os modelos da tecnologia social aplicadas mostraram peculiaridades que influenciaram a ação biológica dos organismos, refletindo que, cada sistema se comporta conforme as condições do meio. O desempenho dos modelos de tratamentos (composteiras) monitoradas e avaliadas na pesquisa foram satisfatórios, pois possibilitaram a transformação dos resíduos sólidos orgânicos em composto adequado e higienizado, no período curto de tempo (93 dias). Todas as tecnologias estudadas apresentam características de tecnologia sociais, são fáceis de manusear, não gastam energia elétrica e promovem o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, favorecendo o interesse e envolvimento da população. Embora, necessitam de análise e adequações das manivelas do sistema CAR e CPC, para superar os problemas relatados.

De forma geral, o sistema de Composteira de Polietileno Cilíndrica (CPC) atendeu com maior eficiência às necessidades do processo, relativo aos melhores parâmetros físicos e químicos, às melhores condições para os organismos, à ergonomia, à facilidade no deslocamento e à promoção do reviramento sem contato com o substrato.

A produção de resíduos sólidos orgânicos (202,5 kg) e a qualidade deste material evidenciam a necessidade de tratamento adequado. O uso de folhas, maravalha de madeira e rejeito de outros sistemas de compostagem como estruturante, favoreceu a redução do teor de umidade, promoveu espaços de aeração entre as partículas que constituíam os resíduos sólidos orgânicos e contribuiu para formação de massa de substrato homogênea.

O sistema de compostagem apresentou uma significativa participação de mesoinvertebrados. Foram coletados um total de 2.471 indivíduos pertencentes a mesofauna e macrofauna, distribuídos em 9 ordens com 16 famílias. Os mesoinvertebrados foram

importantes na movimentação da massa de substrato, na aeração, na predação de espécies, como bioindicadores das fases, no controle de vetores, na degradação mecânica da matéria, na dispersão de espécies, e portanto, na estabilização e na sanitização dos resíduos sólidos orgânicos.

As condições geradas de forma sequencial no processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em todos os tratamentos foram adversas à sobrevivência de ovos de helmintos e enterobactérias, promovendo 100% de eficiência, resultando em compostos higienizados e adequado ao uso na agricultura. O tratamento de compostagem foi favorável à inativação e destruição dos ovos de helmintos (0,0 ovos/gST). Os fatores físicos, químicos e biológicos promoveram, em conjunto, condições adversas à sobrevivência desses organismos e à geração de composto de qualidade.

Os achados deste estudo mostram que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares são ambiente com condições adequadas para incidência de organismos patógenos, com um potencial contaminante significativo. Mas a compostagem é uma técnica eficaz para a inativação e destruição destes organismos e geração de composto com qualidade agronômica.

7 DESAFIOS E RECOMENDAÇÕES

A análise experimental foi realizada durante a pandemia do Covid-19. Isso dificultou o acesso ao laboratório, o monitoramento das análises finais e o delineamento da estabilização final do sistema. Por isso, não pôde-se determinar o tempo real de duração para cada sistema. Acredita-se, pelas análises do composto, que o sistema CPC alcançou estabilização dias antes do encerramento do sistema, mas em virtude das dificuldades de acesso, todos os sistemas foram encerrados no mesmo período de tempo (93 dias).

Foi observada a presença de bactérias, fungos, protozoários e líquens no sistema de compostagem, no entanto, não foi possível realizar o acompanhamento periódico, em virtude da falta de estrutura física e material. Recomenda-se que pesquisas futuras analisem o acompanhamento dessas espécies, promovendo melhor compreensão do processo de sucessão ecológica na compostagem.

Alguns moradores apresentaram resistência em separar os resíduos sólidos orgânicos, disponibilizando-os de forma misturada, a exemplo de vidro e plástico, inviabilizando a coleta nestas residências. Atitudes como essas devem ser evitadas e os moradores esclarecidos sobre sua responsabilidade na destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos.

A partir das análises iniciais dos resíduos sólidos orgânicos coletados da fonte geradora, percebe-se que o material produzido nas casas da população envolvida é altamente poluente, com presença de organismos de interesse médico. Estes resultados mostram a necessidade de políticas de segurança do trabalho para funcionários, garis e catadores de materiais recicláveis de forma a minimizar os riscos biológicos do contato, manuseio e transporte dos resíduos sólidos orgânicos coletados no condomínio Dona Lindú. Entre as estratégias, sugere-se para pesquisas futuras um mapa de risco do condomínio, processo continuado de Educação Ambiental nas reuniões do condomínio para informar os impactos e equipamentos de proteção individual.

Ocorreram problemas no manejo dos resíduos sólidos orgânicos no sistema de composteira de aço inoxidável retangular (CAR) e composteira de polietileno cilíndrica (CPC), dificultando a aeração da massa de substrato e, conseqüentemente, promovendo, mesmo em pequena quantidade, a geração de chorume nas leiras. Uma vez superado estes problemas do chorume, pôde-se dar continuidade ao experimento, sem prejuízos à qualidade sanitária do composto final e sem afetar os organismos analisados. Recomenda-se estudos futuros para

melhorar o manejo da manivela, de forma a promover, com melhor eficiência, o reviramento do substrato.

Recomenda-se para as futuras pesquisas que o eixo central do tambor giratório da CPC tenham espátulas em hélice que permita uma maior homogeneidade do material.

Os resultados revelam que são necessários conhecimentos mais aprofundados acerca da fisiologia do organismo com relação à composição química celular e os mecanismos de ajustamento metabólico quando as condições se mostram adversas. Fica evidente que o nível de conhecimento nessa área ainda é incipiente. É necessário definir o perfil metabólico dos organismos e identificar seu papel na decomposição da matéria orgânica.

REFERÊNCIAS

- AMOAHA, I. D.; ABUBAKARI, A.; STENSTRÖM, T. A.; ABAIDOO, R. C.; SEIDU, R. Contribution of wastewater irrigation to soil transmitted helminths infection among vegetable farmers in Kumasi, Ghana. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, v.10, n.12, p.1-12, 2016.
- AMOAHA, I. D.; REDDY, P.; SEIDU, R.; STENSTRÖM, T. A. Concentration of soil-transmitted helminth eggs in sludge from South Africa and Senegal: A probabilistic estimation of infection risks associated with agricultural application. **Journal of Environmental Management**, v. 206, n.15, p.1020-1027, 2018.
- ALVES, L. I. F.; SILVA, M. M. P.; VASCONCELOS, K. J. C. Educação Ambiental em Comunidades Rurais de Juazeirinho - PB: Estratégias e Desafios. **Revista Eletrônica do Mestrado Educação Ambiental**, v.19, 2007.
- ALVES, J. E. D. População, desenvolvimento e sustentabilidade: perspectivas para a CIPD pós-2014. **Revista brasileira de estudos de população**, v.31 n.1, p.219-230, 2014.
- ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico**: elaboração de trabalhos na graduação. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2010, 176p.
- ANTUNES, L. F. S.; SCORIZA, R. N.; SILVA, D. G.; CORREIRA, M. E. F. Consumo de resíduos agrícolas e urbanos pelo díptero *Trigoniulus corallinus*. **Nativa**, Sinop, v.7, n.2, p.162-168, 2019.
- APHA. American public health association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Method 9060 A**: Total Organic Carbon. 5p., rev.1, 2004.
- APHA. American public health association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Method 9221 B**: Fecal Coliform Procedure. 9-10p. 2017a.
- APHA. American public health association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Method 9221 E**: Standard Total Coliform Fermentation Technique. 2-5p. 2017b.
- APHA. American public health association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Method 9221 F**: Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. 10-11p. 2017c.
- APHA. American public health association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Method 9215 B**: heterotrophic plate count. 2017d.
- ARAUJO, E. C. S.; COSTA, M. P.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, A. V.; SILVA, M. M. P. Estratégias em educação ambiental: contribuições para gestão integrada de resíduos sólidos no âmbito municipal. In 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** São Paulo: ABES, v. VIII. p. 1-10, 2017.
- ARAUJO, E. C. S. **Organismo que participam das diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares**. 175f. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e

Tecnologia Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, 2018.

ARAÚJO, E. C. S.; SILVA, M. M. P.; SILVA, A. V.; SANTOS SOBRINHO, J. B.; LEITE, V. D. Tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em sistemas descentralizados móveis. *In* Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 30. **Anais...** Natal/RN: ABES, 2019.

ARAÚJO, E. C. S.; GOMES, I.; SILVA, A. V.; SANTOS SOBRINHO, J. B.; SILVA, M. M. P. **Tecnologias sociais para tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos aplicadas no município de Campina Grande, estado da Paraíba.** *In* FRANCISCO, P. R. M.; MORAES NETO, J. M.; PEDROZA, J. P. Caderno de pesquisa, Ciência e Inovação, v.2, n.2, p.36-49, 2019b.

ARAÚJO, E. C. S.; GOMES, I.; SILVA, M. M. P. Avaliação de impactos ambientais: urbanização do Açude de Bodocongó, Campina Grande/PB. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.787-797, 2020.

ARAÚJO, E. C. S.; SILVA, M. M. P.; SILVA, A. V.; BARROS, A. T.; LEITE, V. D. Diversidade de mesoinvertebrados associada ao tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. **Research, Society and Development**, v.10, n.1, p.1-12, 2021.

ARAÚJO, E. C. S.; SILVA, V. F.; MARTINS, W. A.; ARAÚJO, S. K. S. Diagnóstico da situação dos catadores de materiais recicláveis em diferentes países durante a pandemia do Covid-19. **GeoGraphos**, v. 11, n. 136 p. 96-120, 2021b.

AZEVEDO, L. H. **Taxonomic studies of Macrochelidae mites (Acari: Mesostigmata) and their potential use to control *Stomoxys calcitrans* and *Musca domestica* (Diptera: Muscidae).** 48f. 2017. Thesis (Doctor in Science) – University of São Paulo, 2017.

