

Avaliação comparativa de desempenho de protótipos de composteiras com diferentes geometrias

JULIANA GLICERIO DAZZI
INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - IFES

FERNANDO SERVARE DADALTO

JACQUELINE ROGÉRIA BRINGHENTI
INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO - IFES

POLIANA DARÉ ZAMPIROLI PIRES

ADRIANA MÁRCIA NICOLAU KORRES

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE DESEMPENHO DE PROTÓTIPOS DE COMPOSTEIRAS COM DIFERENTES GEOMETRIAS

1. Introdução

A gestão de resíduos sólidos nos centros urbanos tornou-se preocupação em diversos países devido ao rápido crescimento da população e altos custos associados ao seu gerenciamento (NIGUSSIE et al., 2016).

Neste contexto têm-se os resíduos orgânicos, que por suas características e interfaces com o ambiente e saúde, além dos aspectos sociais, culturais e econômicos, demandam atenção especial dos gestores responsáveis, especialmente em países em desenvolvimento. A interdependência do meio ambiente, saúde e saneamento reforça a necessidade de integração entre os diversos meios em prol da melhoria da qualidade de vida da população e preservação do meio (MONTEIRO et al., 2001).

O relatório internacional lançado no ano de 2016 pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUMA), o *Global Waste Management Outlook* estimou que em todo mundo são produzidas 2 bilhões de toneladas de resíduos e que quase 50% destes não são destinados de maneira adequada (PNUMA, 2016). No Brasil mais de 50% dos resíduos gerados em domicílios são orgânicos (IPEA, 2012).

Em nosso país, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei 12.305/10, destaca a importância reaproveitamento deste grupo de resíduos. Dentre as formas, encontra-se a compostagem (BRASIL, 2010).

A técnica de compostagem está inserida no contexto de cidades inteligente (*smart cities*), surgido na década de 1990, que é um dispositivo estratégico para o planejamento e gestão inteligentes de cidades. Nele, as cidades são sistemas interagindo entre si e utilizando os recursos e serviços oferecidos de maneira mais racional e sustentável, melhorando a qualidade de vida e reduzindo os impactos sobre o meio (LEMOS, 2013).

Dentro do cenário de sustentabilidade atual, a compostagem é uma técnica simples a ser considerada na gestão de resíduos sólidos das cidades, sendo considerada como uma adequada ferramenta de educação ambiental. Destaca-se ainda como fator positivo a produção de composto orgânico condicionador de solos rico em nutrientes que são assimiláveis pelas plantas. Se utilizada em maior escala para adubação, contribui para a redução do consumo de fertilizantes químicos. Também contribui na valorização e conscientização da geração de resíduos (SILVA et al., 2013).

Devido aos baixos riscos ambientais, a compostagem é adequada também para o tratamento de pequenos volumes de resíduos orgânicos. Também é uma ação preventiva na redução da geração e valorização de resíduos domésticos. Além disso, em termos de uso de energia e recursos hídricos, a confecção de uma composteira caseira e o seu monitoramento requerem poucos recursos, sendo acessível a diversos tipos de usuários (GUIDONI et al., 2018).

Apesar de ser considerada uma técnica simples, a compostagem demanda dedicação e conhecimentos sobre o processo, para a efetiva satisfação do usuário e continuidade do seu uso, bem como o seu sucesso. Além disso, o conhecimento dos fatores que contribuem e influenciam na compostagem, bem como a maior disseminação da prática e melhoria nos equipamentos buscando a melhoria da usabilidade contribuem positivamente para a técnica. (SILVA et al., 2013).

A compostagem em pequena escala é realizada geralmente em centros urbanos e no próprio local de geração dos resíduos (OLIVEIRA et al., 2017).

Existem diversos tipos de composteiras no mercado, desde as automatizadas e de maior custo às manuais, com ou sem o uso de minhocas ou algum acelerador de compostagem.

Acredita-se que o custo, simplicidade operacional, o tamanho compatível e a estética, incluindo a sua geometria, são fatores determinantes na seleção de um equipamento para compostagem (JAYAPRAKASH et al., 2018).

2. Problema de pesquisa e objetivo

Apesar de a compostagem ser um processo natural de decomposição dos resíduos orgânicos e ser considerada de fácil realização, o usuário precisa estar motivado para a realização da prática em seu cotidiano e o equipamento utilizado para a compostagem deve ser de fácil uso e amigável ao usuário, bem como apresentar as melhores características ao processo.

Desta maneira, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar protótipos de composteiras com diferentes geometrias quanto ao desempenho, com a finalidade de observar possíveis diferenças entre as geometrias utilizadas, a fim de potencializar o uso da compostagem descentralizada em ambientes domiciliares e institucionais.

3. Fundamentação teórica

3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) contém instrumentos importantes para enfrentar os principais problemas ambientais, sociais e econômicos do manejo inadequado de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A lei apresenta estratégias de prevenção e redução da geração de resíduos, com propostas de hábitos de consumo sustentável e instrumentos para o aumento da reciclagem e reutilização. Também indica a destinação adequada dos rejeitos, visando à gestão integrada (BRASIL, 2010).

Institui a responsabilidade compartilhada dos grandes geradores, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, cidadãos e serviços de limpeza urbana na logística reversa (BRASIL, 2010).

Propõe o gerenciamento integrado de resíduos sólidos, o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil na gestão, melhorando a qualidade de vida da população e garantindo a proteção do meio ambiente, considerando questões econômicas, ambientais e sociais (BRASIL, 2010).

