

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CRISTIAN EDUARDO SPICKER

**COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS DE PODA URBANA PARA
O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin &
Barneby (pau-cigarra)**

FRANCISCO BELTRÃO

2021

CRISTIAN EDUARDO SPICKER

**COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS DE PODA URBANA PARA
O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin &
Barneby (pau-cigarra)**

**COMPOSTING OF SEWAGE SLUDGE AND URBAN PRUNING RESIDUES FOR
THE DEVELOPMENT OF SEEDLINGS *Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin &
Barneby (cau-cigarra)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof^o Dr. Hernan Vielmo

FRANCISCO BELTRÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CRISTIAN EDUARDO SPICKER

**COMPOSTAGEM DE LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS DE PODA URBANA PARA
O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin &
Barneby (pau-cigarra)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado
como requisito para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal
do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07 de dezembro de 2021

Hernan Vielmo

Doutor

Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão

Priscila Soraia da Conceição Ribeiro

Mestre

Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão

Maico Chiarelotto

Mestre

Universidade Federal do Oeste da Bahia

FRANCISCO BELTRÃO

2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha família, meu pai Elimar Spiecker e a minha mãe Neusa da Silva Garcias, pelo apoio, incentivo, auxílio e amor em todas as etapas da minha vida, sem vocês esse trabalho não seria possível.

A Gabriela de Quadros por todo o amor e carinho depositados nestes tantos anos, e pelo auxílio prestado nas análises laboratoriais e na elaboração deste trabalho, muito obrigado por fazer parte da minha vida, amo você!

Às minhas irmãs, Danieli Kalinke, Emanuelli Kalinke, Estela Maris de Oliveira Cosmann, Joseane Spiecker Meurer e ao meu irmão Maicon Spiecker, pelo apoio, incentivo, auxílio e amor. Em especial a meu irmão Evandro de Oliveira e a meu sobrinho Matheus Spiecker Meurer, que Deus tenha vocês em seus braços, sentimos uma falta imensa de vocês aqui.

Aos meus bons amigos da *Turma do funil S/A* que fizeram os anos de graduação mais alegres, tivemos ótimos momentos juntos na universidade, sem vocês eu não chegaria aqui, obrigado também, pelos auxílios nas montagens dos experimentos.

A minha supervisora de estágio Ádila Cristina Krukoski Filippi por todos os conhecimentos que obtive nos 23 meses que trabalhamos juntos, ao Sr Walmor Werle por todo o apoio logístico na manutenção do meu experimento de compostagem no viveiro municipal, e a todos os colegas da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Francisco Beltrão que não foram citados aqui, mas com toda certeza fizeram parte desta conquista, meus sinceros agradecimentos.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Francisco Beltrão pelos anos de graduação em uma universidade pública, gratuita e de excelência, em qual obtive um montante exorbitante de conhecimentos que serão diferenciais em minha vida profissional.

A meu orientador Dr. Hernan Vielmo, pelo auxílio na elaboração deste trabalho e pelos conhecimentos passados no decorrer deste.

Aos professores Msc. Priscila Soraia da Conceição Ribeiro e Msc. Maico Chiarelotto, por terem aceito fazer parte desta banca e pelas contribuições e apontamentos prestados tanto no pré-projeto quanto no projeto final.

A todos os professores quais tive o prazer de obter conhecimentos, em aula ou nos projetos em geral quais participei.

RESUMO

Spicker, Cristian Eduardo. **Compostagem de lodo de esgoto para o desenvolvimento de mudas de *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (pau-cigarra)**. 28 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, Brasil, 2021.