AZEVEDO, L. H.; CASTILHO, R. C.; BERTO, M. M.; MORAES, G. J. *Macrochelid mites* (Mesostigmata: Macrochelidae) from São Paulo state, Brazil, with description of a new species of Macrocheles. **Zootaxa**, v. 4269, n. 3, p. 413-426, 2017

AZEVEDO, L. H.; FERREIRA, M. P.; CASTILHO, R. C.; CANÇADO, P. H. D.; MORAES, G. J. Potential of Macrocheles species (Acari: Mesostigmata: Macrochelidae) as control agents of harmful flies (Diptera) and biology of Macrocheles emersoni Azevedo, Castilho and Berto on Stomoxys calcitrans (L.) and Musca domestica L. (Diptera: Muscidae). **Biological Control**, v.123, p.1-8, 2018.

AWACHE, I.; FAROUK, A. A. Bacteria and fungi associated with houseflies collected from cafeteria and food Centres in Sokoto. **Trends in food science & technology journal**, v.1, n.1, p.123-125, 2016.

AMRUL, N. F.; AHMAD, I. K.; BASRI, N. E. A.; SUJA, F.; JALIL, N. A. A.; AND AZMAN, N. A. A Review of Organic Waste Treatment Using Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). **Sustainability**, v.14, n.4565, p.1-15, 2022.

BARBOSA, M. G. V. F.; HAMMOND, C. R. V.; NIGEL, P. S. Diversidade e similaridade entre habitats com base na fauna de Coleoptera de serapilheira de uma floresta de terra firme

da Amazônia Central. **Proyecto de Red Iberoamericana de Biogeografía y Entomología Sistemática**, p. 69-83, 2002.

BARRAL, M. T.; PARADELO, R. A review on the use of phytotoxicity as a compost quality indicator. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v.5, n.2, 36-44p., 2011.

BARETTA, D.; SANTOS, J.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA FILHO, L. C. L.; ALVES, M. V. **Fauna edáfica e qualidade do solo**. In Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Org). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, p. 119-170, v. 7, 2011.

BATISTA, F. G. A. **Riscos ocupacionais em Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da ARENSA-Campina Grande/PB**. 2014. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB, 2014.

BAHRNDORFF, S.; JONGE, N.; SKOVGÅRD, H.; NIELSEN, J. L. Bacterial Communities Associated with Houseflies (*Musca domestica* L.) Sampled within and between Farms. **PLoS ONE**, v.12, n.1, p.1-15, 2017.

BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste management & Research**, v.1, p.157-176, 1983.

BEAUCHE, F.; RICHARD, F. J. 2013. The Best Timing of Mate Search in *Armadillidium vulgare* (Isopoda, Oniscidea). **PlosOne**, v.8, n.3, p.1-9, 2013.

BEZERRA, C. W. F.; ANDRADE, L. M. Diversidade da artropodofauna de serapilheira de mata ciliar e caatinga em região semiárida de Pernambuco (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.10, n.2., p.149-171, 2022.

BIDONE, F. R. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais; eliminação e valorização**. Rio de Janeiro-RJ: RIMA, ABES. 240p., 2001.

BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília. DF: Senado, 1988.

BRASIL. **Lei de crimes ambientais**. Ações lesivas ao meio ambiente. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. **Estatuto das cidades**. Lei 10.257 de 10 de julho de 2001.

BRADFORD, M. A.; JONES, T. H.; BARDGETT, R. D.; BLACK, H. I. J.; BOAG, B.; BONKOWSKI, M.; COOK, R.; EGGERS, GANGE, A. C.; GRAYSTON, S. J.; KANDELER, E.; MCCAIG, A. E.; NEWINGTON, E.; PROSSER, J. I.; SETA LA, H.; STADDON, P. L.; TORDOF, G. M.; TSCHERKO, D.; LAWTON, J. H. Impacts of soil faunal community composition on model grassland ecosystems. **Science**, v.298, p.615-618, 2002.

BRASIL. **Política Nacional de Saneamento Básico**. Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009.** Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília-DF: Ministério de Agricultura, 2009.

BRANDÃO, R. K. **Bionomia de *Musca domestica* L. (Diptera, Muscidae) e *Spalangia endius* Walker, 1839 (Hymenoptera, Pteromalidae) em condições de laboratório.** 64f. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.

BRANDÃO, R.K.; FELCHICHER, F.; RIBEIRO, P.B. Exigências térmicas e estimativa do número de gerações de *Spalangia Endius* Walker, 1839 (Hymenoptera, Pteromalidae) em pelotas, RS. Arquivos do Instituto de Biologia, v.77, n.1, p.177-180, 2010.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.

BRASIL. Altera a normativa n.46 e dá outras providências. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete Do Ministro. **Instrução Normativa Mapa**, n.17, de 18 de Junho de 2014.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 7 de 12 de abril de 2016.** Limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas Brasília-DF: Ministério de Agricultura, 2016.

BRASIL. **Direito de permanência de edificações na faixa não edificável contígua às faixas de domínio público de rodovias e para possibilitar a redução da extensão dessa faixa não edificável por lei municipal ou distrital.** Lei nº 13.913, de 25 de novembro de 2019.

BRASIL. **Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Decreto nº 10.936 de 12 de Janeiro de 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.** 2021. Brasília: SNS/MDR, 247 p.: il., 2023.

BRITO, L. G.; OLIVEIRA, M. C. S.; GIGLIOTI, R.; BARBIERI, F. S.; SILVA NETTO, F. G.; CHAGAS, A. C. S.; CELESTINO, O. O. **Manual de identificação, importância e manutenção de colônias estoque de dípteras de interesse veterinário em laboratório.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Porto Alegre: Documento 125, 1ed., 2008, 25p.

BHOGAL, A.; TAYLOR, M.; NICHOLSON, F.; ROLLETT, A.; WILLIAMS, J.; NEWELL, P. P.; CHAMBERS, B.; LITTERICK, A.; WHITTINGHAM, M. **Field experiments for quality digestate and compost in agriculture.** Waste and Resources Action Programme: Work Package 1 Final report (2010-2015) DC-Agri, 2019. Disponível em: <<http://www.wrap.org.uk/content/digestate-and-compost-agriculture-dc-agri-reports>>. Acesso em: 17 de out. 2021.

BORROR, D. J.; DELONG, D. M. **An Introduction to the study of Insects.** Sixth edition, Harcourt Brace Janovich College Publishers. 876 p. 1992

BORJAC, J.; JOUMAA, M. E.; KAWACH, R.; YOUSSEF, L.; BLAKE, D. A. Heavy metals and organic compounds contamination in leachates collected from Deir Kanoun Ras El Ain dump and its adjacent canal in South Lebanon. *Heliyon*, v.5, n.8, 1-7p., 2019.

BUENO, V. H. P. **Desenvolvimento e criação massal de percevejo predadores Orius**. In BUENO, V. H. P. (Ed.). Controle biológico de pragas: produção massal e controle de qualidade. Lavras: Editora UFLA, 2009, p.33-76.

CAI, M.; LI, L.; ZHAO, Z.; ZHANG, K.; LI, F.; YU, C.; YUAN, R.; ZHOU, B.; REN, Z.; YU, Z.; ZHANG, J. Morphometric characteristic of black soldier fly (*Hermetia illucens*). Wuhan strain and its egg production improved by selectively inbreeding. **Insects and their biocomposting technology**, v. 12, n.6, p.873, 2022.

CALDEIRA, D. S. A. **Cinética de degradação de compostos orgânicos no solo**. 79f. 1997. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, 1997.

CAMELO, S. M.; LIMA, M. N. F.; RODRIGUES, A. C. L.; COURA, M. A.; COSTA FILHO, F. C.; VIDAL, I. C. A.; GUEDES, M. T. J. C.; OLIVEIRA, R. Prevalência de ovos de helmintos nas águas residuárias urbanas na cidade de Campina Grande-PB. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.7, p.51965-51980, 2020.

CAMPINA GRANDE. **Obrigatoriedade da coleta seletiva para condomínios residenciais com mais de 30 unidades individuais**. Lei Municipal 4900/2010. Campina Grande: Gabinete do Prefeito, Campina Grande, 14 de janeiro de 2010.

CAMPINA GRANDE. **Coleta seletiva em condomínios residenciais**. Lei municipal nº4900 de 2010.

CAMPINA GRANDE. **Política Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Lei Complementar nº087 de 15 de agosto de 2014. Campina Grande: Gabinete do Prefeito, Campina Grande, 2014.

CANADA. Solid waste diversion and disposal. Statistics Canada. Table 38-10-0032-01, 2018. **Disposal of waste**. Disponível em: <<https://www.canada.ca/en/>>. Acesso em: 23 set. 2021.

CARRINGTON, E. G. **Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction**. Final Report. For The European Commission Directorate-General Environment. Luxembourg: European Communities. september, 2001, 44p.

CARMO, D. L.; LIMA, L. B.; SILVA, C. A. Soil Fertility and Electrical Conductivity Affected by Organic Waste Rates and Nutrient Inputs. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.40, 2016.

CARVALHO, C. J. B.; J. RAFAEL, A.; COURI, M.S.; SILVA, V. C. DIPTERA. In RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil** – Diversidade e Taxonomia. Holos Editora: Ribeirão Preto, 42p., 2012.

CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e tratamento de biogás**. Rio de Janeiro-RJ: RIMA; Projeto PROSAB, 2003, 210p.

CAVALCANTE, L. P. S.; SILVA, M. M. P. Influência da organização de catadores de materiais recicláveis em associação para melhoria da saúde e minimização de impactos socioambientais. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria/RS, v. 14, n. 1, p. 01-13, 2015.