No artigo 6º do capítulo 2 da PNRS, a compostagem ganha destaque por meio do reaproveitamento de resíduos, no inciso 14º, "incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos". O mesmo é destacado no capítulo 4, inciso 8.

Como destaques da PNRS, tem-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, desde sua produção até a disposição final adequada (capítulo 2, incisos 12 e 13) e o incentivo ao reaproveitamento máximo dos resíduos (reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético) (capítulo 2, inciso 4, onde a compostagem é destacada como forma de destinação final ambientalmente adequada). Além disso, a implantação de sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos é destacada no artigo 36, inciso 5º (BRASIL, 2010).

3.2 Compostagem

A compostagem é um processo biológico de decomposição aeróbia controlada, por meio da ação de microrganismos, resultando na estabilização da matéria orgânica (COTTA et al., 2015). Os microrganismos utilizam a matéria orgânica como fonte de energia e nutrientes, promovendo a mineralização e humificação dos resíduos (SILVA et al., 2013).

O termo composto orgânico pode ser aplicado ao produto compostado, estabilizado e higienizado, benéfico à produção vegetal e ao solo (GUIDONI et al., 2013).

O composto resultante possui inúmeros benefícios: melhora o crescimento de vegetais, exerce biocontrole em diferentes fitopatógenos e altera positivamente a estrutura dos solos, melhorando a retenção de água, a estruturação das partículas e a aeração (ONWOSI et al., 2017).

Para que o processo de compostagem ocorra com eficiência, determinados tipos de resíduos são inadequados para uso na composteira. Dentre eles, frutas cítricas, fezes de cães e gatos, laticínios, carnes, derivados de trigo, a maioria dos tipos de papel, serragem tratada e gorduras. Já dentre os resíduos adequados ao processo, destacam-se restos de talos e cascas de verduras, vegetais e frutas, resíduos de poda, serragem, folhas secas e esterco (ONWOSI, 2017).

3.3. Fatores que influenciam no processo de compostagem

São diversos os fatores que influenciam no processo, na qualidade do composto e no tempo necessário à estabilização. A qualidade e a duração também dependerão dos tipos de resíduos e suas quantidades (DA SILVA, 2007). Dentre eles, os principais são pH, temperatura, aeração, microrganismos, relação C/N, condutividade elétrica, tamanho das partículas e umidade, com destaque à relação C/N.

O principal parâmetro da compostagem que merece destaque é a relação C/N. Os microrganismos necessitam de macro e micro nutrientes para suas atividades metabólicas. Dentre os nutrientes utilizados, C e N são de extrema importância. O C é fonte de energia e unidade estrutural básica das moléculas orgânicas, promovendo o crescimento microbiano. Já o N é essencial na síntese de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas. O valor inicial ideal é por volta de 30:1 (BATISTA; BATISTA, 2007).

Quando presente em condições aeróbias, parte do C é liberada na forma de CO₂ e o restante é utilizado com o N durante o processo de crescimento microbiano. A liberação deste gás é mais intensa na fase termofílica (BATISTA; BATISTA, 2007).

No decorrer do processo, o consumo de C pelos microrganismos é aproximadamente 15 a 30 vezes maior do que o de N (KIEHL, 2004). Tem o valor inicial de por volta de 30:1, decaindo ao longo do tempo, podendo finalizar entre 10:1 a 15:1 (KUMAR et al., 2009).

3.4 Qualidade final do composto

A Instrução Normativa (IN) do Ministério da Agricultura DAS/MAPA 25/2009 apresenta normas e especificações para o uso de fertilizantes orgânicos. Dentre os diversos tipos de fertilizantes, ela aponta os fertilizantes orgânicos compostos de lixo (obtidos pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos) e os vermicompostos (produto resultante da digestão, pelas minhocas, da matéria orgânica proveniente de esterco, restos vegetais e outros resíduos orgânicos), oriundos dos processos de compostagem (BRASIL, 2009).

De acordo com a IN, o composto resultante do processo de compostagem é classificado como classe C (“fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de

matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura”) (BRASIL, 2009).

Essa IN retrata especificações e características que os compostos devem ter para que se garanta o seu uso seguro.

3.5 Compostagem em pequena escala

Os reatores em pequena escala na compostagem tratam quantidades reduzidas de resíduos e geralmente são utilizados em ambientes domésticos, institucionais ou com limitação de espaço (OLIVEIRA et al., 2017).

As composteiras em pequena escala possuem baixos riscos ambientais e são adequadas para o tratamento de pequenos volumes de resíduos orgânicos. Também auxiliam como ação preventiva na redução da geração e valorização de resíduos domésticos. Além disso, em termos de uso de energia e recursos hídricos, a fabricação de uma composteira caseira requer poucos recursos, sendo acessível a diversos tipos de usuários (GUIDONI et al., 2018).

A compostagem em pequena escala é uma opção a ser considerada na gestão de RSU. Além de reduzir os volumes dispostos pela limpeza urbana, é considerada de baixo custo, sem necessidade de transporte ou grande demanda de espaço (OLIVEIRA et al., 2017). Podem promover a redução de emissão de metano e óxidos nitrosos, além da amônia, dependendo do modelo adotado (GUIDONI, 2018). Considerada uma ferramenta de educação ambiental, fortalece a consciência ambiental e responsabilidade social da população em relação aos resíduos (VICH, et al., 2017).

