

Influência do uso de inóculo aclimatado em processo de compostagem

Influence of the use of acclimatized inoculum in the composting process

Carlos Alberto Silvestre Morais^{1*} , Fabiana Alves Fiore¹ , Elisa Esposito² 

RESUMO

A compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é um dos tratamentos entendidos como adequado no Brasil, mas cuja adoção é insignificante. A busca por soluções que viabilizem o uso do processo como agente de reintegração da matéria orgânica no ciclo produtivo é o norteador deste trabalho, que teve como objetivo realizar uma avaliação exploratória das consequências, para o processo de compostagem e seus produtos, da adição de inoculante com microrganismos aclimatados. O experimento foi realizado com o uso de resíduos orgânicos e folhas que foram compostados em dois reatores com aeração ativa, sem revolvimento e um deles recebeu o acréscimo de inoculante aclimatado na região do estudo. Foram avaliadas as características físico-químicas e microbianas dos resíduos, monitorados os parâmetros pH e temperatura durante a compostagem e avaliada a qualidade dos materiais resultantes. Os resultados evidenciaram que o uso de inoculante aclimatado garantiu maior eficiência na transformação química do material orgânico, favoreceu a germinação e o crescimento de sementes com o uso de chorume diluído e produziu composto com maiores aptidões para o condicionamento de solos. A partir do monitoramento em tempo real da temperatura, também foi possível constatar que a aeração em batelada pode exercer influência negativa sobre a comunidade microbiana durante o processo de compostagem. A continuidade dos estudos de compostagem com o uso de inoculantes aclimatados é recomendada, uma vez que pode contribuir positivamente para a agregação de macronutriente e comunidade microbiana nas áreas de aplicação do composto e do chorume.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos; resíduos orgânicos; microrganismos eficientes; inoculantes.

ABSTRACT

The composting of the organic fraction of urban solid waste is one of the treatments considered as adequate in Brazil, but whose adoption is insignificant. The search for solutions that enable the use of the process as an agent for the reintegration of organic matter in the production cycle is the guiding principle of this work, which aimed to perform an exploratory assessment of the consequences, for the composting process and products, of the addition of inoculants with acclimatized microorganisms. The experiment was carried out with the use of organic residues and leaves that were composted in two reactors with active aeration, without mixture, and one of them received the addition of acclimatized inoculant in the region of the study. The physical-chemical and microbial characteristics of the residues were evaluated, the pH and temperature parameters were monitored during composting and the quality of the resulting materials was evaluated. The results showed that the use of acclimatized inoculants ensured greater efficiency in the chemical transformation of organic material, favored the germination and growth of seeds by diluted leachate, and produced compost with greater aptitudes for soil conditioning. From the real-time monitoring of the temperature, it was also possible to verify that the batch aeration can have a negative influence on the microbial community during the composting process. The continuity of composting studies with the use of acclimated inoculants is recommended, since it can positively contribute to the aggregation of macronutrients and microbial communities in the areas of application of the compound and leachate.

Keywords: urban solid waste; organic waste; efficient microorganisms; inoculants.

INTRODUÇÃO

Mundialmente, o percentual de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos (RSU) é de 46%, e considerando o crescimento da taxa de geração de RSU, até o ano de 2025 as cidades irão gerar, anualmente, cerca de 1 bilhão de toneladas de resíduos orgânicos (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012).

Os impactos associados à disposição de resíduos orgânicos no solo superam a geração de chorume e de gases de efeito estufa — capazes de serem mitigados tecnologicamente, também estabelecem efeitos sociais negativos decorrentes dos elevados custos de destinação e da perda dos nutrientes e da energia neles contidos (BITTMAN *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2019). Nesse cenário,

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - São José dos Campos (SP), Brasil.

²Universidade Federal de São Paulo - São José dos Campos (SP), Brasil.

*Autor correspondente: calsirais@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: Resix Invet.

Recebido: 19/01/2021 - Aceito: 20/08/2021 - Reg. ABES: 20210015

estudos relacionados à digestão anaeróbia, à compostagem e à incineração são realizados como forma de tratamento desses materiais de modo a desviá-los do aterramento (MORERO; VICENTIN; CAMPANELLA, 2017; ORNELAS-FERREIRA *et al.*, 2020).

No Brasil, estima-se que cerca de 100 mil toneladas de matéria orgânica são descartadas diariamente como RSU, das quais 98% são dispostas no solo, em aterros e lixões, e apenas 2% são tratadas (BRASIL, 2011; MMA, 2017; SNIS, 2017). No país, a compostagem é entendida como uma forma de destinação adequada para os resíduos orgânicos e definida como um processo de decomposição biológica controlada em condições aeróbias e termofílicas.

O processo de compostagem ocorre em função da digestão da matéria orgânica pelos microrganismos, na presença de ar e água. Além de CO₂ e vapor de água, o processo gera húmus contendo substâncias minerais com capacidade para ser aplicado no solo e melhorar suas características de produtividade. O processo convencional é viável em condições de clima temperado e possui duração total de até 120 dias (MMA, 2001; TIQUIA *et al.*, 2002; PEREIRA NETO, 2007; BERNAL *et al.*, 1998; BNDES, 2013).

A compostagem é realizada por uma população diversificada de microrganismos com espécies de bactérias, fungos e actinobactérias que se alternam nas diferentes fases de degradação do material (AWASTHI *et al.*, 2018). As condições do material colocado para decomposição, tais como a relação C:N e o tamanho das partículas, assim como as do processo (aeração, umidade e temperatura), são condicionantes do rendimento da compostagem e constante objeto de estudos, com vistas à melhoria de eficiência (FAN *et al.*, 2018; HUBBE; NAZHAD; SÁNCHEZ, 2010).

Conforme mostrado no Quadro 1, estudos relacionados ao uso de inóculo microbiano estão sendo realizados em todos os continentes e apontam para efeitos positivos de um tipo de inóculo, denominado microrganismos eficientes (EM), na aceleração do processo de compostagem e na melhoria das plantas e solos onde o composto com EM foi aplicado. EM podem ser entendidos como inoculantes microbianos produzidos a partir de microrganismos decompositores presentes na serrapilheira, utilizados, em geral, para estimular o crescimento das plantas e a fertilidade do solo na agricultura (MAYER *et al.*, 2010; SINGH *et al.*, 2011).

Esses estudos também evidenciam que o pH de ativação do inoculante é ácido, menor do que 3,5 (MAYER *et al.*, 2010; OLLE; WILLIAMS, 2013; FAN *et al.*, 2018; RUBIO *et al.*, 2018). Para além dos benefícios já descritos, esses estudos apontam para os seguintes benefícios da incorporação de EM nos processos de compostagem:

Ajuda no controle de pragas e doenças após aplicação do composto no solo (ZIMMERMANN; KAMUKUENJANDJE, 2008; JOSHI *et al.*, 2019);

Melhoria da capacidade fotossintética das culturas com a promoção de adequada germinação de sementes, floração, crescimento e desenvolvimento de frutos, ou seja, reprodução mais bem-sucedida nas plantas (OLLE; WILLIAMS, 2013; MOROCHO; LEIVA-MORA, 2019);

Segurança de raízes em solo salinos, melhorando a absorção de nutrientes (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Zn e Cu) e o ajuste osmótico (TALLAT *et al.*, 2014);

Melhoria nas estruturas física, química e biológica dos solos após aplicação do composto (ZIMMERMANN; KAMUKUENJANDJE, 2008; OLLE; WILLIAMS, 2013; MOROCHO; LEIVA-MORA, 2019);

Enriquecimento da comunidade microbiana e supressão de agentes patogênicos de plantas que causam doenças em diversas culturas (MOROCHO; LEIVA-MORA, 2019; JOSHI *et al.*, 2019);

Redução no tempo de produção de composto (Mayer *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2017; Xie *et al.*, 2017);

Redução de odor (FAN *et al.*, 2018) do processo de compostagem.

O uso do húmus em solos como condicionante agrícola tem gerado efeitos benéficos no crescimento de plantas, na retenção da umidade do solo e no incremento de organismos (ASADU *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2019; PELLEJERO *et al.*, 2017). No entanto, cuidados devem ser tomados com o húmus produzido a partir de resíduos orgânicos oriundos de coleta não seletiva, uma vez que Asensio *et al.* (2018) detectaram concentrações de Cd e Pb acima dos valores de referência no Brasil em compostos produzidos a partir da fração orgânica dos RSU no país.

Estima-se que o estado de São Paulo seja responsável por 10% da geração diária de matéria orgânica proveniente de RSU do Brasil (SÃO PAULO, 2014; SNIS, 2017). Dos 645 municípios pertencentes ao estado, apenas oito possuem usinas de compostagem e 247 aproveitam de formas distintas os resíduos de poda e capina (SÃO PAULO, 2014). Para alterar o cenário vigente, foram definidas metas de redução do percentual de resíduos úmidos dispostos em aterros, com percentuais progressivos, entre 35 e 55%, a serem alcançados entre os anos de 2019 e 2025 (SÃO PAULO, 2014). Isso significa dizer que, até 2019, aproximadamente 7.600 toneladas de matéria orgânica deveriam estar sendo tratadas diariamente.