CAVALCANTE, L. P. S.; SILVA, M. M. P.; LIMA, V. L. A. Risks inherent to work environment of formal and informal recyclable material collectors. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.7, n.2, 2016.

CAVALCANTE, L.P.S.; SILVA, M.M.P.; BARROS, K.N.N.O.; LIMA, V.L.A. Catadores de materiais recicláveis e vulnerabilidades socioambientais: cenário de um lixão no sertão paraibano. In Giovanni Seabra (Org.). **Educação ambiental: ensino, pesquisa e práticas aplicadas**. 1ed. Ituiutaba: Barlavento, 2017, v. 5, p. 263-277.

CAVALCANTE, L. P. S. **Gestão integrada de resíduos sólidos e riscos que estão expostos catadores de materiais recicláveis**. 282 f. 2018. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2018.

CEC. **Characterization and Management of Organic Waste in North America** - Foundational Report. Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation. 260 p., 2017. Disponível em: <<http://www3.cec.org/islandora/en/item/11771-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-foundational-en.pdf>>. Acesso em: 25 de set. 2021.

CIC - Consorzio italiano compostatori. Italian Composting and Biogas Association. **Annual Report on Biowaste Recyclin**. 52f. 2017. Disponível em: <<https://www.compost.it/wp-content/uploads/2019/08/Rapporto-CIC-2017-Eng-v-2.6-web-version.pdf>>. Acesso em: 28 de set. 2021.

CHANDISH, R. B.; TRIPTI G.; SUNIL, J. Effect of constant temperature regimes on the biological parameters of an anthocorid predator *Orius tantillus* [Motsch]. **Journal of Biological Control**, v.31, n.3, p. 146-158, 2017.

CHAVES, V. T.; CONTRERA, R. C. Compostagem descentralizada – Uma tecnologia apropriada para implementação efetiva da Política Nacional de Resíduos Sólidos. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 8, 2017, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2017.

CHEN, L.; MARTI, M. H. M.; MOORE, C. F. A. **Dairy compost production and use in Idaho: The composting process**. University of Idaho Extension Publication: Extension Publication, CIS 1179, 5p., 2011.

CHEN, J. M.; ZHANG, X. M.; WANG, L. J.; CHEN, Y.; DU, Q.; CAI, J. T. Overt gastrointestinal bleeding because of hookworm infection. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, v.5, n.4, p.331-332, 2012.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**. 2º ed. PRIMER-E, Plymouth, 2001.

CLEMENTS, F. E. **Plant succession: an analysis of the development of vegetation.** United States: Alpha Editions, 2019, 588p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 481 de 03 de Outubro de 2017.** Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19344546/do1-2017-10-09-resolucao-n-481-de-3-de-outubro-de-2017-19344458>. Acesso em: 27 de set. 2020.

CORDEIRO, N. M. **Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos – caso de estudo da Algar S.A.** 2010. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2010.

CORDEIRO, K. B. B. Desenvolvimento e metamorfose de 15 famílias de diptera brachycera (Hexapoda, Insecta). Tese. 2018. 97f. (Doutorado em Biologia animal) - Universidade de Brasília, 2018.

CORREIA, M. E. F. **Relações entre a Diversidade da Fauna de Solo e o Processo de Decomposição e seus Reflexos sobre a Estabilidade dos Ecossistemas.** Documentos 156, Seropédica – RJ: EMBRAPA Agrobiologia, 33p. 2002.

CORREIA, M. E. F.; AQUINO, A. M.; MENEZES, E. L. A. **Aspectos ecológicos dos Isopoda terrestres.** Seropédica- RJ: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Documento 249, 2008, p. 23.

COLWELL, R. K. **EstimateS:** Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. [Version 9]. User's Guide and application, 2013. Disponível em: <<https://spaces-cdn.owlstown.com/blobs/f7yfc31w8r1p8ruymhvfp4mcdb9w>>. Acesso em: 27 de abr. 2023.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Campina Grande, estado da Paraíba/** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CUTHBERTSON, G. S.; BLACKBURN, L. F.; AUDSLEY, N. Efficacy of commercially available invertebrate predators against *Drosophila suzukii*. **Insects**, v.5, n.4, p.952-960, 2014.

DAL BOSCO, T. C. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas.** São Paulo: Blucher, 2017, 267p.

DANTAS, M. T. N. S. **Gestão de resíduos sólidos em condomínio vertical: possibilidades e desafios.** 106f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, 2017.

DEVI, S.; SHARMA, C. R.; SINGH, K. Microbiological biodiversity in poultry and paddy straw wastes. **Brazilian Journal of Microbiology**, p.288-296, 2012.

DELGADO, L. J. A.; CÓRDOLA, J. C.; PÉREZ, G. S.; ARANGO, Y. L. *Decomposición de residuos orgánicos en pacas: aspectos fisicoquímicos, biológicos, ambientales y sanitarios. Revista producción + limpia*, v.10, n.2, p.38-52, 2015.

DIAS S. C. Planejando estudos de diversidade e riqueza: uma abordagem para estudantes de graduação. *Acta Scientiarum*, v.26, n.4, p.373-379, 2004.

DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; TOCKNER, K. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, v. 27, p. 603-610, 2009.

DIENER, S.; SOLANO, N. M. S.; GUTIÉRREZ, F. R.; ZURBRUGG, C.; TOCKNER, K. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. **Waste and biomass valorization**, v.2, n.4, p.357-363, 2011

DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; GUTIÉRREZ, F. R.; NGUYEN, D. H.; MOREL, A.; KOOTTATEP, T.; TOCKNER, K. Black soldier fly larvae for organic waste treatment – prospects and constraints. In Proceedings of the WasteSafe 2011 – **2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries**, Khulna, Bangladesh, p.52, 2011b.

DORTMANS, B.; DIENER, S.; VERSTAPPEN, B. M.; ZURBRÜGG, C. **Black soldier fly biowaste processing: A step-by-step guide**. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), v.88, 2017.

EADES, P.; BANKS, C.; HEAVEN, S.; WALKER, M. Mass and energy balance for a rotating drum composting plant. *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management*, v. 164, n. 3, p. 151-159, 2011.

ECN. European Compost Network. Uredba o predelavi biološko razgradljivih odpadkov in uporabi komposta ali digestata. Priloga 4: Kakovostni razredi komposta ali digestata. **Country Report of Slovenia**, 25p. 2013. Disponível em: <<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=URED6281>>. Acesso em: 24 de Out. 2020.

ECN. European Compost Network. **Komposti ohutus- ja kvaliteedinäitajad**. Biolagunevatest jäätmetest komposti tootmise nõuded. Keskkonnaministri 8. aprilli 2013b. a määrus nr 7. Disponível em: < <https://www.riigiteataja.ee/akt/110042013001?leiaKehtiv>>. Acesso em: 24 de Out. 2020.

ECN. European Compost Network. **Country Report of Belgium (Flanders)**, 11p. 2019. Disponível em: <<https://www.compostnetwork.info/download/country-report-of-belgium-flanders-2020/>>. Acesso em: 24 de Out. 2020.

ECN. **European Compost Network. Country report Lithuania**. 3p. 2020. Disponível em: <<https://www.compostnetwork.info/?id=10>>. Acesso em: 24 de out. 2020.

EIRA, A. F. Influência da cobertura morta na biologia do solo. *In 1º Seminário sobre cultivo mínimo do solo em florestas. Anais...* Curitiba-PR, 17p., 1995.

EPA - United States Environmental Protection Agency. **Advancing sustainable materials management**: 2015 Fact Sheet. Assessing Trends in Material Generation, Recycling, Composting, Combustion with Energy Recovery and Landfilling in the United States. 23p. 2018. Disponível em:

<https://www.epa.gov/sites/production/files/201807/documents/2015_smm_msw_factsheet_07242018_fnl_508_002.pdf>. Acesso em: 23 de set. 2020.

EPA. Definitions for a range of terms commonly used within the waste industry. Changes included in the Environmental management of landfill facilities – solid waste disposal. **EPA 842/19**: waste definitions. South Australia. Guidelines. 16f. 2019. Disponível em: <https://www.epa.sa.gov.au/files/4771336_guide_waste_definitions.pdf>. Acesso em: 27 de set. 2020.

ELISSEN, H.; SCHILDER, M.; POSTMA, J.; WEIDE, R. V. D. Disease suppression in cress and sugar beet seedlings with frass of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). **Wageningen University & Research**, p.1-23, 2019.

EMINO, E. R.; WARMAN P. R. Biological assay for compost quality. **Compost Science and Utilization**, v.12, p.342-348, 2004.

ENVIS. Centre on control of pollution water, air and noise. **Annual Progress Report 2018-2019**. 26f. 2019. Government of India. Ministry of Environment, Forest & Climate Change. <http://cpcbenvnis.nic.in/annual_report_main.html>. Acesso em: 28 de set. 2020.

FARISH, D. J.; AXTELL, R. C. Phoresy redefined and examined in *Macrocheles muscaedomesticae* (Acarina: Macrochelidae). **Acarologia**, v.13, p.16-29, 1971.

FAUSTINO, R. F.; SILVA, M. M. P.; LIMA, V. G. S. Diversidade vegetal em ambientes de lixões desativados em municípios situados no bioma caatinga. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v.6, n.7, p.46719-46737, 2020.

FEACHEM R. G.; BRADLEY, D. J.; GARELICK, H.; MARA, D. D. **Sanitation and disease e Heath aspects of excretas and wastewater management**. Washington/USA: The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. 1983, 501p.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Universidade Estadual de Londrina, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), 1999, p.91.

FERRON, M. M. **Intoxicação ambiental por chumbo em crianças de uma vila de Porto Alegre e avaliação ambiental preliminar das possíveis fontes de contaminação**. 2010. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010

FERREIRA D. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.1, p.529-535, 2019.