3.6. Aspectos de composteiras em pequena escala

A compostagem pode ser realizada em larga escala ou em pequena escala, em ambientes domésticos, educacionais e institucionais. Quando realizada em pequena escala, os fatores que influenciam na geometria, tamanho e facilidade de uso das composteiras são variados. Jayaprakash et al. (2018) destacou alguns em sua pesquisa:

- a) Frequência de uso do equipamento: varia de acordo com usuário, podendo ser diária, semanal, etc.
- b) Manipulação de resíduos: a composteira deve ser de formato a evitar qualquer inconveniência em sua manipulação, facilitando a entrada de resíduos e a saída do composto.
- c) Facilidade em abrigar: a composteira pode ser colocada em quaisquer tipos de locais, sem incomodar os usuários.
- d) Tamanho: o modelo deve proporcionar ergonomia e adequabilidade aos espaços.
- e) Visual: deve ser esteticamente agradável.
- f) Fácil processo: o modelo deve ser de fácil uso a qualquer tipo de usuário.
- g) Odor livre: geometria que diminua a passagem de odores.
- h) Baixo ruído: caso do tipo eletrônico, emitir o mínimo possível de ruídos.
- i) Portátil: ter mobilidade e facilidade de transporte.
- j) Custo: ser compatível com o tamanho, materiais e tecnologia utilizada.

4 Metodologia

O embasamento teórico necessário foi realizado por meio do portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (Capes). Os descritores utilizados foram escolhidos com base em artigos da área de interesse, dentre eles, *composting waste* (resíduos de compostagem), *composting waste bins* (recipientes para compostagem), *composter* (composteira), *domestic composting* (compostagem doméstica), *food waste* (resíduos de

alimentos), *household composting* (compostagem doméstica), *solid waste* (resíduos sólidos) e *small-scale composting* (compostagem em pequena escala), a nível nacional e internacional. Foram realizadas buscas de dissertações e teses nos bancos de dados online das principais instituições de ensino superior e na Biblioteca Digital Brasileira de Dissertações e Teses (BDTD). Complementando os meios de buscas online, livros também foram consultados.

Os experimentos e análises foram realizados no Ifes Campus Vitória, Jucutuquara, Vitória – ES. Os experimentos foram abrigados no laboratório de Biotecnologia e Sustentabilidade (Labiotecs) e as análises do composto foram nos laboratórios de Química Aplicada e Monitoramento Ambiental e em laboratório externo.

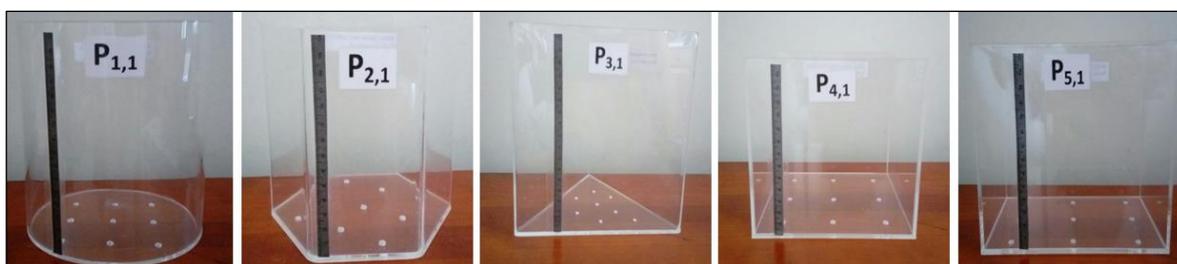
Os protótipos de composteiras foram projetados com capacidade para 3 L, desenhados no *software SolidWorks 2016* versão 9000 (SOLID WORKS, 2016) e encomendado em uma loja de acrílicos, localizada em Vitória-ES. O material escolhido para confecção foi o acrílico transparente de 3 mm. Os protótipos foram furados no fundo, a fim de facilitar a percolação de líquidos e aeração. Foram escolhidas 5 geometrias com 4 repetições, totalizando 20 protótipos, que também foram graduados, a fim de se observar a redução de volume dos resíduos durante o processo. As dimensões dos protótipos se encontram na Tabela 1 e os modelos na Figura 1.

Tabela 1 - Dimensões dos protótipos de composteiras utilizados na pesquisa

Geometria	Dimensões (m)
Cilindro (P ₁)	Raio = 0,075 Altura = 0,17
Prisma de base hexagonal (P ₂)	Aresta da base = 0,08 Altura = 0,15
Prisma de base triangular (P ₃)	Aresta da base = 0,18 Altura = 0,18
Cubo (P ₄)	Aresta = 0,14 Largura = 0,15
Paralelepípedo (P ₅)	Profundidade = 0,12 Altura = 0,17

Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 1 - Protótipos de composteiras em pequena escala utilizados na pesquisa



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

As composteiras foram preenchidas com as mesmas proporções de resíduos em batelada, já que os modelos são em escala de bancada e possuem capacidades reduzidas. As quantidades de resíduos foram calculadas obedecendo a capacidade máxima de cada modelo e seguiram a proporção utilizada por Arrigoni et al. (2018). Foram utilizados restos de cozinha (cascas de frutas, legumes e vegetais), serragem de Pinus e restos de podas. Os resíduos de restos de cozinha foram coletados na cantina do Ifes (50%) e num restaurante com

características semelhantes (50%), próximo à instituição. Os restos de podas (grama e folhas secas) foram coletados no campus, e foram dispostos para secagem durante uma semana. Os resíduos de cozinha foram coletados entre os dias 10/10/2018 e 15/10/2018 e os de poda no dia 10/10/2018. A serragem de Pinus foi adquirida numa loja de jardinagem. As quantidades utilizadas estão descritas na Tabela 3.