O município de São José dos Campos, localizado na porção sudeste Paulista e com população de 689 mil habitantes, produz aproximadamente 600 toneladas de RSU, das quais cerca de 50% são de material orgânico (SNIS, 2017; URBAM, 2018). Esses resíduos correspondem à matéria orgânica gerada nos domicílios urbanos, nas atividades de limpeza urbana (podas, capinas e varrição) e àqueles gerados pelas 43 feiras livres, que ocorrem de forma distribuída no território urbano municipal. As feiras produzem principalmente resíduos de caráter orgânico, tais como legumes, frutas, restos de alimentos e verduras (SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, 2015). Considerada a necessidade de tratamento dos resíduos orgânicos e as condições presentes no município de São José dos Campos, em relação a produção e coleta segregada dos resíduos das feiras, este projeto foi conduzido no primeiro semestre de 2019 com o objetivo de avaliar os efeitos do uso de inoculante aclimatado na região do estudo, em processo de compostagem com aeração ativa.

METODOLOGIA

O presente trabalho é uma pesquisa exploratória aplicada (GERHARDT; SILVEIRA, 2009; PIOVESAN; TEMPORINI, 1995), que foi planejada para ocorrer em três etapas: obtenção e preparo do material, controle e monitoramento da compostagem, e análise do composto, conforme ilustra a Figura 1.

Em conformidade com o padrão usualmente empregado pela operadora de limpeza pública do município de São José dos Campos, os resíduos orgânicos gerados em um dia típico de funcionamento de feira livre municipal foram acondicionados, em contêineres de 240 L, até o término do evento. Posteriormente, esses resíduos foram coletados por caminhão compactador, com capacidade de 12 m³, e transportados até o aterro sanitário. Em pátio impermeabilizado, esses resíduos foram caracterizados pela equipe da Urbanizadora Municipal S.A. (URBAM), por meio de amostra de 240 L, coletada após pesagem, homogeneização e quarteamentos consecutivos da massa total. A composição gravimétrica dos resíduos foi determinada a partir

Quadro 1 – Uso de inoculantes em processo de compostagem.

| Local da pesquisa | Efeito benéfico em: (1) planta; (2) solo; e (3) compostagem | | | Referência | Produção (característica do EM ou inoculante) Composição microbiana e concentração (EM/mL) |
|-------------------------|---|----|----|-----------------------------------|---|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| Windhoek (Namíbia) | S | S | -- | Zimmermann e Kamukuenjandje, 2008 | Produção local (3 em 1) |
| Paraná (Brasil) | -- | -- | S | Vicentini <i>et al.</i> , 2009 | -- |
| Zurique (Suíça) | I | -- | -- | Mayer <i>et al.</i> , 2010 | Produção local (comercial) 1,3 x 10 ⁷ UFC bactérias de ácido láctico, 3,3 x 10 ⁴ UFC bactérias fotossintéticas e 1,3 x 10 ⁴ leveduras |
| Wuhan (China) | -- | -- | S | Hu e Qi, 2013 | <i>Streptomyces albus</i> , <i>Propionibacterium freudenreichii</i> , <i>Streptococcus lactis</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Mucor hiemalis</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> e <i>Candida utilis</i> , além de um número não especificado de <i>Lactobacillus sp.</i> , <i>Rhodopseudomonas sp.</i> e <i>Streptomyces griseus</i> (> = 10 ⁵ organismos) |
| Tartu (Estônia) | S | S | S | Olle e Williams, 2013 | Bactérias fotossintéticas (e.g., <i>Rhodopseudomonas palustris</i> , <i>Rhodobacter sphaeroides</i>), bactérias do ácido láctico (e.g., <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>L. casei</i> e <i>Streptococcus lactis</i>), leveduras (e.g., <i>Saccharomyces spp.</i>) e actinomicetos (<i>Streptomyces spp.</i>) |
| Roraima (Brasil) | -- | -- | S | Oliveira <i>et al.</i> , 2013 | Produção local Quatro produções distintas da mesma matriz |
| Cairo (Egito) | S | -- | -- | Tallat <i>et al.</i> , 2014 | Produção local (comercial) Bactérias fotossintéticas (<i>Rhodopseudomonas palustris</i> e <i>Rhodobacter sphaeroides</i>), bactérias do ácido láctico (<i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>L. casei</i> e <i>Streptococcus lactis</i>), leveduras (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> e <i>Candida utilis</i>), actinobactéria (<i>Streptomyces albus</i> e <i>S. griseus</i>) e fungos filamentosos (<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Penicillium sp.</i> e <i>Mucor hiemalis</i>) |
| Harbin (China) | -- | -- | S | Xie <i>et al.</i> , 2017 | Microorganismos criófilos 10 ⁸ UFC de microorganismos não especificados |
| Harbin (China) | -- | -- | S | Zhao <i>et al.</i> , 2017 | Inóculo local de compostagem anterior Quatro actinomicetos termofílicos celulósicos (<i>Streptomyces sp.</i> , <i>Streptomyces sp.</i> , <i>Streptomyces sp.</i> e <i>Actinobacteria bacterium</i>) (10 ⁹ UFC) |
| Minas Gerais (Brasil) | -- | -- | S | Ribeiro <i>et al.</i> , 2017 | -- |
| Pequim (China) | -- | -- | I | Liu <i>et al.</i> , 2018 | Produção local Firmicutes, Chloroflexi e Proteobactérias (20.000 U/g de atividade enzimática) |
| Johor (Malásia) | -- | -- | S | Fan <i>et al.</i> , 2018 | Produção local (comercial) 10 ⁸ UFC bactérias ácidas, leveduras, actinomicetos e 10 ⁷ UFC de fungos fermentadores |
| Paraná (Brasil) | -- | -- | N | Rubio <i>et al.</i> , 2018 | Produção local do EM com melão e água sem cloro |
| Riobamba (Equador) | S | S | -- | Morocho e Leiva-Mora, 2019 | Bactérias do ácido láctico, bactérias fotossintéticas, leveduras, actinomicetos e fungos filamentosos com capacidade fermentativa |
| Rio de Janeiro (Brasil) | -- | -- | N | Souza, Carmo e Silva, 2019 | Bactérias produtoras de ácido láctico, leveduras, bactérias fotossintéticas, fungos e actinomicetos |
| Rajasthan (Índia) | S | S | S | Joshi <i>et al.</i> , 2019 | Bactérias fotossintéticas, bactérias do ácido láctico, leveduras, actinomicetos e fungos fermentadores |

EM: microrganismos eficientes; --: casos em que o parâmetro não foi reportado na pesquisa; S: sim; N: não; I: indiferente.

Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

da segregação manual dos componentes em categorias previamente estabelecidas pela equipe deste projeto (Figura 2).

Do volume de resíduos da feira utilizado no experimento de compostagem foram excluídos os restos não alimentares e de carnes, por meio de segregação manual. Além dos resíduos da feira, foram utilizadas folhas secas oriundas de varrição e poda, geradas em quantidades significativas no município que possui elevado percentual de arborização urbana. A preparação prévia do material foi realizada a partir da execução das seguintes atividades:

- Trituração de 300 L de materiais orgânicos, folhas secas e resíduos alimentares da feira em triturador da marca TRAMONTINA, modelo TROP25 2 HP;

- Homogeneização manual do material na proporção 1:2, 3 (resíduos da feira: folhas);
- Inoculação de EM na proporção volumétrica 1:0,02 (resíduos: inóculo aclimatado);
- Introdução do material a ser compostado em reatores de vidro com ocupação de 30% de sua capacidade volumétrica.