Todas as atividades humanas geram resíduos, sendo o crescimento populacional e o alto desenvolvimento industrial como os principais causadores do aumento da geração destes no cotidiano, como por exemplo, os esgotos domiciliares, que são gerados em grande quantidade. Estes materiais, quando encaminhados para estações de tratamento, geram um passivo ambiental denominado lodo de esgoto, que pode apresentar toxicidade ao ambiente, caso disperso sem o devido tratamento. Neste sentido, a compostagem surge como uma técnica para tratamento deste tipo de material, sendo necessária a mistura deste à uma fonte de carbono para que o processo seja efetivo, um bom exemplo destes são os galhos e folhas triturados provenientes das atividades de poda e manutenção arbórea. O objetivo do trabalho foi avaliar o tratamento do lodo de esgoto e o material triturado de poda urbana, através do processo de compostagem, visando produzir um composto orgânico maturado e constatar sua eficiência no cultivo de mudas de *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (pau-cigarra). A compostagem foi realizada no viveiro municipal de Francisco Beltrão, no estado do Paraná e, para verificar o andamento do processo, foram avaliados o pH, a temperatura, a relação C/N, a aeração, a umidade e os sólidos fixos e voláteis. Após finalizada a compostagem, o composto foi utilizado no transplante de mudas de pau-cigarra, em oito tratamentos distintos, com concentrações diferentes de solo (SL), composto orgânico (CO) e substrato comercial (SC) {C1: 30% SL - 70% CO; C2: 70% SL - 30% CO, C3: 50% SL - 50% CO, C4 100% CO, S1: 30% SL - 70% SC, S2: 70% SL - 30% SC, S3: 50% SL - 50% SC e S4: 100% SC}. A compostagem foi realizada em triplicata, e a análise estatística demonstrou não haver diferença significativa entre as pilhas, sendo que a temperatura das pilhas de compostagem alcançou 46,18 °C nos primeiros dias, apresentando uma queda abrupta de temperatura após o décimo dia, a umidade da compostagem se manteve um pouco elevada, com semanas em que seu teor se manteve acima dos 60%, o pH final da pilha foi de 7,79, os sólidos voláteis apresentaram um decréscimo de 8,7%, e o carbono orgânico total (COT) apresentou um decréscimo de 4,8%. Quanto aos parâmetros fitomorfológicos e o índice de qualidade de Dickson (IQD), o teste de Tukey (5% de significância) mostrou não haver diferença significativa entre os tratamentos. Sendo assim o composto se mostrou efetivo para a produção de mudas de Pau-cigarra, com o mesmo potencial do substrato comercial utilizado. Este processo reinsere dois passivos ambientais no processo de produção de mudas e, desta forma, gera um sistema cíclico para o material proveniente da poda de árvore, que será empregado na produção de novas mudas com potencial para aplicação na arborização urbana.

Palavras chaves: Resíduos; Reciclagem; Cultivo de mudas; Pau-cigarra;

ABSTRACT

Spicker, Cristian Eduardo. **Sewage sludge compost for the development of *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (pau-cigarra) seedlings**. 28 p. Course Conclusion Paper (Graduate in Environmental Engineering), Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, Brazil, 2021.

All human activities generate waste, with population growth and high industrial development as the main causes of the increase in their daily generation, such as domestic sewage, which is generated in large quantities. These materials, when sent to treatment stations, generate an environmental liability called sewage sludge, which can present toxicity to the environment, if dispersed without proper treatment. In this sense, an increase in composting as a technique for treating this type of material, requiring its mixture with the carbon source for the process to be effective, a good example of these are the crushed branches and leaves from pruning and maintenance activities. arboreal. The objective of this work was to evaluate the treatment of sewage sludge and crushed material from urban pruning, through the composting process, forming a mature organic compost and verifying its efficiency in the cultivation of seedlings of *Senna multijuga* (Rich.) HS Irwin & Barneby (Rich.) HS Irwin & Barneby (cicada stick). The composting was carried out in the municipal nursery of Francisco Beltrão, in the state of Paraná and, to check the progress of the process, the pH, temperature, C / N ratio, aeration, humidity and fixed and volatile solids were taken. After composting was completed, the compost was used to transplant cicada seedlings, in eight different treatments, with different different types of soil (SL), organic compost (CO) and commercial substrate (SC) {C1: 30% SL - 70% CO; C2: 70% SL - 30% CO, C3: 50% SL - 50% CO, C4 100% CO, S1: 30% SL - 70% SC, S2: 70% SL - 30% SC, S3: 50% SL - 50% SC and S4: 100% SC). The composting was carried out in triplicate, and the statistical analysis showed no difference between the piles, with the temperature of the compost piles reaching 46.18 °C in the first days, with an abrupt drop in temperature after the tenth day, the humidity of the compost remained somewhat high, with weeks when its content remained above 60%, the final pH of the pile was 7.79, the volatile solids dissipated a decrease of 8.7%, and the total organic carbon (TOC)) showed a decrease of 4.8%. As for the phytomorphological parameters and the Dickson quality index (IQD), the Tukey test (5% significance) showed no difference between treatments. Thus, the compost is effective for the production of Pau-cicada seedlings, with the same potential as the commercial substrate used. This process reinserts two environmental liabilities in the seedling production process and, in this way, generates a cyclical system for the material from tree pruning, which will be used in the production of new seedlings with potential for application in urban afforestation.