Tabela 2 - Proporções e quantidades de resíduos utilizados

Tipo de resíduo	Massa (kg)	Massa em cada protótipo (kg)	Porcentagem (%)
Resíduos de cozinha	8,2	0,41	72
Serragem	2,5	0,125	23
Restos de podas	0,48	0,0024	4
Total	11,18	0,559	100

Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Todos os resíduos foram cortados, a fim de facilitar o processo de compostagem e homogeneizados e em todos os protótipos foi fixada tela para proteção contra vetores. Também foram colocados em pratos descartáveis na parte inferior de cada protótipo, para captação de lixiviado. O experimento ocorreu entre os dias 17/10/2018 e 17/10/2018, totalizando 60 dias, como proposto por Ardensen et al. (2011). A Figura 2 ilustra a preparação do composto.

Figura 2 - Preparação do composto



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

O experimento foi monitorado 3 vezes por semana, como proposto por Arrigoni et al. (2018). O monitoramento in loco inclui umidade e temperatura internas e externas, utilizando um termo higrômetro, além de aspectos sanitários, como a verificação da presença de vetores, odor e mofo. O chorume foi mensurado quando possível com auxílio de proveta. A Figura 3 mostra como os protótipos ficaram após serem preenchidos.

Figura 3 - Experimento montado



Fonte: Arquivo Pessoal (2018).

Ao final dos 60 dias, o composto resultante foi analisado, de acordo com a literatura e parâmetros agronômicos importantes, como é demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros analisados durante o experimento

Período	Parâmetro	Método de análise
Montagem do experimento	Temperatura ambiente e das composteiras	Termo higrômetro
	Umidade ambiente e das composteiras	Termo higrômetro
	Aspectos sanitários	Observação
	Nível de resíduos na composteira (volume)	Observação
3 vezes por semana	Temperatura ambiente e das composteiras	Termo higrômetro
	Umidade ambiente e das composteiras	Termo higrômetro
	Aspectos sanitários	Observação
Após 60 dias	Nível de resíduos na composteira	Observação
	Massa	Balança
	Nível de resíduos na composteira (volume)	Observação
	Umidade	Termo higrômetro
	pH	pHmetro
	Condutividade	Condutímetro
	Relação C/N	Standard Methods
	Nitrogênio total	Standard Methods
	Carbono orgânico	Standard Methods

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Os resultados das variáveis do monitoramento e das análises do composto orgânico final foram analisados por meio de testes estatísticos, através do *software Statistical Data Analysis SPSS* versão 20 (IBM, 2016).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 4 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

5 Resultados e discussão

Durante o monitoramento in loco das composteiras, observou-se a presença de pequenas moscas de frutas e ovos de mosca. Após 45 dias, verificou-se a presença de moscas de porte maior. Como todos os modelos foram devidamente telados, provavelmente os ovos já estavam presentes nos resíduos antes do início dos experimentos.

Observou-se também a presença de mofo entre os dias 19/11/2018 e 23/11/2018. Tal ocorrência não aconteceu em grandes quantidades, mas ocorreu em todas as geometrias e repetições. A presença de mofo é comum na compostagem, indicando a atividade dos grupos de fungo no processo de degradação.

No decorrer dos 60 dias de monitoramento, nos dias em que estava chovendo no momento da coleta de dados, foi impossibilitada as medições de umidade interna, pois a umidade externa interferia diretamente nos valores, tornando-os superiores a 80%. Em contrapartida, nas medições em que os valores se encontravam abaixo de 40%, regou-se o composto com spray de jardinagem, uma vez que valores muito baixos de umidade proporcionam lentidão ao processo de degradação, como indicado na literatura.

Além disso, constatou-se também durante o revolvimento do composto nos dias de monitoramento, em que nos modelos P₂ (prisma de base hexagonal) e P₃ (prisma de base triangular) se mostraram mais difíceis de realizar essa operação, dificultando o processo de revolvimento.

Durante o monitoramento, constatou-se que as quantidades de chorume produzidas variaram de acordo com as geometrias. Foi possível verificar que o modelo com maior produção de chorume foi o P₃ (prisma de base triangular). Os demais produziram quantidades similares. Os valores produzidos por cada geometria encontram-se na Tabela 4.

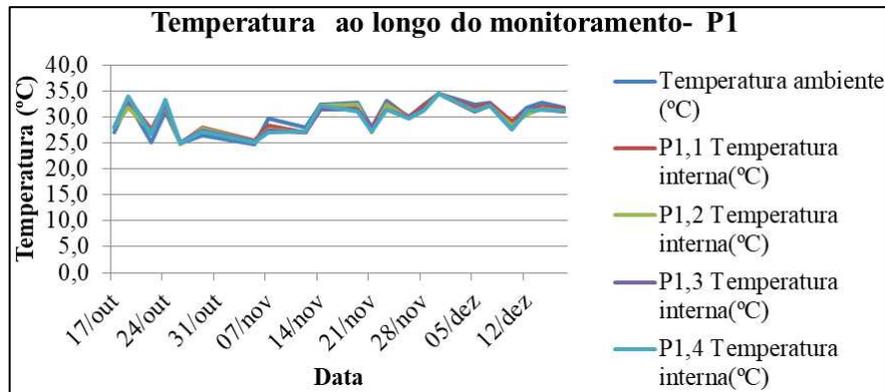
Tabela 4 - Quantidade chorume produzida por geometria de protótipo utilizada no experimento

Protótipo	Total chorume por geometria (ml)
P ₁ (cilindro)	37
P ₂ (prisma de base hexagonal)	32
P ₃ (prisma de base triangular)	127
P ₄ (cubo)	39
P ₅ (paralelepípedo)	34

Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

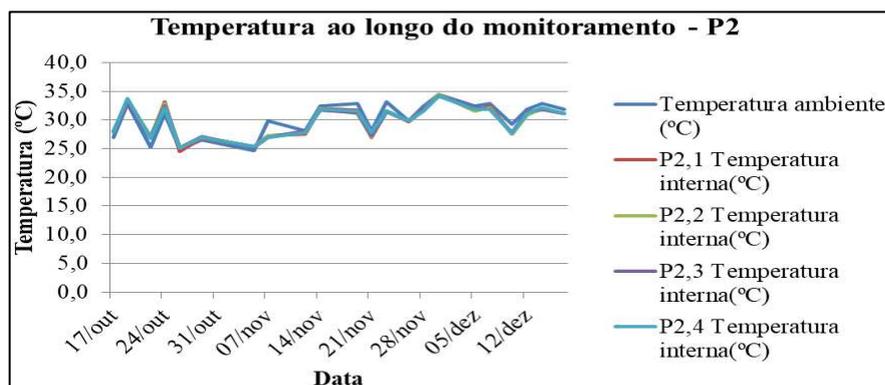
Em relação ao comportamento da temperatura no decorrer dos dias de monitoramento, os valores internos se mostraram próximos aos externos e similares em todas as geometrias, conforme apresentados nas Figura 4, Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8.

Figura 4 - Comportamento da temperatura em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₁



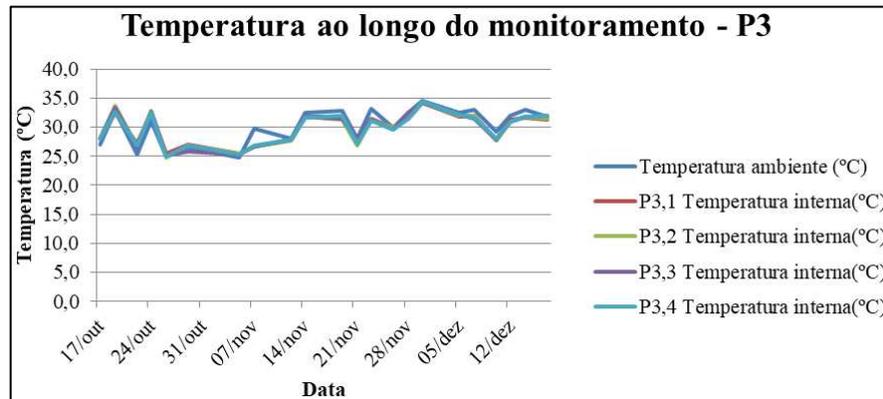
Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 5 - Comportamento da temperatura em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₂



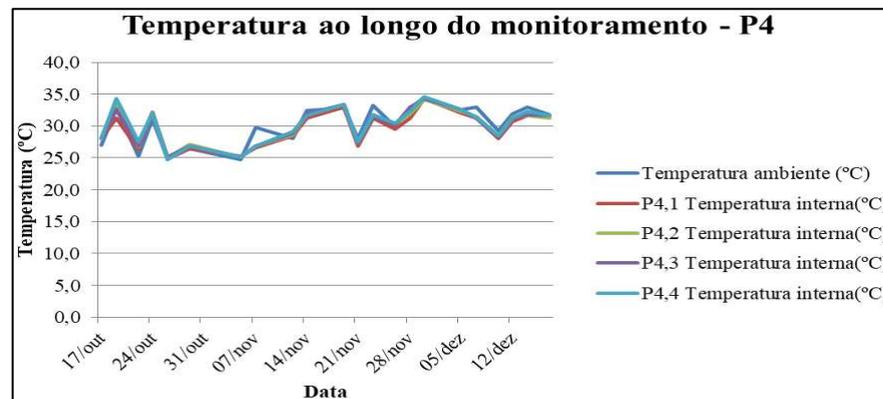
Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 6 - Comportamento da temperatura em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₃



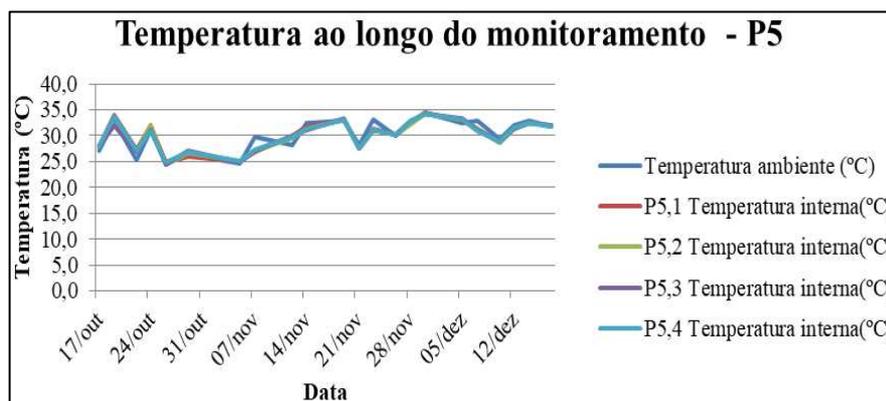
Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 7 - Comportamento da temperatura em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₄