FEITOSA, W. B. S. Correlação do pH e da temperatura em função da redução dos ovos viáveis de helmintos no processo de co-compostagem de esterco bovino e lodo de tanque séptico. *In Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, 10. **Anais...** João Pessoa-PB, P.1-7, 2019.

FONSECA, J. M. V.; OLIVEIRA, C. M. N.; PELUZIO, R. J. E.; ZANUNCIO, J. C. Dermatite vesicante pelo *Paederus* sp.: relato de 19 casos em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade**, v.7, n.25, p.255-258, 2012.

FREITAS, A. F. **Tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos gerados em condomínio residencial vertical**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba. Pesquisa em andamento, 2020.

FREITAS, A. F.; LEITE, V. D.; SILVA, M. M. P.; GOMES, R. B.; SILVA, M. J.; FARIAS, F. L. B.; BARROS, A.T. Tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos gerados em condomínio vertical como alternativa sustentável. **Research, Society and Development**, v.9, n.10, p.1-27, 2020.

GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F.; AYUSO, M. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.23, p.1501-1512, 1992.

GARCIA, S, G. A tecnologia social como alternativa para a reorientação da economia. **Revista estudos avançados**, v. 28, n. 82, p. 251-275, 2014.

GERSON, U.; SMILEY R. L.; OCHOA, R. **Mites (Acari) for Pest Control**. Blackwell Science Ltd., London, p. 539, 2 ed, 2003.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GILBERT, J.; RICCI-JÜRGENSEN, M.; RAMOLA, A. **Benefits of compost and anaerobic digestate; when applied to soil**. ISWA – International Solid Waste Association, 40p., 2020. Disponível em: <https://www.iswa.org/uploads/media/Report_2_Benefits_of_Compost_and_Anaerobic_Digestate_01.pdf>. Acesso em: 23 de set. 2020.

GIROUX, L. **State of Waste Management in Canada**. Canadian council of ministers of environment, Giroux environmental consulting, Ontario, 2016, 155p., revised. Disponível em: <http://www.ccme.ca/files/Resources/waste/wst_mgmt/State_Waste_Mgmt_in_Canada%20April%202016%20revised.pdf> Acesso em: 26 ago. 2020.

GIZ. **Low-Carbon Integrated Waste Management**. China Integrated Waste Management NAMA (IWM NAMA). NAMA Facility. 8f. 2018. People's Republic of China. Disponível em: <<https://www.giz.de/en/downloads/giz-nama-brochure-screen-version.pdf>>. Acesso em: 28 de set. 2020.

GOBBI, F. P. **Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae)**: Bases para su producción masiva en Europa. Universidad de Alicante. Alicante. 2012.

GOLD, M.; TOMBERLIM, J. K.; DIENER, S.; ZURBRÜGG, C.; MATHYS, A. Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste management*, v.82, p.302-318, 2018.

GOMES, E.; GUEZ, M. A. U.; MARTIN, N.; SILVA, R. Enzimas termoestáveis: fontes, produção e aplicação industrial. *Química Nova*, v.30, n.1, p.136-145, 2007.

GOMES, I. **Comportamento de enterobactérias em sistemas de tratamento aeróbio descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares**. 131p. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 2019.

GOMES, I.; SILVA, M. M. P.; GOMES, R. B.; FARIAS, F. L. B.; ARAÚJO, E. C. S.; BARROS, A. T. Tecnologia para tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, 2021.

GOMES, I.; SILVA, M. M. P.; GOMES, R. B.; BARROS, A. T.; FARIAS, F. L. B.; SILVA, P. M. F.; LUNA, K. P. O.; CEBALLOS, B. S. O.; ARAÚJO, E. C. S. Enterobactérias em sistemas de tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.5, p. 77-93, 2021b.

GOMES, R. B. **Tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares: análise de parâmetros físicos, químicos e sanitários**. 109f. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, 2022.

GORJI, K.; FATHIPOUR, Y.; KAMAL, K. The effect of temperature on the functional response and prey consumption of *Pytoseius plumifer* (Acari: Phytoseiidae) on the two-spotted spider mite. *Acarina*, v.17, n.2, p.231-237, 2009.

GHIglietti, R.; ROSSI, P.; RAMSAN, M.; COLOMBI, A. Viability of *Ascaris suum*, *Ascaris lumbricoides* and *trichuris muris* eggs to alkaline pH and different temperatures. *Parassitologia*, v. 37, p. 229-232, 1995.

HAUG, R.T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. Lewis Publishers: Boca Raton, FL, 1993, 717p.

HANSON, P. E.; GAULD, I. D. **The Hymenoptera of Costa Rica**. Oxford Univ. Press, Oxford, 1995, 893p.

HERBETS, R. A; COELHO, C. R. A; MILETTI, L. C.; MENDONÇA, M. M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. *Revista Saúde e Ambiente*, v.6, n.1, p.41-50, 2005.

HUNTER, P. E.; ROSARIO, R. M. T. Associations of Mesostigmata with other arthropods. *Annual Review Entomology*, v.33, p.393-417, 1988.

HUBER, F.; MOORE, T. E.; LOHER, W. **Cricket Behavior and Neurobiology**. New York: Cornell University Press, 1990, p.536.

HUBBE, M. A.; NAZHAD, M.; SÁNCHEZ, C. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. **BioResources**, v.5, n.4, p. 2808-2854, 2010.

ISLAM, K. M. A.; ANUAR, N.; YAAKOB, Z. Effect of genotypes and pre-sowing treatments on seed germination behavior of *Jatropha*. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 8, n. 6, p. 433-439, 2009.

IPCC. Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas. **Mudanças climáticas, desertificação, degradação da terra, gestão sustentável da terra, segurança alimentar e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres**. Relatório Especial. Genebra, 2019. [Online]. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>. Acesso em: 12 de jul. 2020.

IVAKIN, A. N.; PANDYA, U.; SARAF, M. **Composting for sustainable agriculture**. Sustainable development and biodiversity, 2014, 296p.

JALIL, M.; RODRIGUEZ, J. G. Studies of behaviour of *Macrocheles muscaedomesticae* (Acarina: Macrochelidae) with emphasis on its attraction to the housefly. **Annals of the Entomological Society of America**, v. 63, p. 738-744, 1970.

JONES, C. G.; LAWTON, J. H.; SHACHAK, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. **Ecology**, v.78, n.7, p.1946-1957, 1997.

JURADO, M; LÓPEZ, M. J; SUÁREZ-ESTRELLA, F; VARGAS-GARCÍA, M. C; LÓPEZ-GONZÁLEZ, J. A; MORENO, J. Exploiting composting biodiversity: Study of the persistent and biotechnologically relevant microorganisms from lignocellulose-based composting. **Bioresource Technology**, v. 162. p. 283–293, 2014.

JÜRGENSEN, M. R.; GILBERT, J.; RAMOLA, A. International Solid Waste Association (ISWA). **Global assessment of municipal organics waste production and recycling**. 32p. 2020. Disponível em: <https://www.iswa.org/uploads/media/Report_1_Global_Assessment_of_Municipal_Organic_Waste_Compressed_v2.pdf>. Acesso em: 23 de set. 2020.

KAPUSTKA, L. A. **Selection of phytotoxicity tests for use in ecological risk assessments**. In WANG, W.; GORSUCH, J. W.; HUGHES, J. S. *Plants for Environmental Studies*, CRC Lewis Publishers, Boca Raton, NY, p. 516-548, 1997.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; WOERDEN, F. V. **What Waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050**. World bank group, p.295, 2018.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 6.ed. Piracicaba: E.J. Kiehl, 2012. 171p.

KIM, E. Y.; HONG, J. K.; LEE, C. H.; OH, T. K. Effect of organic compost manufactured with vegetable waste on nutrient supply and phytotoxicity. **Applied Biological Chemistry**, v.61, n.2, 509-521p., 2018.

KHATOON, H.; SOLANKI, P.; NARAYAN, M.; TEWARI, L.; RAI, J. P. N. Role of microbes in organic carbon decomposition and maintenance of soil ecosystem. **International Journal of Chemical Studies**, v.5, n.6, p.1648-1656, 2017.

KHAMESIPOUR, F.; LANKARANI, K. B.; HONARVAR, B.; KWENTI, T. E. A systematic review of human pathogens carried by the housefly (*Musca domestica* L.). **BMC Public health**, n.1049, p.1-15, 2018.

KLAMMSTEINER, T.; TURAN, V.; JUÁREZ, M.F.D.; OBEREGGER, S.; INSAM, H. Suitability of black soldier fly frass as soil amendment and implication for organic waste hygienization. **Agronomy**, v.10, n.1578, p.1-12, 2020.

KRANTZ, G. W. Reflections on the biology, morphology and ecology of the Macrochelidae. **Experimental & Applied Acarology**, v. 22, p.125-137, 1998.

KUNERT, J. On the mechanism of penetration of ovicidal fungi through egg-shells of parasitic nematodes. Decomposition of chitinous and ascaroside layers. **Folia Parasitologica**, v.39, n.1, p.61-66, 1992.

KUBANZA; SIMATELE, M. D. Sustainable solid waste management in developing countries: a study of institutional strengthening for solid waste management in Johannesburg, South Africa. **Journal of Environmental Planning and Management**, p.1-16, 2019

LALANDER, C.; ERMOLAEV, E.; WIKLICKY, V.; VINNERÅS, B. Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content. **Science of the Total Environment**, v.729, p.138–968, 2020.

LANGE, L. C; CUSSIOL, N. A. M. **Avaliação da sustentabilidade técnica e ambiental de aterros sanitários como método de tratamento e de disposição final de resíduos de serviços de saúde**. 2º Caderno de Pesquisa em Engenharia de Saúde Pública, Brasília: FUNASA, p. 43-71, 2006.