O inoculante microbiano, designado a seguir como EM, utilizado no estudo foi adquirido 11 dias antes do início do processo de compostagem e foi cedido por uma instituição situada no município de São José dos Campos, Obra Social

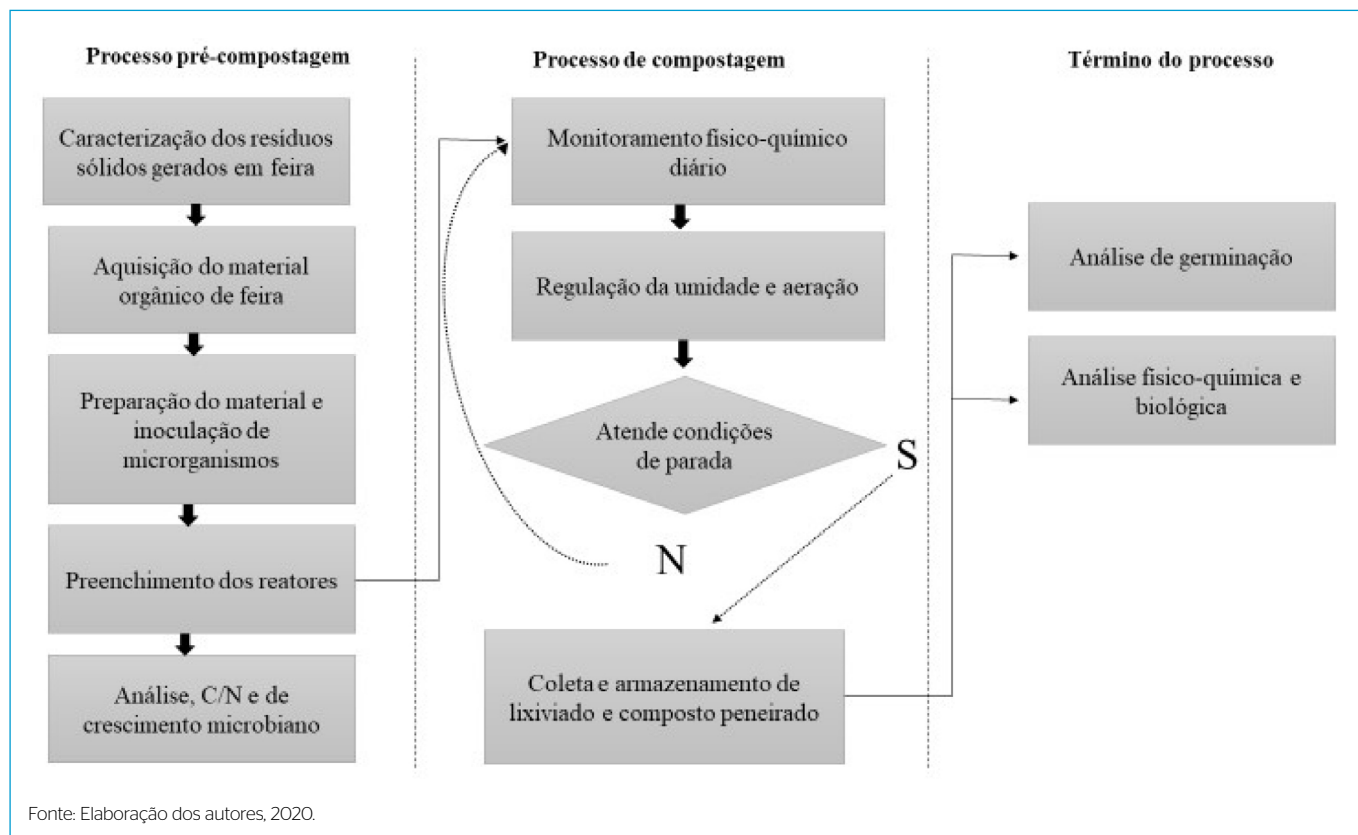


Figura 1 – Síntese das atividades de pesquisa realizadas.

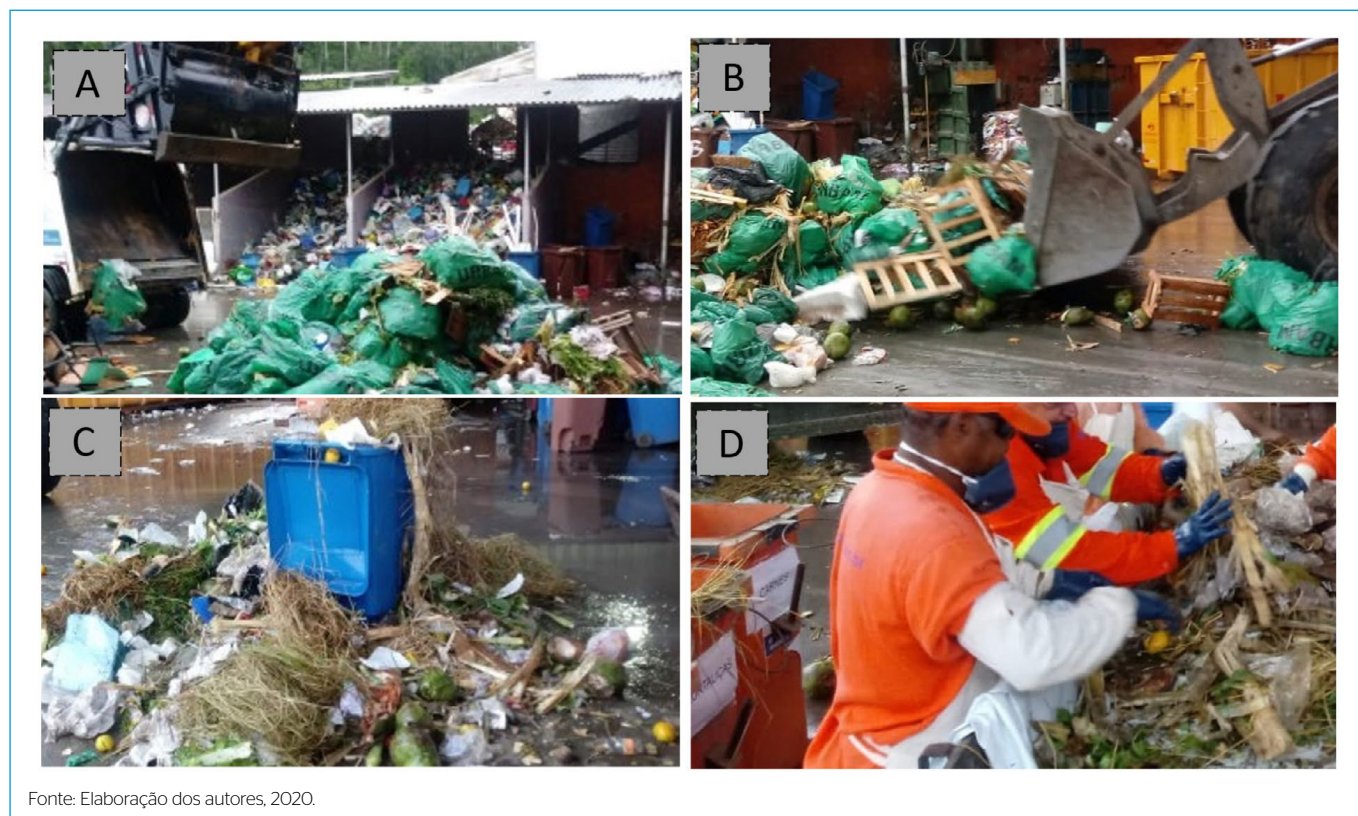


Figura 2 – Caracterização dos resíduos de feira: (A) deposição material; (B) homogeneização dos resíduos; (C) coleta de amostra por despejo em recipiente coletor; e (D) triagem manual do material.

Célio Lemos (OSCL), que o produz e o utiliza em suas dependências. De acordo com informações do fornecedor, o inoculante havia sido produzido há mais de um ano, a partir de consórcio microbiano isolado em armadilha de bambu contendo arroz cozido como meio de cultura, em um núcleo de mata densa em área limítrofe ao território municipal. Sua preparação para uso na pesquisa consistiu em diluir uma parte do líquido bruto em 20 partes de água destilada, conforme especificação do produtor (KYAN, 1999).

Aparato experimental

Os reatores utilizados nesta pesquisa possuíam sistema de aeração forçada com distribuidor em material de PVC acoplados a compressor de ar e solenoide, também associado a temporizador eletrônico programável (Figura 3).

Para garantir a aeração do sistema sugerida por Leitão (2008), foi realizada uma aeração de 115 litros/minuto, com o uso de compressor modelo MAM 7.4/24L, marca Motomil, com 1,5 Hp de potência (Figura 3C). O tempo de aeração entre os dias 0 e 33 foi de 4 horas diárias e, posteriormente, de 1 hora até o fim do processo.

Considerando que na compostagem é possível verificar a transição entre suas fases por meio das condições de pH e temperatura da massa em decomposição, e que sistemas fechados com auxílio eletromecânico são considerados sistemas de compostagem acelerada com produção de composto maturado em aproximadamente 60 dias, optou-se por encerrar o processo de compostagem após 60 dias de experimento, desde que a temperatura e o pH dos sistemas estivessem dentro dos padrões referenciados pela literatura (INÁCIO; MILLER, 2009; PEREIRA NETO, 2007).