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

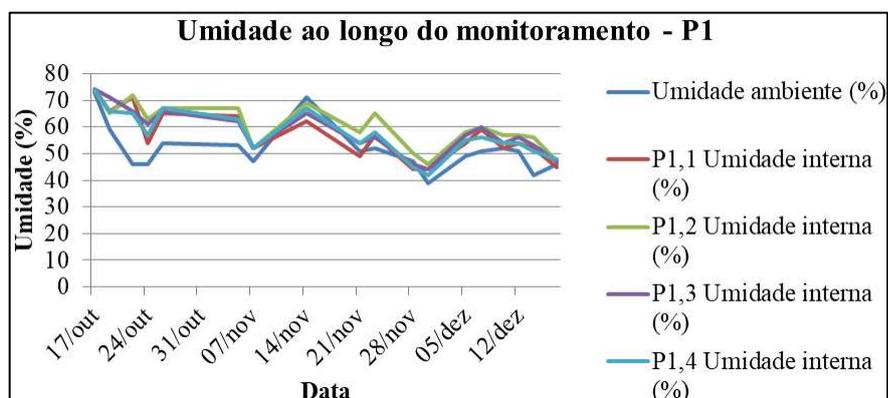
Figura 8 - Comportamento da temperatura em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₅



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

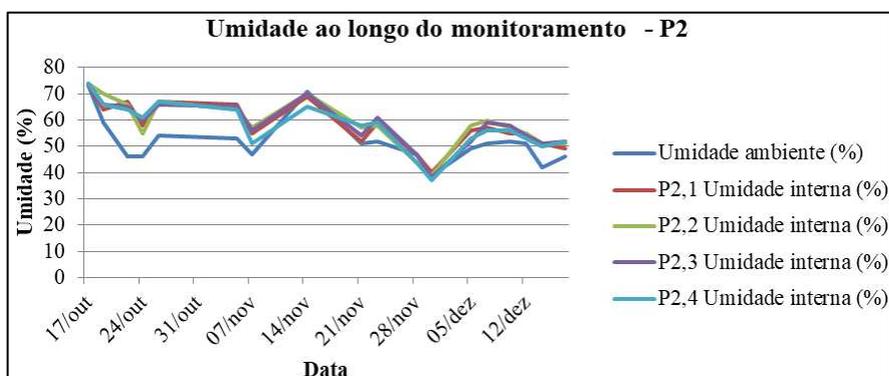
Já em relação ao comportamento da umidade, os modelos apresentaram condutas semelhantes entre si, porém mostraram-se diferentes em comparação ao meio externo, sendo mais úmidos. Entre as geometrias, a que apresentou valores superiores de umidade foi P₃ (prisma de base triangular). Seguem os comportamentos nas Figura 9, Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13.

Figura 9 - Comportamento da umidade em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₁



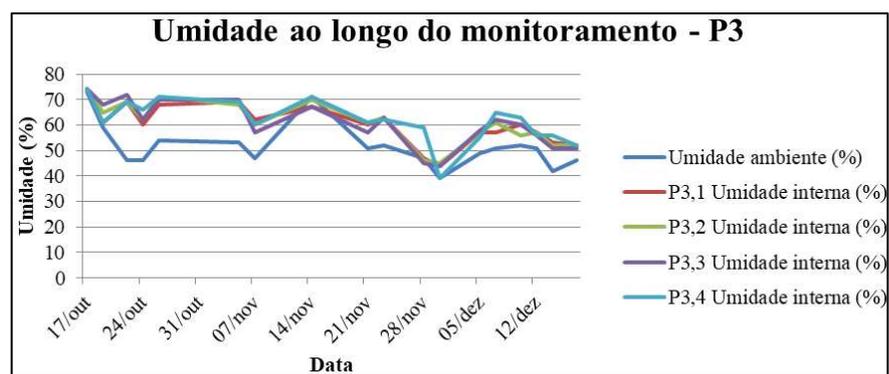
Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 10 - Comportamento da umidade em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₂



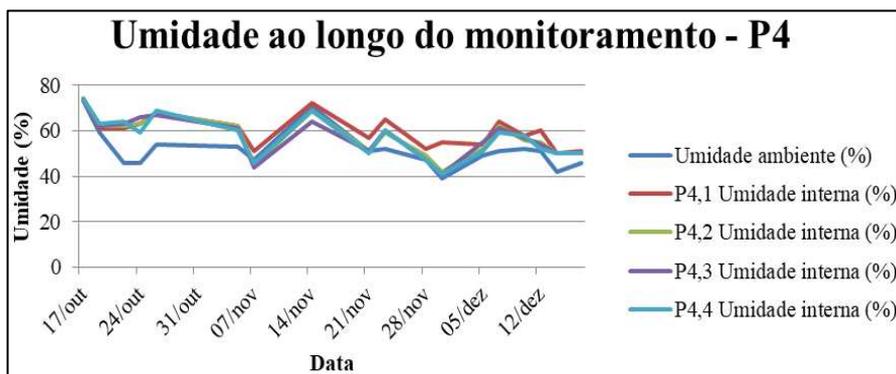
Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 11 - Comportamento da umidade em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₃



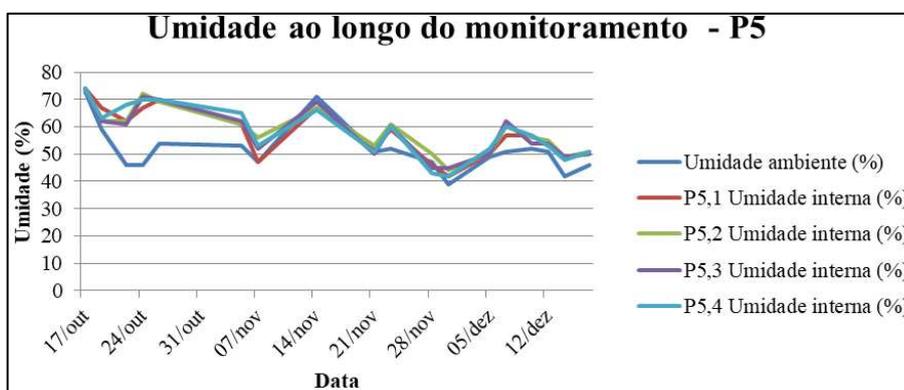
Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 12 - Comportamento da umidade em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₄