LARDÉ, G. Recycling of Coffee Pulp by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. **Biological Waste** 33, p. 307-310, 1990.

LATTIN, J. D. Bionomics of the Anthocoridae. **Revisão Anual de Entomologia**, v.44, p.207-231, 1999.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology international**, n.33, p.1-15, 1996.

LAVELLE, P.; RODRÍGUEZ, N.; ARGUELLO, O.; BERNAL, J.; BOTERO, C.; CHAPARRO, P.; GÓMEZ, Y.; GUTIÉRREZ, A.; HURTADO, M. P.; LOAIZA, S.; PULLIDO, S. X.; RODRÍGUEZ, E.; SANABRIA, C.; VELÁSQUEZ, E.; FONTE, S. J. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River Basin of Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 185, p. 106-117, 2014.

LEE, C. M.; LEE, Y. S.; SEO, S.H.; YOON, S. H.; KIM, S. J.; HAHN, B. S.; SIM, J.S. KOO, B. S. Screening and characterization of a novel cellulase gene from the gut microflora of *Hermetia*

illucens using metagenomic library. **Journal of Microbiology Biotechnology**, v.24, n.9, p.1196-1206, 2014.

LEVY, J. S.; TAYLOR, B. R. Effects of pulp mill solids and three composts on early growth of tomatoes. **Bioresource Technology**, v.89, n.3, p.297-305, 2003.

LEWIS, S. L.; MASLIN, M. A. Defining the Anthropocene. **Nature**, v. 519, 2015.

LI, Q., ZHENG, L., CAI, H., GARZA, E., YU, Z.; ZHOU, S. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. **Fuel**, v.90, p.1545-1548, 2011.

LIMA, C. **Insetos do Brasil**. Coleopteros. 8° tomo, 2° parte, Cap. XXIX. Escola Nacional de Agronomia, série didática n° 10, 1953, p. 323.

LIMA, C. **Insetos do Brasil**. Himenópteros, 12° tomo, 2° parte, Cap. XXX. Escola Nacional de Agronomia, série didática n° 14, 1962.

LIMA JÚNIOR, R. G. S. **Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos**. 2015. 209f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

LIN, W.; ZHOU, H.; WU, H.; LI, Z.; LIN, W. The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea orchards. **Plos One**, v.14, n. 5, 2019.

LÓPEZ, V. G.; ROMERO, M. I.; PARRA, H. G. Mííase gástrica e intestinal por *Ornidia obesa* (Diptera: Syrphidae) em humanos. Primeiro relato na Colômbia. **Revista MVZ Córdoba**, 2017.

LOSSIN, R. D. Compost studies. Disposing of animal wastes: Measurement of chemical oxygen demand of compost. **Compost Science**, v.12, n.2, p.31-32, 1971.

LE CLEC'H, W.; F. CHEVALIER, L.; GENTY, J.; BERTAUX, D.; BOU-CHON, M. SICARD. Cannibalism and Predation as Paths for Horizontal Passage of *Wolbachia* between Terrestrial Isopods. **PLoS ONE**, v.8, n.4, 2013.

LUFF, M. L; HUTSON, B. R. **Soil fauna populations**. In HACKETT, B. Land reclamation practice. Guildford: IPC Business Press Ltd., p.125-147, 1977.

LÝSEK, H.; STĚRBA, J. Colonization of *Ascaris lumbricoides* eggs by the fungus *Verticillium chlamydosporium* Goddard. **Folia Parasitologica**, v. 38, n.3, p.255-259, 1991.

MA, J.; LEI, Y.; UR REHMAN, K.; YU, Z.; ZHANG, J.; LI, W.; LI, Q.; TOMBERLIN, J.K.; ZHENG, L. Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). **Environment Entomology**, v.47, p.159–165, 2018.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; BENDER, K. S.; BUCKLEY, D. H.; STAHL, D. A. **Microbiologia de Brock**. 14. ed. Porto Alegre: ArtMed, 2016, 1032p.

MAHMOOD, S.; ZURBRÜGG, C.; TABINDA, A. B.; ALI, A.; ASHRAD, A. Sustainable Waste Management at Household Level with Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*). **Sustainability**, v.13, n.17, p.1-18, 2021

MANNARINO, C. F.; FERREIRA, J. A.; GONDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com base na experiência Européia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro/RJ, v.21, n.2, p.379-385, 2016.

MARCHIORI, C. H.; SILVA, C. G. First occurrence of parasitoid *Spalangia endius* (Walker) (Hymenoptera: Pteromalidae) in pupae of *Zaprionus indianus* Gupta (Diptera: Drosophilidae) in Brazil. **Brazilian Journal of Biolo**, 2003, v.63, p.61-362.

MARCHIORI, C. H.; SILVA FILHO, O. M.; BORGES, M. P.; MORAES, P. C.; ARANTES, S. B. Parasitóides de *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae) de Itumbiara, Goiás, Brasil. **Revista de patologia tropical**, v.32, n.2, p.263-266, 2003.

MARTINS, E.; NEVES, J. A.; MORETTI, T. C.; GODOY, W. A. C.; THYSSEN, P. J. Breeding of *Ornidia obesa* (Diptera: Syrphidae: Eristalinae) on pig carcasses in Brazil. **Journal of Medical Entomology**, v.47, n.4, p.690-694, 2010.

MARTNEZ-BLANCO, J.; LEHMANN, A.; MUÑOZ, P.; ANTÓN, A.; TRAVERSO, M.; RIERADEVALL, J.; FINKBEINER, M. Application challenges for the social LCA of fertilizers within life cycle sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, v.69, p.34-48, 2014.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2017, 368p.

MARTINS, T. B. **Contribuições de Frederic Edward Clements para a ecologia: o desenvolvimento do conceito de clímax (1904-1936)**. 2020. 82f. Dissertação (Mestrado em Biologia Comparada) - Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 2020.

MASMOUDI, S.; MAGDICH, S.; RIGANE, H.; MEDHIOUB, K.; REBAI, A.; AMMAR, E. Effects of Compost and Manure Application Rate on the Soil Physico-Chemical Layers Properties and Plant Productivity. **Waste and Biomass Valorization**, v.11, p.1883-1894, 2020.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neopolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010, 568p.

MCALPINE, J. F.; PETERSON, B. V.; SHEWELL, G. E.; TESKEY, H. J.; VOCKEROTH, J. R.; WOOD, D. M. **Manual of Nearctic Diptera**. Research Branch Agriculture Canada, v. 2, n. 28, 1987

MEDEIROS, R. M. FRANCISCO, P. R. M.; BORGES, C. K.; GOMES FILHO, M. F. Caracterização e classificação climática da cidade de Campina Grande-PB. *In* Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia 71 CONTECC. **Anais...** Teresina-PI, 2014.

MEYER, K. B.; MILLER, K. D.; KANESHIRO, S. Recovery of *Ascaris* eggs from sludge. **Journal of Parasitology**. The American Society of Parasitologist, v. 64, n.2, p.380-383, 1978.

METCALF, E. E. **Wastewater engineer treatment disposal, reuse**. 4ªed. New York: McGraw- Hill Book, 2003, 1729p.

MENDES, S. M.; BUENO, V. H. P.; CARVALHO, L. M.; SILVEIRA, L. C. P. Efeito da densidade de ninfas de *Aphis gossypii* Glover, 1877 (Hemiptera, Aphididae) no consumo alimentar e aspectos biológicos de *Orius insidiosus* (Say, 1832) (Hemiptera, Anthocoridae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v.47, n.1, p.19-24, 2003.

MENDES, S. M.; BUENO, V. H. P.; CARVALHO, L. M. 2005. Development and thermal requirements of *Orius insidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae). **Revista Brasileira de Entomologia**, v.49, n.4, p.575–579, 2005.

MENDES, J. R. L.; ALMEIDA, K. E. L.; MELO, J. M.; ABRANTES, M. M. G. Diagnóstico da disposição de resíduos sólidos urbanos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Direito e Gestão Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 449-457, 2020.

MENEGUZ, M.; GASCO, L.; TOMBERLIN, J.K. Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L.; Diptera: Stratiomyidae) larval development. **PLoS ONE**, v. 13, p.1-15, 2018.

MICHAUD, J. P.; SCHOENLY, K. G.; MOREAU, G. Rewriting ecological succession history: did carrion ecologists get there first? **The Quarterly Review of Biology**, v.90, n.1, p.45-66, 2015.

MINHONI, M. T. A.; EIRA, A. F.; CARDOSO, E. J. B. N. Efeitos de N e P sobre a decomposição de diferentes tipos de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.297-304, 1990.

MIRA, G. E. M.; JARAMILLO, C. A. P. Evaluación cinética de los dípteros como indicadores de la evolución del proceso de compostaje. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, v.9, n.17, p.14-28, 2010.

MONTEIRO, R. T. R.; FRIGHETTO, R. T. S. Determinação da umidade, pH e capacidade de retenção de água do solo. In: FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo**: manual técnico. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. p.37-40. 2000.

MONTEIRO, S. G.; FACCIO, L.; OTTO, M. A.; SOARES, J. F.; SILVA, A. S.; MAZZANTI, A. Mífase acidental por *Ornidia obesa* em humanos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, v.17, supl. 1, p. 96-98, 2008.

MORALES, G. E.; WOLFF, M. Insects associated with the composting process of solid urban waste separated at the source. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.54, n.4, p.645-653, 2010.

MYERS, H. M. et al. Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Fed Dairy Manure. *Environmental Entomology*, v. 37, n. 1, p. 11-15, 2008.