Operação e monitoramento do sistema

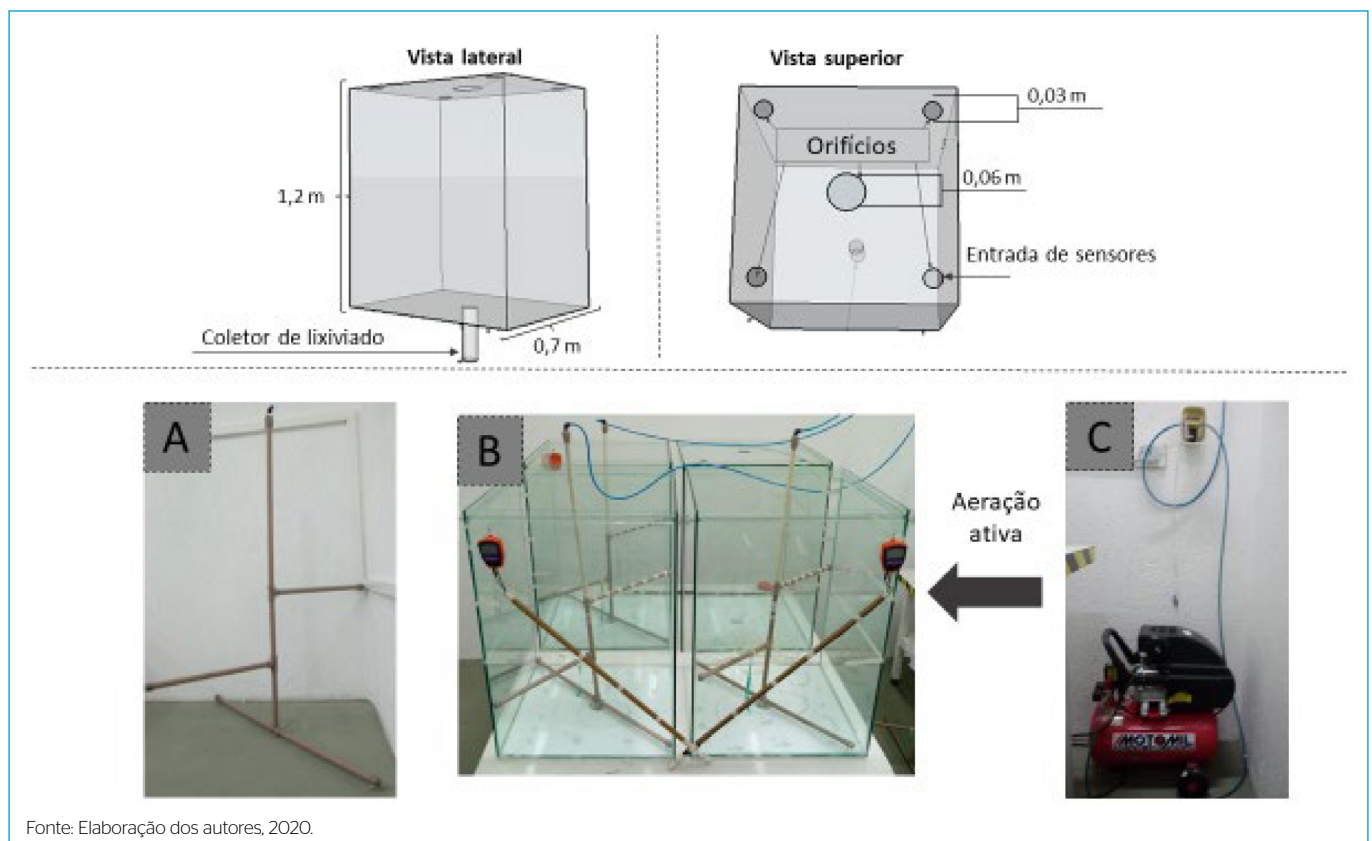
Para o monitoramento físico-químico diário, utilizaram-se termômetros digitais com ponta de prova blindada, marca Thunder Led®, com faixa de medição de -50 a 110°C, desvio padrão $\pm 1^\circ\text{C}$ e resolução no display de 0,1°C, e pHmetros portáteis da marca AKSO, modelo AK103, com faixa de medição de -2 a 16 pH, desvio padrão $\pm 0,04$ pH e resolução no display de 0,01 pH, com ponta de prova chapada para a medição direta no material.

As medições de temperatura aconteceram em dois pontos fixos no centro dos reatores (topo e base), e as medições de pH, em dois pontos dos reatores, escolhidos aleatoriamente, também em topo e base. O monitoramento ocorreu diariamente durante todo o período da compostagem. A temperatura foi medida de forma semirremota, a cada 4 horas, e o pH foi medido uma vez ao dia, no período matutino.

Durante o processo de compostagem, realizou-se uma única reintrodução de chorume diluído em água destilada, na proporção 1:10. Para tal, cada reator recebeu 2 L da solução contendo exclusivamente seu próprio chorume diluído, no período em que cerca de 40% do tempo da compostagem já havia transcorrido. Essa introdução de líquidos no sistema foi orientada pelos trabalhos realizados por Bilgili *et al.* (2007).

Análises realizadas

Para se obter contagem microbiana, utilizou-se o método de diluição sucessiva segundo protocolo descrito em *American Public Health Association*, 2005, por semeadura em meio Triptona soja agar (TSA) por espalhamento tipo estria sinuosa, considerando que, segundo Black (2013), uma única bactéria em



Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Figura 3 – Sistema de compostagem: (A) tubo de PVC; (B) reator com capacidade de 500 L; (C) compressor, solenoide e temporizador.

condições adequadas é capaz de sofrer um processo de crescimento populacional em torno de 10 milhões de novos indivíduos em algumas poucas horas. Desse modo, foi possível obter uma avaliação quantitativa do crescimento microbiano, de forma simplificada. Ao todo, foram analisadas três amostras do material: inicial e final (comum e com inoculante), com a promoção de diluições em série de segunda e terceira ordem e com o uso de meios de culturas seletivas para crescimentos fúngicos e bacterianos em triplicatas (ESPOSITO, 2018).

O estudo da relação C:N foi realizado por meio de Analisador Elementar Flash EA 1112 (Thermo Scientific) por cromatografia gasosa. Após a combustão das amostras inicial e final (comum e com inoculante), foram analisados os gases sob a forma de CO₂, N₂, H₂O e H₂SO₃ (CEM, 2015).

Para a avaliação do crescimento vegetal de alface manteiga (*Lactuca sativa*) foi realizada adaptação do método de germinação de sementes proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento — MAPA (BRASIL, 2009). O uso da diluição 1:10 é bastante usual e permite avaliar a qualidade e a toxicidade do chorume (LUO *et al.*, 2017); por isso, essa foi a diluição máxima estudada para verificar as possíveis variações na germinação e no crescimento das plântulas. Dessa forma, examinou-se em triplicata os lixiviados do final de ambas as compostagens em quatro condições: controle (água destilada), concentrado (*in natura*), diluído em água destilada 1:5 e 1:10. Para determinar o índice de germinação (I_g), adotou-se a Equação 1, referida por Okiawan *et al.* (2018).

$$I_g = \frac{G}{G_0} * \frac{L}{L_0} \quad (1)$$

Em que:

G = germinação média substrato;

G₀ = germinação média controle;

L = crescimento médio substrato;

L₀ = crescimento médio controle.

Por meio da Espectroscopia de Fluorescência de raios-X (FRX), foram identificados os elementos químicos constituintes de três amostras do material estudado, a saber:

- i) Material inicial;
- ii) Composto final comum;
- iii) Composto final com uso de inoculante.

As amostras foram analisadas em espectrofotômetro da marca SHIMADZU, modelo EDX-1300, com limite de detecção da ordem de 10 ppm. As coletas das amostras obedeceram aos requisitos da NBR 10.007 (ABNT, 2004) e seu material foi inserido por meio de compressão manual sobre o suporte de amostras do equipamento. Efetuaram-se três medições por amostra em pontos aleatórios delas, com tensão do tubo de 20 kV, tempo de leitura de 100 s por ponto, utilizando-se os parâmetros fundamentais para identificação. Os resultados foram apresentados em valores percentuais de ocorrência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da composição gravimétrica dos resíduos, mostrados na Figura 4, demonstram o potencial de uso da compostagem como forma de tratamento dos resíduos gerados pelas feiras livres do município de São José dos Campos,

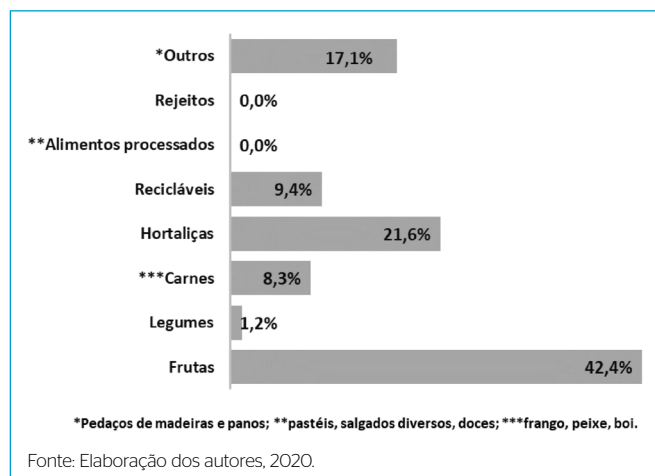


Figura 4 – Caracterização gravimétrica dos resíduos de feira.

uma vez que os resíduos orgânicos correspondem a mais de 70% de todo o material gerado pela atividade. Destaca-se que os restos de carnes, excluídos do processo de compostagem neste estudo, também podem ser compostados com cuidados diferenciados, tais como sistemas isolados de pré-compostagem (CURCI *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2009).