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

Figura 13 - Comportamento da umidade em relação ao decorrer dos dias em cada monitoramento para a geometria P₅



Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

A partir dos parâmetros físicos analisados, podem-se verificar os valores de massa média final para cada modelo: 97,25g (P₁, redução de 82,60%), 95g (P₂, redução de 83,01%), 111,50g (P₃, redução de 80,05%), 138g (P₄, redução de 75,31%) e 115,50g (P₅, redução de 79,34%). Vale destacar que todos os modelos receberam uma massa inicial de resíduos de 559 g. Por conseguinte, o modelo que apresentou menor massa e maior redução de massa foi o prisma de base hexagonal (P₂). Em contrapartida, P₅ (paralelepípedo) apresentou maior massa final e menor redução de massa.

Em relação à umidade final, o valor máximo permitido pela IN DAS/MAPA 25/2009 (BRASIL, 2009) é 50%. Percebeu-se que as geometrias P₂ (prisma de base hexagonal), P₃ (prisma de base triangular) e P₅ (paralelepípedo) apresentaram valores superiores à norma (1% e 2% superiores). Porém, de acordo com os registros, choveu no dia anterior, o que pode ter influenciado na medição da umidade pelo termo higrômetro e nos resultados. As geometrias P₁ (cilindro) e P₄ (cubo) tiveram valores em acordo a IN.

Visando identificar a geometria ideal para a compostagem, comparou-se as médias dos parâmetros analisados no composto, pelo teste de Tukey, a 5% de variância. O resultado dessa comparação está apresentado na Tabela 5. Utilizou-se letras para identificar as diferenças estatísticas entre os valores, onde letras iguais demonstram semelhança estatística e letras distintas diferenças estatísticas.

Tabela 5 – Parâmetros químicos do composto final avaliados, segundo a geometria da composteira

Protótipo	pH		Condutividade (mS/cm 25°C)		Carbono orgânico (%)		Relação C/N		Nitrogênio total (%)	
	Por repetição	Por geometria	Por repetição	Por geometria	Por repetição	Por geometria	Por repetição	Por geometria	Por repetição	Por geometria
P _{1,1}	6,39		6,628		27,55		32/1		0,85	
P _{1,2}	6,09	6,56a	8,15	8,17a	27,55	29,08a	29/1	25/1a	0,97	1,25a
P _{1,3}	6,63		8,748		33,67		22/1		1,53	
P _{1,4}	7,11		9,165		27,55		17/1		1,63	
P _{2,1}	6,94		6,909		27,55		18/1		1,53	
P _{2,2}	6,81	6,86a	7,222	7,06a	33,67	28,32a	24/1	19/1a	1,41	1,45a
P _{2,3}	6,76		6,726		21,43		17/1		1,26	
P _{2,4}	6,93		7,363		30,62		19/1		1,59	
P _{3,1}	6,39		6,929		30,61		28/1		1,11	
P _{3,2}	6,61	6,30a	9,14	8,15a	36,73	32,14a	28/1	27/1a	1,3	1,17a
P _{3,3}	6,91		8,431		33,67		25/1		1,33	
P _{3,4}	5,29		8,105		27,55		29/1		0,94	
P _{4,1}	5,83		2,04		30,61		31/1		0,98	
P _{4,2}	7,25	6,71a	7,24	5,96a	36,73	33,94a	23/1	24/1a	1,6	1,47a
P _{4,3}	6,71		7,229		37,8		23/1		1,67	
P _{4,4}	7,05		7,347		30,61		19/1		1,61	
P _{5,1}	6,86		7,358		39,8		28/1		1,44	
P _{5,2}	6,81	6,84a	4,974	6,29a	27,55	34,44a	35/1	30/1a	0,79	1,23a
P _{5,3}	6,68		5,708		39,8		39/1		1,02	
P _{5,4}	7		7,125		30,61		18/1		1,67	
IN										
DAS/MAPA 25/2009 (Classe C)	6,5 (mín.)		-		15 (mín)		20 (máx.)		0,5 (mín.)	

Nota: Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

O valor mínimo de carbono orgânico estabelecido pela IN para o composto final é 15%. Em relação a esse parâmetro, todas as geometrias e protótipos estão de acordo.

No tocante ao nitrogênio total, o valor mínimo estabelecido pela IN para o composto final é 0,5%. Sendo assim, todos os modelos se mostraram em concordância.

Essa IN traz como valor de pH mínimo de 6,5. Com exceção de P_{1,1}, P_{1,2}, P_{3,1} e P_{3,4}, P_{4,1}, os demais apresentaram valores dentro desta faixa. As geometrias P₂ e P₅ tiveram todas as repetições conformidade.

A IN não apresenta valores padrões para condutividade. Porém, como já demonstrado pela literatura, esse parâmetro é de grande importância e influencia nas características dos solos. Por isso, comparou-se os valores encontrados com Arrigoni et al. (2018). Nessa literatura, os valores de condutividade mostraram-se entre 2 a 5 mS/cm. Nos modelos, apenas P_{4,1} e P_{5,2} mostraram-se dentro da faixa proposta pelo autor.