NASCIMENTO, C. R. **Sistema de tratamento descentralizado de resíduos sólidos orgânicos no bairro Malvinas, Campina Grande-PB**. 2015. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

NASCIMENTO, C. R.; SILVA, M. M. P.; ARAÚJO, E. C. S.; COSTA, M. P.; SILVA, A. V. Avaliação de sistema de tratamento aeróbio descentralizado móvel de resíduos sólidos orgânicos domiciliares no bairro Malvinas, Campina Grande-PB. In Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Abes. **Anais...** São Paulo/SP, p.1-9, 29, 2017.

NASIR, S.; AKRAM, W.; AHMED, F. The Population Dynamics, Ecological and Seasonal Activity of *Paederus fuscipes* Curtis (Staphylinidae; Coleoptera) in the Punjab, Pakistan. **APCBEE Procedia**, v.4, p.36-41, 2012.

NEVES, D. P. **Parasitologia humana**. São Paulo: Atheneu 13 ed., 2016, 264p.

NEWTON, G. L.; SHEPPARD, C.; WATSON, D. W.; BURTLE, G.; DOVE, R. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. **Report for Mike Williams**, Director of the Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University, 2005

NIU, G. Genomics-Driven Natural Product Discovery in Actinomycetes. **Trends in Biotechnology**, v.36, n.3, 2017.

NORIEGA, J. A.; HORTAL, J.; AZCÁRATE, F. M.; BERG, M. P.; BONADA, N.; BRIONES, M. J. I.; DEL TORO, I.; GOULSON, D.; IBANEZ, S.; LANDIS, D. A.; MORETTI, M.; POTTS, S. G.; SLADE, E. M.; STOUT, J. C.; ULYSHEN, M. D.; WACKERS, F. L.; WOODCOCK, B. A.; SANTOS, A. M. C. Research trends in ecosystem services provided by insects. **Basic and Applied Ecology**, vol. 26, p. 8–23, 2018.

NGUYEN, H. C.; LIANG, S. Y.; SU, C. H.; CHIEN, C. C.; CHEN, Y. J.; HUONG, D. T. M. Direct transesterification of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for biodiesel production. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v.85, p.165–169, 2018.

NYAMPUNDU, K.; MWEGOHA, W. J. S.; MILLANZI, W. C. Sustainable solid waste management measures in Tanzania: an exploratory descriptive case study among vendors at majengo market in Dodoma city. **BMC Public Health**, v.20, n.1075, p.1-16, 2020.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. São Paulo: fundação Calouste Gulbenkian, 6ªed, 2007, 632p.

OH, K. S.; KIM, G. T.; AHN, K. S.; SHIN, S. S. Effects of disinfectants on larval development of *Ascaris suum* eggs. **Korean Journal Parasitology**, v.54, n.1, p.103-107, 2016.

OLIVEIRA, C. S. P.; MENDES, M. P.; DUARTE, M. N.; RODRIGUES, W. C. Composição e diversidade da fauna de grilos (Orthoptera: Grylloidea) em um fragmento de floresta pluvial atlântica do estado do Rio de Janeiro. **EntomoBrasilis**, v.6, n.3, p.184-192, 2013.

OLIVEIRA, F.; DOELLE, K.; LIST, R.; O'REILLY, J. R. Assessment of diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (L., 1758) using electron microscopy. **Journal of entomology and zoology studies**, v. 3, n.5, p.147-152, 2015.

OLIVEIRA, F. R.; DOELLE, K.; SMITH, R. External morphology of *Hermetia illucens* Stratiomyidae: Diptera (L. 1758) based on electron microscopy. **Annual Research & Review in Biology**, v. 9, p.1–10, 2016.

OLIVEIRA, M. A. S. **Gestão de resíduos eletroeletrônicos em município de médio porte no contexto da legislação ambiental**. 117p., 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, 2018.

ONU – World meteorological organization. **The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2018**. WMO greenhouse gas bulletin, 8f. n. 15, nov. 2019. Disponível em: <http://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/GHG-Bulletin-15_en.pdf?mQP5SDxBr_pHsQNJSAPrF8E5XnqkfHo2>. Acesso em: 2 de set. 2020.

PANIZZI, A. R.; PARRA, J. R. P. **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo: Manole, 1991. 359p.

PELTRE, C.; GREGORICH, E. G.; BRUUN, S.; JENSEN, L. S.; MAGID J. Repeated application of organic waste affects soil organic matter composition: Evidence from thermal analysis, FTIR-PAS, amino sugars and lignin biomarkers. **Soil Biology & Biochemistry**, v.104: p.117-127, 2017.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; PELICIONI, M. C. F. **Educação ambiental e sustentabilidade**. São Paulo: Manole, 2^oed, 2014, 1024p.

PRASAD, M.; LEE, A. GAFFNEY, M. T. **A detailed chemical and nutrient characterisation of compost and digestate fibre including a comparative release of Nitrogen and Phosphorus**. 43p. 2012. Disponível em: <www.cre.ie/web/wpcontent/uploads/2010/12/Compost-Digestate-Characterisation.pdf>. Acesso em: 23 de out. 2020.

PEDRAZA, D. F. Saúde e nutrição das crianças assistidas em creches públicas do município de Campina Grande, Paraíba. **Caderno Saúde Coletiva**, v.24, n.2, p.200-208, 2016.

POLPRASERT, C.; KOOTTATEP, T. **Organic Waste Recycling: Technology, Management and Sustainability**. London: IWA Publishing; 4^a ed., 2017, 1054p.

POTAPOV, A. M.; BEAULIEU, F.; BIRKHOFFER, K.; BLUHM, S. L.; DEGTYAREV, M. I.; DEVETTER, M.; GONCHAROV, A. A.; GONGALSKY, K. B.; KLARNER, B.; KOROBUSHKIN, D. I.; LIEBKE, D. F.; MARAUN, M.; DONNELL, R. J. M.; POLLIERER, M. M.; SCHAEFER, I.; SHRUBOVYCH, J.; SEMENYUK, I. I.; SENDRA, A.; TUMA, J.; TUMOVA, M.; VASSILIEVA, A. B.; CHEN, T. W.; GEISEN, S.; SCHMIDT, O.; TIUNOV, A. V.; SCHEU, S. Feeding habits and multifunctional classification of soil-associated consumers from protists to vertebrates. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v.97, p.1057-1117, 2022.

PROSI, F.; STORCH, V.; JANSSEN, H. H. Small cells in the midgut glands of terrestrial isopoda: sites of heavy metal accumulation. **Zoomorphology**, v.102, p.53-64, 1983.

QUADROS, A. F. Os Isópodos terrestres são boas ferramentas para monitorar e restaurar áreas impactadas por metais pesados no Brasil? **Oecologia Australis**, v.14, n.2, p.569-583, 2010.

QUEIROZ, A.P.B.; PEDRINI, A.G. Percepção ambiental de moradores de condomínios no município de Niterói, estado Rio de Janeiro, Brasil sobre resíduos sólidos urbanos associados a sua coleta seletiva. **REMEA**, v. 31, n. 12. 2014.

RANAL, M.A.; SANTANA, D.G. How and why to measure the germination process? **Revista Brasileira de Botânica**, v.29, p.1-11, 2006.

REFED. Rethink food waste. **A roadmap to reduce U.S. food waste by 20 percent**. Report. 96f. 2016. Disponível em: <https://www.refed.com/downloads/ReFED_Report_2016.pdf>. Acesso em: 27 de set. 2020.

REZENDE, M. F. O. **Biologia e consumo alimentar de Orius insidiosus (Say, 1832) (Hemiptera: Anthocoridae) sobre duas presas diferentes**. 1990. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Entomologia), Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.

RODRIGUEIRO, T. S. C.; PRADO, A. P. Macrochelesmuscaedomesticae (Acari, Macrochelidae) e uma espécie de Uroseius (Acari, Polyaspididae) forética sobre Musca domestica (Diptera, Muscidae): efeitos na dispersão e colonização do esterco de aves. Iheringia, **Série Zoologia**, v.94 n.2, 2004.

ROMESBURG, H. C. **Cluster analysis for researchers**. Malabar, Robert E. Krieger. Publishing Company, v.15, p.334, 1984.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**. 2003. 196f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2003.

RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. **Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva**. São Paulo: Rocca, 2005, 1145p.

RUIZ, N. M.; NAVARRO, G. J.; LARAÑO, J. M. Beech cupules as keystone structures for soil fauna. **PeerJ Publishing**, v.1-23, 2016.

RYCLKEFS, R. E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 7 ed, 2016, 636p.

SALOMONE, R.; SAIJA, G.; MONDELLO, G.; GIANNETTO, A.; FASULO, S.; SAVASTANO, D. Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. **Journal Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 890-905, 2017.

SANTOS, B. D.; JUSTINO, E. D.; RIBEIRO, V. V.; SOUZA, D. M.; SILVA, M. M. P. Aplicação de compostos produzidos em sistema de tratamento descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares no desenvolvimento de culturas agrícolas cultivadas em horta comunitária no bairro de Santa Rosa, Campina Grande-PB. *In* Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** ABES: Rio de Janeiro, 28, 2015.

SÁNCHEZ, Ó. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. **Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process**. *Waste Management*, v. 69, 2017.

SANTANA, L. D.; RAYMUNDO, D.; RUBIOLI, T.; PRADO JÚNIOR, J. A.; MARQUES, J. S.; CARVALHO, F. A. Community succession in an urban novel forest after four decades of regeneration. ***Floresta e Ambiente***, v.25, n.4, p.1-10, 2018.

SARFO-MENSAH, P.; OBENG-OKRAH, K.; ARHIN, A. A.; AMANING, T. K.; OBLITE, R. T. Solid waste management in urban communities in Ghana: a case study of the Kumasi metropolis. ***African Journal of Environmental science and Technology***, v.13, n.9, p.342-353, 2019.

SCHARLEMANN, J.P.; TANNER, E.V.; HIEDERER, R.; KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. ***Carbon Management***, v.5, p.81-91, 2014.