O monitoramento do processo mostrou variações térmicas similares às que foram reportadas em estudos anteriores para sistemas abertos, porém com redução dos períodos de cada uma das fases (PEREIRA NETO, 2007). O monitoramento da temperatura do processo permitiu a identificação das quatro fases distintas da compostagem aeróbica, a saber:

- 1) Aquecimento entre os dias 0 e 2;
- 2) Degradação ativa entre os dias 2 e 6;
- 3) Resfriamento entre o 6º e o 23º dia;
- 4) Maturação entre o 23º e o 61º dia (Figura 5A).

Os sistemas mostraram-se análogos quanto às fases de compostagem e mais eficientes do que a compostagem com aeração passiva.

No período, entre os dias 0 e 32, com aeração diária programada para 4 horas consecutivas, verificou-se a ocorrência do declínio da temperatura no período logo após a ocorrência da aeração. Considerando que a variação da temperatura, decorrente da aeração, pode interferir negativamente na ação da comunidade microbiana (CHEN *et al.*, 2015; INÁCIO; MILLER, 2009 apud MILLER, 1993), fica evidenciado que a introdução de ar no sistema precisa ser acompanhada de mecanismos que minimizem a variação da temperatura. Destaca-se que essa informação só foi possível a partir da obtenção de elevada quantidade de dados para o parâmetro e pode nortear soluções tecnológicas que garantam melhores desempenhos do uso de sistemas com aeração forçada.

As condições de temperatura registradas nos sistemas (Figura 5) mostram que as temperaturas médias máximas não chegaram a atingir os padrões mínimos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 481 (BRASIL, 2017). Tal fato pode estar associado à aeração forçada ou à reduzida escala do sistema. Considerando que tais condições estão associadas à sanitização térmica

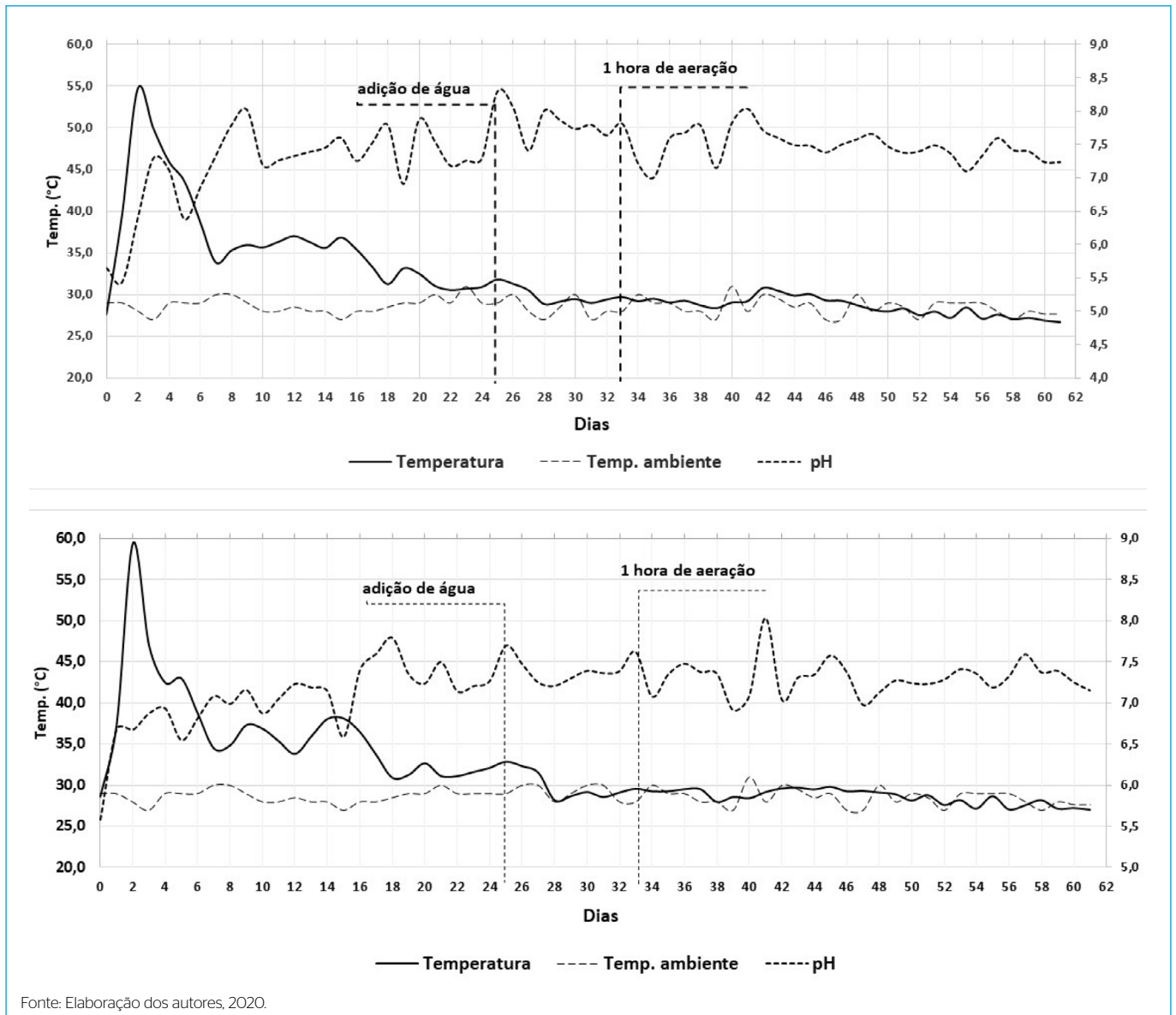


Figura 5 - Fases da compostagem, variação de pH e temperatura ambiente e de compostagem: (A) inoculante; e (B) comum.

do material, os métodos avaliados não atenderam ao requisito mínimo de temperaturas superiores a 60°C por três dias. No entanto, cabe destacar que organismos patogênicos como *Salmonella sp.*, *Escherichia coli*, *Streptococcus pyogenes* são eliminados a partir da manutenção, por aproximadamente 1 hora, de temperaturas entre 45 e 60°C. Sendo assim, pode-se afirmar que houve parcial sanitização do material compostado (WORRELL *et al.*, 2017). Ressalta-se também que, consideradas as características da fonte geradora e da ocorrência de coleta diferenciada, não há que se esperar elevadas contaminações no material.

Comparativamente, as temperaturas nos dois reatores apresentaram similaridade de variação. Porém, quando observado o declínio de seus valores, percebe-se redução mais brusca nesse parâmetro para o método de compostagem comum (Figura 5B), entre os dias 2 e 6, o que permite a inferência de que a população de microrganismos nesse processo foi menos eficiente do que aquela presente na compostagem com inoculante.

Em ambos os processos, houve redução da massa inicial, sendo que a compostagem com inoculante obteve o melhor resultado, reduzindo em 30% a quantidade do material. Entretanto, se considerado o material peneirado, por peneira de 2 mm, a compostagem comum disponibilizou maior quantidade de húmus (Tabela 1). Tal fato evidencia a importância da cura do material após a compostagem, uma vez que a umidade presente nos compostos, principalmente no composto inoculado, tenha proporcionado maior aglomeração dessa fração e consequente retenção em peneiramento, fato que também prejudica suas condições para uso (CEMPRE, 2018).

A massa colocada para degradação apresentou concentração de C:N de aproximadamente 70:1 (Tabela 2). Essa concentração inicial do processo é significativamente superior às concentrações usualmente recomendadas para processos de compostagem, que ficam em torno de 30:1 e 45:1 (CEMPRE, 2018; INÁCIO; MILLER, 2009; PEREIRA NETO, 2007; WORRELL; VESILIND;

LUDWIG, 2017). Tal fato está ligado ao tipo de material recolhido da feira que, por já possuir elevada concentração de carbono, não demanda o incremento de material seco. Sendo assim, sugere-se a realização de novas pesquisas que considerem a compostagem exclusiva dos resíduos gerados pelas feiras públicas. O inoculante apresentou um desempenho mais satisfatório na redução das concentrações iniciais de C/N, produzindo um composto com melhores características para a disponibilização destes e de outros nutrientes no solo (INÁCIO; MILLER, 2009). O padrão atingido em 62 dias de compostagem com inoculante demonstra a eficácia de transformação duas vezes maior que o processo convencional, uma vez que reduziu em aproximadamente 50% o tempo necessário para atingir a concentração entre 10 e 18 carbonos para um nitrogênio (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

A menor concentração final do carbono na compostagem com inoculante (14:1) está diretamente relacionada ao metabolismo dos microrganismos presentes em números superiores nesse reator do que na compostagem comum (INÁCIO; MILLER, 2009; WORRELL *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2010). Sendo assim, pode-se inferir que a aceleração da degradação do material, ocorrida na compostagem com o uso de inoculante, também aumenta a velocidade de liberação de carbono para a atmosfera. Com os meios de cultura utilizados para avaliar o crescimento microbiano, foi possível observar que as amostras da compostagem convencional apresentaram um número contável de bactérias, na ordem de 1.5×10^5 UFC.mL⁻¹, enquanto, na compostagem com o inoculante EM, mesmo nas maiores diluições, 10^5 , não foi possível efetuar a contagem em razão do excessivo crescimento microbiano nas placas. Esse dado foi considerado positivo, uma vez que a presença da microbiota acelera a decomposição e representa um reservatório microbiano importante para potencializar o crescimento e a permanência vegetal no ambiente (CARNEIRO *et al.*, 1999; CHU *et al.*, 2001).