A respeito da relação C/N, a IN propõe para o composto final o valor máximo de 20. Os protótipos P_{1,4}, P_{2,1}, P_{2,3}, P_{2,4}, P_{4,4} e P_{5,4} foram o que obtiveram valores dentro da faixa estabelecida. Vale destacar que a geometria P₃ teve todas as repetições em desacordo.

A partir das análises estatísticas (análise de variância e teste de Tukey) com a compactação dos parâmetros físicos e químicos do composto, pode-se constatar que não houve diferenças significativas entre os protótipos.

6 Conclusão

O reaproveitamento de resíduos é estratégia fundamental para solucionar um dos maiores problemas ambientais da atualidade, a geração de resíduos e a sua correta destinação.

Em nosso país, muitas vezes os resíduos orgânicos são descartados de maneira inadequada, ocasionando impactos em cursos d'água, solos e atmosfera, além da proliferação de vetores e doenças.

A técnica da compostagem em pequena escala, além de contribuir com a destinação e reaproveitamentos adequados dos resíduos orgânicos e redução dos impactos ao meio ambiente nos centros urbanos também pode ser considerada uma fonte de renda e medida de educação ambiental. A produção de composto orgânico através da compostagem pode ser economicamente viável, uma vez que o mesmo pode ser utilizado com condicionador de solos na agricultura e paisagismo.

A compostagem de resíduos orgânicos em centros urbanos mostra-se uma técnica de baixo custo e viável, se devidamente conduzida, podendo permanecer dentro de residências sem gerar distúrbios. Para que se alcance o sucesso, há diversos fatores que influenciam e por isso, é necessária medidas de educação ambiental, para que todos os envolvidos sintam-se confortáveis com a prática e entendam a sua importância para o meio ambiente e gestão dos resíduos orgânicos nas cidades.

Apesar das análises estatísticas não apresentarem diferenças significativas entre as geometrias testadas, o presente trabalho se mostrou viável, uma vez que foi possível observar diferenças entre a produção de chorume dentre as geometrias, a dificuldade ou facilidade de monitoramento de cada uma, bem como a evolução dos processos de decomposição entre os modelos e a formação do composto final. Desta maneira, seria possível elaborar um modelo de composteira, levando em consideração a geometria mais amigável ao usuário, facilitando o processo e reduzindo os impactos da compostagem no cotidiano dos usuários, contribuindo assim com a educação ambiental e a valorização dos resíduos orgânicos.

7 Referências bibliográficas

ANDERSEN, J.K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T.H.; SCHEUTZ, C. Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. *Waste Management*, v.31, p.1934-1942, 2011.

ARRIGONI, J.P.; PALADINO, G.; GARIBALDI, L.A.; LAOS, F. Inside the small-scale composting of kitchen and garden wastes: Thermal performance and stratification effect in vertical compost bins. *Waste Management*, v.76, p.284-293, 2018.

BATISTA, J.G.F.; BATISTA, E.R.B. **Compostagem: Utilização de compostos em horticultura**. Universidade dos Açores, Centro de Investigação e Tecnologias Agrárias dos Açores, 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2010.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa DAS/MAPA 25/2009**. Brasília, DF, 2009.

COTTA, J.A.O. et al. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas usando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.20, n.1, p.65-78, jan./mar.2015.

DA SILVA, L.N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná.

GUIDONI, L.L.C. et al. Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo. *Tecnológica*, Santa Cruz do Sul, v.17, n.1, p.44-51, jan./jun.2013.

GUIDONI, L.L.C.; MARQUES, R.V.; MONKS, R.B.; BOTELHO, F.T.; DA PAZ, M.F.; CORRÊA, L.B.; CORRÊA, E.K. Home composting using different ratios of bulking agent to food waste. **Journal of Environmental Management**, v.207, p. 141-150, 2018.

IBM. **SPSS Statistics 20**. Software de análises estatísticas. Versão 20. Dassault Systemes, 2016.

IPEA. Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos. 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em 04 ago. 2018.

JAYAPRAKASH, S.; LOHIT, H.S.; ABHILASH, B.S. Design and Development of Compost Bin for Indian Kitchen. *International Journal of Waste Resources*, v.8, n.1, 2018.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4 ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004.

KUMAR, S. et al. Fuzzy filtering for robust bioconcentration factor modeling. **Environmental Modelling & Software**, n.24, p.44-53, 2009.

LEMOS, A. Cidades inteligentes. *Executivo*, São Paulo, v.12, n.2, 2013.

MONTEIRO, J.R.P. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NIGUSSIE, A. et al. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*, Tennessee, v.139, p.429-439, 2016.

OLIVEIRA, L.S.B.L.; OLIVEIRA, D.S.B.L.; BEZERRA, B.S.; PEREIRA, B.S.; BATISTELLE, R.A.G. Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios. *Journal of Cleaner Production*, v.155, p.229-237, 2017.

ONWOSI, C.O. et al. Composting technology in waste stabilization: On the methods challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, Espanha, v.190, p.140-157, 2017.

PNUMA. Global waste management outlook. 2015. Disponível em: <<http://web.unep.org/ourplanet/september-2015/unep-publications/global-waste-management-outlook>>. Acesso em 04 ago. 2018.

SILVA, P.R.D. et al. Processo de estabilização de resíduos orgânicos. Vermicompostagem versus compostagem. Química Nova, São Paulo, v.36, n.5, p.640-645, 2013.

SOLID WORKS 2016. **Software de projeto CAD 3D**. 2016. Versão 9000. Dassault Systemes, 2016.

VICH, D.V. et al. **Household food-waste composting using a small-scale composter**. Ambiente & Água, Taubaté, v.12, n.5, set./out.2017.