SAUTTER, K. D. Meso (acari e collembola) e macrofauna (oligochaeta) na recuperação de solos degradados In: DIAS, L. E.; MELLO, J.W.V. Recuperação de áreas degradadas. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Solos Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p. 197-202.

SCHMITT, E.; VRIES, W. Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. ***Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry***, v. 25, 2020.

SHINGLETON, A. W. The regulation of organ size in *Drosophila* physiology, plasticity, patterning and physical force. ***Organogenesis***, v.6, n.2, p.76-87, 2010.

SHIMAKURA, S. E. **Correlação**; interpretação do coeficiente de correlação. LEG/UFPR. [Online], 2006. Disponível em: < <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html> >. Acesso em 25 de jul. 2020.

SHIRALIZADEH, R.; ESFANDIARI, M.; SHISHEHBOR, P.; FARAH, S. Effect of temperature on the functional response of the predatory mite *Macrocheles muscaedomesticae* (Acari: Macrochelidae) by feeding on eggs of the house fly, *Musca domestica* (Dip.: Muscidae). ***Science Journal of Agriculture***, v.44, n.2, p. 19-31, 2021.

SILVA, M. T. N.; PONTES, A.; ARAGÃO, P.; ANDRADE, J.; TAVARES NETO, J. Prevalência de parasitas intestinais em crianças, com baixos indicadores socioeconômicos, de Campina Grande (Paraíba). ***Revista Baiana de Saúde Pública***, v.29, n.1, p.121-125, 2005

SILVA, M. M. P.; LEITE, V. D. Estratégias para realização de Educação Ambiental em escolas do ensino fundamental. ***Revista eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental***, v.20, 372-392p, 2008.

SILVA, M. M. P.; SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; LEITE, V. D.; FEITOSA, W. B. S.; LEITE, V. D. Avaliação sanitária de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em municípios do semiárido paraibano. ***Revista Caatinga***, v.23, n.2, p.87-92, 2010.

SILVA, M. M. P.; OLIVEIRA, A. G.; LEITE, V. D.; SOARES, L. M. P.; OLIVEIRA, S. C. A. Avaliação de sistema de tratamento descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em Campina Grande - PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2011.

SILVA, E. H.; SOUZA, M. A.; NASCIMENTO, J. M.; JUSTINO, E. D.; SILVA, M. M. P. Acondicionamento e destinação final dos resíduos sólidos de serviço de saúde dados pelos portadores de Diabetes *MELLITUS*, num bairro de Campina Grande-PB. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, III. **Anais...** Goiânia-GO, p.1-6, 2012.

SILVA, M. M. P. **Educação ambiental através da extensão universitária transformando vidas humanas.** In CARNEIRO, M. A. B; SOUZA, M. L. G (org.). Extensão universitária; desenvolvimento regional, políticas públicas e cidadania. João Pessoa-PB: Editora Universitária da UFPB: Editora Realize, p. 159-188, 2012.

SILVA, M. M. P.; SILVA, D.; JUSTINO, E. D.; COSTA, M. P. Influência de cobertura no desempenho de sistema de tratamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares implantado na zona urbana, em Campina Grande-PB. In Simpósio Itálo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Abes. **Anais...** Natal/RN, 2014.

SILVA, R. L. M. **Influência da granulometria no processo de compostagem de resíduos sólidos vegetais.** 85f. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – PPGCTA, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.

SILVA, M. M. P.; ARAÚJO, E. C. S.; SOUSA, M. U.; SILVA, A. V.; SANTOS SOBRINHO, J. B. Educação ambiental com instrumento de mudança social e ambiental. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30. **Anais...** Natal/RN, 2019

SILVA, M. M. P. **Manual de educação ambiental;** uma contribuição à formação de agentes multiplicadores em educação ambiental. Curitiba: Appris, 1ed, 2020, 233p.

SILVA, M. M. P.; GOMES, R. B.; ARAÚJO, E. C. S.; GOMES, I.; FREITAS, A. F.; SILVA, A. V.; FARIAS, F. L. B.; LEITE, V. D. Prevalência de helmintos em resíduos sólidos orgânicos domiciliares; um risco à saúde ambiental e humana. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.28689-28702, 2020.

SILVA, M. M. P.; LIMA, R. A.; GOMES, R. B.; MENDES, R. A.; SANTOS SOBRINHO, J. B.; ARAÚJO, E. C. S.; LIMA, V. G. S. Educação Ambiental: ferramenta indispensável à gestão municipal de resíduos sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.28743-28757, 2020b.

SILVA, M. M. P.; SOUSA, M. U.; SANTOS, B. D.; COSTA, M. P.; ARAÚJO, E. C. S.; SOARES, E. S.; RIBEIRO, L. A.; CAVALCANTE, L. P. S. Tecnologias sociais para gestão de resíduos sólidos recicláveis secos e prevenção de riscos no exercício profissional de catadores de materiais recicláveis. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.31402-31428, 2020c

SILVA, M. M. P. **Tratamento de lodos de tanques sépticos e resíduos sólidos orgânicos domiciliares**: transformando problema em solução. Belo Horizonte/MT: Pantanal Editora, 2021, 165p.

SILVA, T. A. C.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; RAMOS, P. P.; PEREIRA, J. M. Avaliação da qualidade de solo de área de lixão: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p.630-640, 2020d.

SINGH, R.; GAUTAM, N.; MISHRA, A.; GUPTA, R. Heavy metals and living systems: an overview. **Indian Journal of Pharmacology**, v.43, n.3, p.246-253, 2011.

SIQUEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; BARBIN, D.; VILLA NOVA, N. A. **Manual de ecologia dos insetos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 419 p., 1976.

SIQUEIRA, T. M. O.; ASSAD, M. L. R. C. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil). **Revista Ambiente e Sociedade**, v.18, n.4, p.235-258, 2015.

SIQUEIRA, T. M. O.; ABREU, M. J. Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana. **Ciência e cultura**, v.68, n.4, p.38-43, 2016.

SMIDT, E.; MEISSL, K.; SCHMUTZER, M.; HINTERSTOISSER, B. Co-composting of lignin to build up humic substances—Strategies in waste management to improve compost quality. **Industrial Crops and Products**, v.27, p.196-201, 2008.

SOOBHANY, N. Preliminary evaluation of pathogenic bacteria loading on organic Municipal Solid Waste compost and vermicompost. **Journal of Environmental Management**, v, 206, p.763-767, 2018.

SPRANGHERS, T.; OTTOBONI, M.; KLOOTWIJK, C.; OVYN, A.; DEBOOSERE, S.; MEULENAER, B.; MICHIELS, J.; EECKHOUT, M.; CLERCQ, P.; SMET, S. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 2594-2600, 2017.

STEHR, F. W. **Immature insects**. Dubuque, Kendall/Hunt. v. 2, p.974, 1991

STEEL, H.; BERT, W. Biodiversity of compost mesofauna and its potential as an indicator of the composting process status. **Dynamic soil, dynamic plant**, v.5, n.2, p.45-50, 2011.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e desertificação. **Mercatur**, Fortaleza, v. 14, n.1, p. 131-150, 2015.

SOUZA, T. A. F.; FREITAS, H. **Long-term effects of fertilization on soil organism diversity**. 211–247p. In GABA, S.; SMITH, B.; LICHTFOUSE, E. Sustainable agriculture reviews 28: Ecology for agriculture. Springer, 1ed, 373p., 2018.

SUN, R.; ZHANG, X. X.; GUO, X.; WANG, D.; CHU, H. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw. **Soil Biol Biochem**, v.88, p.9-18, 2015.

TAM, N. F.; TIQUIA, S. M. Assessing toxicity of spent sawdust pig-litter, using seed germination technique. **Resource Conservation Recycling**, v.11, p.261-264, 1994.

TEIXEIRA FILHO, N. P. **Devoradores de lixo: aspectos biológicos, produtivos e nutricionais da mosca soldado *Hermetia illucens* (L., 1758) (Díptera; Stratiomyidae) em resíduos sólidos orgânicos em Manaus, AM. 2018.** 79f. Dissertação de Mestrado (Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas/AM, 2018.

TEMPLE, W. D.; RADLEY, R.; BAKER-FRENCH, J.; RICHARDSON, F. Use of Enterra Natural Fertilizer (Black Soldier Fly Larvae Digestate). **As a Soil Amendment**, v. 26, 2013.

TESKEY, H. J. **Morphology and Terminology** – larvae. *In* Manual of Nearctic Diptera. Agriculture Canada Research Branch, Monograph, v. 27, p. 65-88, 1981.

THOMAZINI, M. J.; BERTI FILHO, E. Influência da densidade e idade de pupas da mosca doméstica no parasitismo por *Muscidifurax uniraptor* (Hymenoptera: Pteromalidae). **Revista de Agricultura**, v. 75, n. 3, 2000.

TINGLE, F. C.; MITCHELL, E. R.; COPELAND, W. W. The soldier fly, *Hermetia illucens*, in poultry houses in north central Florida. **Journal of the Georgia Entomological Society**, v.10, p.179-183, 1975.

TOSUN, I; GÖNÜLLÜ, M.T.; ARSLANKAYA, E.; GÜNAY, A. Co-composting kinetics of rose processing waste with OFMSW. **Bioresource Technology**, v.99, p. 6143-6149, 2008.

TRAUTMANN, N. M.; KRASNY, M. E. **Composting in the classroom: scientific inquiry for high school students.** Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company. Nation Science Foundation, 1998, 126p.

TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects.** United States of America: Thomson, 7ed, 2004, p.888.

TRIUNFO, M.; TAFI, E.; GUARNIERI, A.; SALVIA, R.; SCIEUZO, C.; HAHN, T.; ZIBEK, S.; GAGLIARDINI, A.; PANARIELLO, L.; COLTELLI, M. B.; BONIS, A.; FALABELLA, P. Characterization of chitin and chitosan derived from *Hermetia illucens*, a further step in a circular economy process. **Scientific reports**, v.12, n.6613, 2022.