No período do estudo, verificou-se que o uso não diluído dos chorumes produzidos pelo sistema de compostagem inviabilizou a germinação e o crescimento de sementes, fato que evidencia a inviabilidade do uso desses líquidos *in natura*. Por meio das diluições 1:5 e 1:10, em ambos os lixiviados da compostagem, identificou-se um decréscimo na germinação e um acréscimo

no crescente radicular, que teve seu melhor resultado nas condições de compostagem com inoculante, conforme mostrado na Figura 6. Infere-se que os microrganismos presentes no lixiviado com EM colaboraram com o crescimento por meio da disponibilização de maior quantidade dos nutrientes necessários para esse estágio.

Os valores do I_g obtidos, mostrados na Tabela 3, foram superiores a 100%, em ambas as diluições do lixiviado com inoculante. De acordo com Phibunwatthanawong e Riddech (2019), isso é indicativo de características não fitotóxicas. Para o lixiviado convencional, essa característica só foi verificada na condição de diluição 1:10. Tal situação permite inferir que os microrganismos presentes no lixiviado com EM colaboraram com o processo por meio da disponibilização de nutrientes e da redução da toxicidade para esse estágio.

A partir da análise de composição do material inicial e dos compostos, cujos resultados estão mostrados na Tabela 4, foi possível verificar a presença de elementos essenciais ao crescimento vegetal, a saber: cálcio, potássio, ferro, manganês, enxofre e fósforo. Também se observou a presença do alumínio que, em elevadas concentrações, pode exercer efeitos tóxicos em plantas, quando em solos ácidos (PRIMAVESI, 2014; PRIMAVESI; PRIMAVESI, 2018).

O único metal pesado identificado na amostra, em concentrações superiores a 10 ppm, foi o cobre, presente no composto inoculado. De acordo com Corrêa (2006), a presença de metais pesados no solo pode prejudicar a microbiota, o crescimento vegetal e ser transferido entre os níveis tróficos de forma acumulativa. Sendo assim, ressalta-se a importância do aprofundamento dessas análises por meio de trabalhos vindouros, com o uso de equipamentos que permitam identificar pequenas concentrações desses elementos para devida equiparação aos limites normativos estabelecidos pelo MAPA (BRASIL, 2020).

A detecção de terras raras no material inoculado pode estar associada ao processo de decomposição proporcionado por microrganismos presentes em uma comunidade mais biodiversa, que também atuam na mineralização desses elementos.

A presença do titânio foi identificada em todas as amostradas avaliadas. Sabe-se que esse metal é comumente utilizado para gerar ligas metálicas resistentes física e quimicamente, na composição de componentes eletrônicos e em outros produtos utilizados nos domicílios (ROCIO *et al.*, 2012). No entanto, considerando o fato de que o resíduo estudado é oriundo de feira livre e que é coletado de forma segregada, infere-se que a presença desse metal deva estar associada aos materiais utilizados na pré-compostagem, uma vez que para o transporte e o estudo de composição gravimétrica foram utilizados veículos pertencentes à empresa que efetua a coleta dos resíduos no município.

O processo de corrosão em veículos com ligas de titânio utilizados para o manejo de resíduos urbanos é comum, uma vez que, em geral, possuem

Tabela 1 - Balanço de massa do sistema.

| Compostagem | Inicial | Final | Redução | Peneirada* | Umidade* |
|-------------------------|---------|-------|---------|------------|----------|
| | (%) | | | | |
| Convencional (controle) | 100 | 73 | 27 | 19 | 49 |
| Com inoculante (EM) | 100 | 70 | 30 | 16 | 58 |

EM: microrganismos eficientes; *composto não curado.
Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Tabela 2 - Concentração de elementos químicos.

| Material | Massa (mg) | Carbono (%) | Nitrogênio (%) | Hidrogênio (%) | Umidade (%) | C:N |
|----------------------------------|------------|-------------|----------------|----------------|-------------|-------|
| Inicial | 2,89 | 37,12 | 0,53 | 4,40 | - | 70,16 |
| Composto convencional (controle) | 2,67 | 20,60 | 0,45 | 2,47 | 49 | 45,78 |
| Composto com inoculante (EM) | 2,80 | 9,18 | 0,66 | 1,09 | 58 | 13,91 |

EM: microrganismos eficientes.
Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

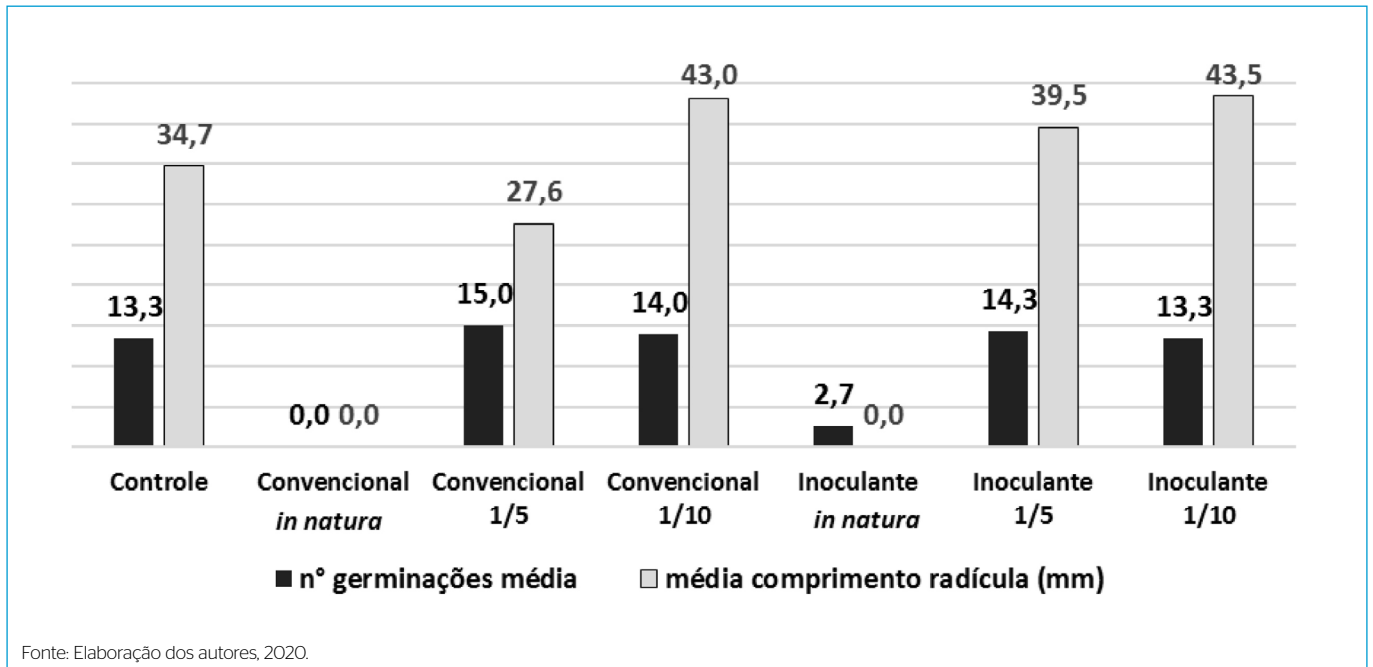


Figura 6 - Média de germinações e comprimento de radícula da alface (*Lactuca sativa*).

Tabela 3 - Índice de germinação da alface (*Lactuca sativa*) em diferentes concentrações de chorume.

| Condição avaliada em relação ao controle | Convencional (%) | | | Inoculante (%) | | |
|--|------------------|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|
| | In natura | Diluição 1:5 | Diluição 1:10 | In natura | Diluição 1:5 | Diluição 1:10 |
| Germinação relativa de sementes | 0 | 113 | 105 | 20 | 108 | 100 |
| Crescimento relativo de raízes | 0 | 80 | 124 | 0 | 114 | 125 |
| Índice de germinação | 0 | 89 | 130 | 0 | 122 | 125 |

Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

Tabela 4 - Percentual de detecção dos elementos químicos em três pontos de incidência por amostra.

| Elementos | Amostra (% detectado em concentração > 10 ppm) | | |
|--------------|--|----------------|--------------------|
| | Material inicial | Composto comum | Composto inoculado |
| Al | 67 | 67 | 67 |
| Si | 100 | 100 | 100 |
| P | 67 | 67 | 67 |
| S | 67 | 67 | 67 |
| K | 100 | 100 | 100 |
| Ca | 100 | 100 | 100 |
| Te | 33 | 67 | 0 |
| Ti | 100 | 100 | 100 |
| Mn | 100 | 100 | 100 |
| Fe | 100 | 100 | 100 |
| Terras raras | 0 | 0 | 67 |
| Cu | 0 | 0 | 67 |
| Zn | 0 | 67 | 67 |

Fonte: Elaboração dos autores, 2020.

características ácidas (BRAGA *et al.*, 2007). Isso pode ter levado à disponibilização do elemento e à contaminação dos resíduos orgânicos processados neste estudo. Outra possível explicação para a presença do titânio é a ausência de higienização interna dos veículos entre as coletas domiciliares comuns e as coletas seletivas no município do estudo.

CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que os resíduos produzidos em feiras públicas do município de São José dos Campos são substratos ricos e viáveis para serem aproveitados eficientemente por meio de compostagem. Evidenciou também que o processo de compostagem com a adição de inoculante se mostrou mais eficaz nos quesitos avaliados, quando comparado ao processo convencional. Por meio de seus resultados, também foi possível inferir que a aeração ativa em batelada pode influenciar negativamente os processos de compostagem.

A partir da análise dos produtos da compostagem foi possível verificar que o chorume pode favorecer a germinação e o crescimento de sementes, desde que seja diluído. Por meio dos resultados comparativos, inferiu-se que o uso do inoculante no processo de compostagem garantiu a produção de composto em melhores condições de ser aplicado como biofertilizante.

Os resultados desta pesquisa propiciam a ampliação do conhecimento científico sobre a temática e, sobretudo, aclaram a necessidade de aprofundamento dos estudos focados em: identificar as comunidades de microrganismos presentes nos inóculos; caracterizar os percentuais de resíduos orgânicos gerados nas áreas urbanas, por meio de estudos transversais; aprimorar as tecnologias de controle e monitoramento em tempo real do processo de compostagem; e qualificar os subprodutos da compostagem.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Morais, C.A.S.: Conceituação, Curadoria de Dados, Investigação, Software, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição. Esposito, E.: Conceituação, Análise Formal, Metodologia, Software, Validação, Escrita – Revisão e Edição. Fiore, F.A.: Conceituação, Análise Formal, Obtenção de Financiamento, Metodologia, Administração do Projeto, Recursos, Software, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association. Washington, DC, 2005. Disponível em: <<http://www.standardmethods.org/>>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- Asadu, C.O.; ANEKE, N.G.; Egbuna, S.O.; Agulanna, A.C. Comparative studies on the impact of bio-fertilizer produced from agro-wastes using thermo-tolerant actinomycetes on the growth performance of Maize (*Zea mays*) and Okro (*Abelmoschus esculentus*). *Environmental Technology & Innovation*, [s. l.], v. 12, p. 55-71, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0269749118301751>>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- ASENSIO, V.; ABREU-JUNIOR, C.H.; SILVA, F.C.da.; CHITOLINA, J.C. Evaluation of chemical extractants to assess metals phytoavailability in Brazilian municipal solid waste composts. *Environmental Pollution*, [s. l.], v. 243, p. 1235-1241, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.09.100>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.007*. Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- AWASTHI, S.K.; WONG, J.W.C.; LI, J.; WANG, Q.; ZHANG, Z.; KUMAR, S. AWASTHI, M.K. Evaluation of microbial dynamics during post-consumption food waste composting. *Bioresource Technology*, [s. l.], v. 251, n. dec. 2017, p. 181-188, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.040>
- BERNAL, M.P.; SANCHEZ-MONEDERO, M.A.; PAREDES, C.; ROIG, A. Carbon Mineralization from Organic Waste at Different Composting Stages During their Incubation with Soil. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 69, p. 175-189, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(98\)00106-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00106-6)
- BILGILI, M.S.; DEMIR, A.; ÖZKAYA, B. Influence of leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes. *Journal of Hazardous Materials*, [s. l.], v. 143, n. 1-2, p. 177-183, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.012>
- BRASIL. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão Preliminar*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, DF, 2011.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009.
- BRASIL. *Gestão de resíduos orgânicos*. 2017. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gestao-de-residuos-orgânicos.html>>. Acesso em: 31 out. 2019.
- BITTMAN, S.; SHEPPARD, S.C.; POON, D.; HUNT, D.E. How efficient is modern peri-urban nitrogen cycling: a case study. *Journal of Environmental Management*, [s. l.], v. 244, n. sept. 2018, p. 462-471, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.054>
- BLACK, J.G. *Microbiologia fundamentos e perspectivas*. 4. ed. Tradução: Eiler Fritsch Toros. Rio de Janeiro: Guanabara, 2013.
- BNDES. *Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Pesquisa científica BNDES FEP, nº. 02/2010, 2013.
- BRAGA, N.A.; FERREIRA, N.G.; CAIRO, C.A.A. Obtenção de titânio metálico com porosidade controlada por metalurgia do pó. *Química Nova*, [s. l.], v. 30, n. 2, p. 450-457, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200037>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº. 61, de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF: 15 jul. 2020.
- CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Efeitos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares e da aplicação de fósforo no estabelecimento de forrageiras em solo degradado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [s. l.], v. 34, n. 9, p. 1669-1677, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000900018>
- CEM. Analisador Elementar Flash EA 1112. *Thermo Scientific*, 2015. Disponível em: <http://propes.ufabc.edu.br/cemsa/crbst_75.html>. Acesso em: 1 nov. 2019.
- CEMPRE. *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. 4. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. Disponível em: <http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- CHEN, Z.; ZHANG, S.; WEN, Q.; ZHENG, J. Effect of aeration rate on composting of penicillin mycelial dreg. *Journal of Environmental Sciences*, [s. l.], v. 37, p. 172-178, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.03.020>
- CHU, E.Y.; MÖLLER, M.D.R.F.; CARVALHO, J.G. de. Efeitos da inoculação micorrízica em mudas de graviola em solo fumigado e não fumigado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, [s. l.], v. 36, n. 4, p. 671-680, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000400010>
- CONAMA. Resolução nº. 481, de 03 de outubro de 2017. 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*, Brasília, seção 1, Brasília, DF: p. 93. 09 out. 2017.