TRUMAN, J. W.; RIDDIFORD, L. M.; SAFRANEK, L. Temporal patterns of response to ecdysone and juvenile hormone in the epidermis of the tobacco hornworm, *Manduca sexta*. **Developmental Biology**, v.39, p.247-62, 1974.

TSAGAAN, A.; KANUKA, I.; OKADO, K. Estudo de bactérias patogênicas detectadas em amostras de moscas usando universal primer-multiplex PCR. **Mongolian Journal of Agricultural Sciences**, v.15, n.2, p.27–32, 2015.

TROTTA, V.; CALBONI, F. C. F.; ZIOSI, M.; GUERRA, D.; PEZZOLI, M. C.; DAVID, J. R.; CAVICCHI, S. Thermal plasticity in *Drosophila melanogaster*: a comparison of geographic populations. **BMC Ecology and Evolution**, v.6, n.67, p.1-13, 2006.

UE. Directivas European Union. Conselho da União Europeia. **Relativa à deposição de resíduos em aterros sanitários**. Diretiva 31/EC de 26 de abril de 1999.

UE. Directivas European Union. European Parliament and of the Council – EUR. Official Journal of the European Union. **Directiva 2006/12 CE**. November 19, 2006.

UE. Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia. Relativa aos resíduos e que revoga certas directivas, Jornal Oficial da União Europeia. **Directiva 2008/98/CE**, 19 de Novembro de 2008.

UE. Directivas European Union. European Parliament and of the Council – EUR. Laying down detailed rules on organic production and labelling of organic products with regard to organic production, labelling and control. Official Journal of the European Union, **Directiva n. 889/2008 CE**, 5 Sept. 2008b.

UE. Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia. Estabelece regras relativas à disponibilização no mercado de produtos fertilizantes UE e que altera os Regulamentos, Jornal Oficial da União Europeia. **Regulamento 2019/1009**, 5 de junho de 2019.

UNEP - United Nations Environment Programme. **Africa Waste Management Outlook**. 2018. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/ietc/resources/publication/africa-waste-management-outlook>>. Acesso em: 8 de set. 2020

UNEP. United Nations Environment Programme. **Integrated Solid Waste Management**. 76f. 2018. Disponível em: <<http://www.unep.org/gpwm/what-we-do/integrated-solid-waste-management>>. Acesso em: 23 de set. 2020b.

USEPA - **Tanque séptico** – sistemas de absorción al suelo. Folheto Informativo de sistemas descentralizados. EPA 832-F-99-075. Washington-US: Environmental Protection Agency, United State Environmental Protection Agency, 1999.

UGLAND, K. I; GRAY, J. S.; ELLIGSEN, K. E. The species-accumulation curve and estimation of species richness. *The Journal of Animal Ecology*, v. 72, p. 888-897, 2003.

VALARINI, P. J.; CURAQUEO, G.; SEGUEL, A.; MANZANO, K.; RUBIO, R.; CORNEJO, P.; BORIE, F. Effect of compost application on some properties of a volcanic soil. From Central South Chile. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.69 n.3, p.416-425, 2009.

VIEIRA, M. H. P. **Mesofauna edáfica e a taxa de decomposição da resteva de três sucessões de cultura em sistema plantio direto**. 153f. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2008.

WEIGERT, S. C.; FIGUEIREDO, M. R. C.; LOEBMANN, D.; NUNES, J. A. R.; SANTOS, A. L. G. Influência da temperatura e do tipo de substrato na produção de larvas de *Musca domestica* linnaeus, 1758 (Diptera, Muscidae). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.1886-1889, 2002.

WESLIEN J.; DJUPSTRÖM L. B.; SCHROEDER M.; WIDENFALK O. Long-term priority effects among insects and fungi colonizing decaying wood. **Journal of Animal Ecology**, v.80, p.1155–1162, 2011.

WHO. World Health Organization. **Soil-transmitted helminth infections**. Geneva: WHO, 2021. Disponível em: <<https://www.who.int/es/>>. Acesso em: 21 de dez. 2022.

WONG, A. C. N.; VANHOVE, A. S.; WATNICK, P.I. The interplay between intestinal bacteria and host metabolism in health and disease: lessons from *Drosophila melanogaster*. **Disease Models & Mechanisms**, v.9, n.3, p.271-281, 2016.

WOLDA, H. Similarity indices, sample and diversity. **Oecologia**, v.50, p.296-302, 1981.

XIONG, Z. Q.; WANG, G. X.; HUO, Z. C.; YAN, L.; GAO, Y. M.; WANG, Y. J.; GU, J. D.; WANG, W. D. Effect of aeration rates on the composting processes and nitrogen loss during composting. **Research article**, v.2, n.1, p.1-8, 2017.

YANG, S. X.; LIAO, B.; LI, J. T.; GUO, T.; SHU, W. S. Acidification, heavy metal mobility and nutrient accumulation in the soil-plant system of a revegetated acid mine wasteland. **Chemosphere**, v.80, p.852-859, 2010.

YU, H.; QI, W.; LIU, C.; YANG, L.; WANG, L.; LV, T.; PENG, J. Different Stages of Aquatic Vegetation Succession Driven by Environmental Disturbance in the Last 38 Years. **Journal Water**, v.11, n.1412, p.1-15, 2019.

ZAHN, N. H. The Effects of Insect Frass Created by *Hermetia Illucens* on Spring Onion Growth and Soil Fertility. **University of Stirling**, v. 1, 1-65, 2017.

ZAGO, V. C. P.; VICTORIANO, J. T. Avaliação de composto orgânico na composição de substrato para a produção de mudas de *Tagetes Patula*. In Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 30. **Anais...** Natal/RN, 2019.

ZERBINI, A. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; VIANA, E. M. Estudo da remoção de ovos de helmintos e indicadores bacteriano em um sistema de tratamento de esgotos domésticos por reator anaeróbio e aplicação superficial no solo. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro-RJ: ABES, 1999.

ZHANG, L.; SUN, X. Effects of rhamnolipid and initial compost particle size on the two-stage composting of green waste. **Bioresource Technology**, v.163, p.112-122, 2014.

ZHAO, Y.; WANG, W.; ZHU, F.; WANG, X.; WANG, X.; LEI, C. The gut microbiota in larvae of the housefly *Musca domestica* and their horizontal transfer through feeding. **ABM Express**, v.7, n.147, p.1-9, 2017.

ZNIDARSIC, N.; ŠTRUS, J. & DROBNE, D. Ultrastructural alterations of the hepatopancreas in *Porcellio scaber* under stress. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v.13, p.161-174, 2003.

ZUREK, E. U.; SCHAL, C.; WATSON, D. W. Diversidade e contribuição da comunidade bacteriana intestinal para o desenvolvimento de larvas de *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). **Journal Medicine Entomology**, v.37, p.924-928, 2000.

ANEXOS

Tabela 25. Autovalor e porcentagem cumulativa de variância no sistema de composteiras CCR

	Autovalor	% Variância	Cumulativa %
Dim. 1	3.98813	23.4596	23.5
Dim. 2	3.31363	19.4919	43.0
Dim. 3	2.12653	12.5090	55.5
Dim. 4	1.73921	10.2306	65.7
Dim. 5	1.32830	7.8135	73.5
Dim. 6	1.14474	6.7337	80.2
Dim. 7	1.06585	6.2697	86.5
Dim. 8	0.64765	3.8097	90.3
Dim. 9	0.50130	2.9488	93.3
Dim. 10	0.48544	2.8555	96.1
Dim. 11	0.37603	2.2119	98.3
Dim. 12	0.11048	0.6499	99.0
Dim. 13	0.08109	0.4770	99.5
Dim. 14	0.05509	0.3241	99.8
Dim. 15	0.03214	0.1891	100.0
Dim. 16	0.00247	0.0145	100.0
Dim. 17	0.00192	0.0113	100.0

Tabela 26. Autovalor e porcentagem cumulativa de variância no sistema de composteiras CAR

	Autovalor	% Variância	Cumulativa %
Dim. 1	3.55959	23.7306	23.7
Dim. 2	2.40027	16.0018	39.7
Dim. 3	1.97315	13.1544	52.9
Dim. 4	1.68025	11.2016	64.1
Dim. 5	1.05744	7.0496	71.1
Dim. 6	1.03464	6.8976	78.0
Dim. 7	0.91898	6.1265	84.2
Dim. 8	0.80082	5.3388	89.5
Dim. 9	0.75106	5.0070	94.5
Dim. 10	0.36544	2.4363	96.9
Dim. 11	0.24704	1.6469	98.6
Dim. 12	0.12726	0.8484	99.4
Dim. 13	0.07990	0.5327	100.0
Dim. 14	0.00416	0.0277	100.0
Dim. 15	6.86e-35	4.57e-34	100.0

Tabela 27. Autovalor e porcentagem cumulativa de variância no sistema de composteiras CPC

	Autovalor	% Variância	Cumulativa %
Dim. 1	4.1015	29.2963	29.3
Dim. 2	3.5518	25.3703	54.7
Dim. 3	2.1033	15.0233	69.7
Dim. 4	1.8781	13.4151	83.1
Dim. 5	0.8194	5.8530	89.0
Dim. 6	0.3935	2.8108	91.8
Dim. 7	0.3695	2.6391	94.4
Dim. 8	0.2913	2.0808	96.5
Dim. 9	0.2302	1.6444	98.1
Dim. 10	0.1551	1.1080	99.2
Dim. 11	0.0732	0.5232	99.8
Dim. 12	0.0224	0.1600	99.9
Dim. 13	0.0106	0.0758	100.0
Dim. 14	2.36e-32	1.68e-31	100.0