- CORRÊA, T.L. *Bioacumulação de metais pesados em plantas nativas a partir de suas disponibilidades em rochas e sedimentos: o efeito na cadeia trófica*. 2006. Universidade Federal de Ouro Preto, [s. l.], 2006.
- COSTA, M.S.S.M.; COSTA, L.A.M.; DECARLI, L.D.; PELÁ, A.; SILVA, C.J. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 100-107, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000100015>
- CURCI, V.C.L.M.; DUTRA, I.S.; DÖBEREINER, J.; LUCAS JUNIOR, J. Pré-compostagem de cadáveres de bovinos acometidos pelo botulismo. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 157-161, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2007000400005>
- ESPOSITO, E. *Metodologia para monitoramento microbiano de compostagem*. São José dos Campos: Metodologia Autoral, 2018.
- FAN, Y.V.; KLEMES, J.J.; LEE, C.T.; HO, C.S. Efficiency of microbial inoculation for a cleaner composting technology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 517-527, 2018. Disponível em: <[https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-017-1439-5#:~:text=\(2017\)%20suggested%20composting%20and%20recycling,end%20product%20\(Wu%20et%20al\)](https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-017-1439-5#:~:text=(2017)%20suggested%20composting%20and%20recycling,end%20product%20(Wu%20et%20al).)>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. *Método de pesquisa*. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.
- HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. What a waste: a global review of solid waste management. Urban Development Series. *World Bank*, [s. l.], v. 1, n. 15, p. 1-116, 2012. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- HU, C.; QI, Y. Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China. *European Journal of Agronomy*, v. 46, p. 63-67, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.12.003>
- 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*, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 2808-2854, 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/54728905/Composting_as_a_way_to_convert_cellulosic_biomass_and_organic_waste_into_high_value_soil_amendments_A_review>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. *Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- JOSHI, H.; SOMDUTTAND, P.C.; MUNDRA, S.L. Role of Effective Microorganisms (EM) in sustainable agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 8, n. 03, p. 172-181, 2019. <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2019.803.024>
- KYAN, T. *Kyusei nature farming and the technology of effective microorganisms*. 1999. Disponível em: <<https://www.bokashi.se/dokument/bibliotek/APNAN%2520Manual.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- LIU, L.; WANG, S.; GUO, X.; ZHAO, T.; ZHANG, B. Succession and diversity of microorganisms and their association with physicochemical properties during green waste thermophilic composting. *Waste Management*, v. 73, p. 101-112, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.026>
- LUO, Y.; LIANG, J.; ZENG, G.; CHEN, M.; MO, D.; LI, G. Seed germination test for toxicity evaluation of compost: its roles, problems and prospects. *Waste Management*, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.023>
- MAYER, J.; SCHEID, S.; WIDMER, F.; FLIEßBACH, A.; OBERHOLZER, H.R. How effective are Effective Microorganisms® (EM)? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology*, v. 46, n. 2, p. 230-239, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.007>
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos, 2001.
- MORERO, B.; VICENTIN, R.; CAMPANELLA, E.A. Assessment of biogas production in Argentina from co-digestion of sludge and municipal solid waste. *Waste Management*, [s. l.], v. 61, p. 195-205, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.033>
- MOROCHO, M.T.; LEIVA-MORA, M. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro agrícola*, v. 46, n. 2, p. 93-103, 2019. Disponível em: <http://scielosld.cielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- OKTIAWAN, W.; ZAMAN, B. Use of a germination bioassay to test compost maturity in Tekelan Village. v. 05012, p. 2017-2019, 2018. In: OLLE, M.; WILLIAMS, I.H. Effective microorganisms and their influence on vegetable production - a review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 88, n. 4, p. 380-386, 2013.
- OLIVEIRA, E.C.A.; SARTORI, R.H.; GARCEZ, T.B. *Compostagem*. Piracicaba, 2008.
- OLIVEIRA, G.A.; LIMA, D.S.; ALBERTI, R.S. Compostagem com diferentes tipos de produção de microorganismos eficazes. *VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia*, v. 8, n. 2, p. 2-6, 2013. Disponível em: <<https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/14134>>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- OLIVEIRA, V.; KIRKELUND, G.M.; HORTA, C.; LABRINCHA, J.; DIAS-FERREIRA, C. Improving the energy efficiency of an electro-dialytic process to extract phosphorus from municipal solid waste digestate through different strategies. *Applied Energy*, [s. l.], v. 247, n. feb., p. 182-189, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.175>
- ORNELAS-FERREIRA, B. *et al.* Strategies for energy recovery and gains associated with the implementation of a solid state batch methanization system for treating organic waste from the city of Rio de Janeiro - Brazil. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 146, p. 1976-1983, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.049>
- PELLEJERO, G.; Miglierina, A.; Aschkar, G.; Turcato, M.; Jiménez-Ballesta, R. Effects of the onion residue compost as an organic fertilizer in a vegetable culture in the Lower Valley of the Rio Negro. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, [s. l.], v. 6, n. 2, p. 159-166, 2017. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0164-8>
- PEREIRA NETO, J.T. *Manual de compostagem processo de baixo custo*. 1. ed. Viçosa: UFV, 2007.
- PIOVESAN, A.; TEMPORINI, E.R. Pesquisa exploratória: procedimento metodológico para o estudo de fatores humanos no campo da saúde pública. *Rev. Saúde Pública*, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 318-325, aug., 1995. <https://doi.org/10.1590/S0034-89101995000400010>
- PHIBUNWATTHANAWONG, T.; RIDDECH, N. Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, v. 8, n. 4, p. 369-380, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0257-7>

- PRIMAVESI, A.M. *Pergunte ao solo e às raízes: uma análise do solo tropical e mais de 70 casos resolvidos pela agroecologia*. 1. ed. São Paulo: Nobel, 2014.
- PRIMAVESI, A.M.; PRIMAVESI, A. *A biocenose do solo na produção de vegetal & deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal*. 1. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2018.
- ROCIO, M.A.R. *Terras-raras: situação atual e perspectivas*. [s.l.], BNDES Setorial, 2012.
- RIBEIRO, N.Q.; Souza, T.P.; Costa, L.M.A.S.; CASTRO, C.P.de.; DIAS, E.S. Microbial additives in the composting process. *Ciência e Agroecologia*, v. 41, n. 2, p. 159-168, 2017. <https://doi.org/10.1590/1413-70542017412038216>
- RODRIGUES, J.; Gérard, A.; Séré, G.; Morel, J.L.; Guimont, S.; Simonnot, M.O.; Pons, M.N. Life cycle impacts of soil construction, an innovative approach to reclaim brownfields and produce nonedible biomass. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 211, p. 36-43, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.152>
- RUBIO, F.; Batista, B.M.; LAURINDO, M.C.C.O.; ZINN, K.P.; LARA, M.K.de. Gerenciamento de resíduos orgânicos por meio de compostagem utilizando microrganismos eficazes. *Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, 9, v. 1, p. 1-6, 2018. Disponível em: <<https://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/821>>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. *Plano de gestão integrada de resíduos sólidos de São José dos Campos*. São José dos Campos, 2015.
- SÃO PAULO. *Plano estadual de resíduos sólidos de São Paulo*, 2014. Disponível em: <<http://www.lipor.pt/pt/>>. Acesso em: 10 abr. 2022.
- SINGH, J.S.; PANDEY, V.C.; SINGH, D.P. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 140, n. 3-4, p. 339-353, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>
- SNIS. *Diagnóstico RS 2017*. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2017>>. Acesso em: 30 out. 2019.
- SOUZA, L.; CARMO, D.; SILVA, F. Uso de microrganismos eficazes em compostagem de resíduos sólidos orgânicos de feira e restaurante. *TEC-USU*, p. 42-54, 2019. Disponível em: <<http://revistas.icesp.br/index.php/TEC-USU/article/viewFile/738/717>>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- TALAAT, N.B.; Ghoniem, A.E.; Abdelhamid, M.T.; SHAWKY, B.T. Effective microorganisms improve growth performance, alter nutrients acquisition and induce compatible solutes accumulation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants subjected to salinity stress. *Plant Growth Regulation*, v. 75, n. 1, p. 281-295, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10725-014-9952-6>
- TIQUIA, S.M.; WAN, J.H.C.; TAM, N.F.Y. Dynamics of yard trimmings composting as determined by dehydrogenase activity, ATP content, arginine ammonification, and nitrification potential. *Process Biochem*, v. 37, p. 1057-1064, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(01\)00317-X](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(01)00317-X)
- URBANIZADORA MUNICIPAL S.A. Prefeitura de São José dos Campos. *Estudo de Caracterização Gravimétrica*. São José dos Campos, 2018.
- VICENTINI, L.S.; CARVALHO, K.; RICHTER, A.S. Utilização de microrganismos eficazes no preparo da compostagem. *Bras. de Agroecologia*, v. 4, n. 2, p. 3804-3808, 2009. Disponível em: <<https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/4679>>. Acesso em: 28 mai. 2022.
- XIE, X.Y.; ZHAO, Y.; SUN, Q.H.; WANG, X.Q.; CUI, H.Y.; ZHANG, X.; LI, Y.J.; WEI, Z.M. A novel method for contributing to composting start-up at low temperature by inoculating cold-adapted microbial consortium. *Bioresource Technology*, v. 238, p. 39-47, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.036>
- WORRELL, W.A.; VESILIND, P.A.; LUDWIG, C. *Solid waste engineering: a global perspective*. 2. ed. Boston: Cengage Learning, 2017. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=UsgaCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=solid+waste+engineering+a+global+perspective+william+a.+worrell&hl=pt-BR&sa=X&ved=0OahUKewjqkFTa5MvIAhXblrkGHQtQatgQ6AEIKTA#v=onepage&q=solid+waste+engineering+a+global+perspective+william+a.+worrell&f=false>>. Acesso em: 2 nov. 2019.
- ZHANG, J.; GAO, D.; CHEN, T.B.; ZHENG, G.D.; CHEN, J.; MA, C.; GUO, S.L.; DU, W. Simulation of substrate degradation in composting of sewage sludge. *Waste Management*, [s. l.], v. 30, n. 10, p. 1931-1938, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.004>
- ZHAO, Y.; ZHAO, Y.; ZHANG, Z.; WEI, Y.; WANG, H.; LU, Q.; LI, Y.; WEI, Z. Effect of thermo-tolerant actinomycetes inoculation on cellulose degradation and the formation of humic substances during composting. *Waste Management*, v. 68, p. 64-73, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.022>
- ZIMMERMANN, I.; KAMUKUENJANDJE, R.T. Overview of a variety of trials on agricultural applications of effective microorganisms (EM). *Agrícola*, p. 17-26, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/42377987_Overview_of_a_variety_of_trials_on_agricultural_applications_of_effective_microorganisms_EM>. Acesso em: 28 mai. 2022.