Keywords: Waste; Recycling; Seedling cultivation; Pau-Cigarra;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização geográfica da área de realização do estudo.....	35
Figura 2 - Pilhas de compostagem.	36
Figura 3 - Distribuição dos tratamentos inteiramente casualizados.....	40
Figura 4 - Estrutura para proteção das mudas.....	41
Figura 5 - Análise dos fatores fitomorfológicos das mudas.	41
Figura 6 - Variações das temperaturas ambiente e das pilhas de compostagem.....	43
Figura 7 - Comportamento da umidade.....	44
Figura 8 - Comportamento do pH.	45
Figura 9 - Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis.	46
Figura 10 – Curva de crescimento do diâmetro de coleto das mudas.....	49
Figura 11 – Curva de crescimento das alturas das partes aéreas das mudas.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Misturas utilizadas no transplante das mudas de Pau-Cigarra.	40
Tabela 2 - Qualidade final do composto orgânico.	47
Tabela 3 - Médias dos diâmetros de coleto (dc), altura da parte aérea (ha), massa seca da parte aérea (msa), massa seca das raízes (msi) e índice de qualidade de dickson (iqd) das mudas de pau-cigarra.....	48

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	22
2.	OBJETIVOS	23
2.1.	Objetivo geral.....	23
2.2.	Objetivos Específicos.....	23
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1.	Resíduos sólidos	24
3.2.	Lodo de esgoto.....	25
3.3.	Resíduos de poda urbana	26
3.4.	Compostagem.....	27
3.5.	Fatores Físico/Químicos da Compostagem	28
3.5.1.	pH	28
3.5.2.	Temperatura.....	28
3.5.3.	Relação carbono e nitrogênio C/N.....	29
3.5.4.	Aeração.....	30
3.5.5.	Teor de água	31
3.5.6.	Série de sólidos.....	31
3.6.	Mudas nativas	32
3.7.	<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (Pau-Cigarra).....	33
4.	MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1.	Compostagem.....	35
4.2.	Análises físico-químicas do processo de compostagem	37
4.2.1.	pH	37
4.2.2.	Teor de água	37
4.2.3.	Série de Sólidos	38
4.3.	Análises de qualidade do composto.....	39
4.4.	Transplante de mudas	39
4.4.1.	Fatores fitomorfológicos das plantas.....	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1.	Análises físico-químicas do andamento do processo de compostagem.....	43
5.2.	Fatores fitomorfológicos das plantas	47
6.	CONCLUSÃO.....	51

REFERÊNCIAS	52
APÊNDICE A - Cálculos para montagem das pilhas de compostagem.	63
APÊNDICE B - Análise de macronutrientes do produto final da compostagem.	65
APÊNDICE C – Análises estatísticas.....	67

1. INTRODUÇÃO

É inevitável que as atividades antrópicas gerem resíduos, por conta disso, reinserir esses materiais no ciclo econômico é destacado como um dos princípios do desenvolvimento sustentável com alta influência social, econômica e no incremento da qualidade ambiental.

Sendo assim, o gerenciamento dos resíduos sólidos e líquidos produzidos no cotidiano, desde sua geração até seu destino final, é de suma importância para prover o saneamento e, além disso, agregar valor à materiais que seriam descartados (MACHADO; TRANNIN, 2015).

Neste sentido, a Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020 define o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água, esgoto sanitário, limpeza urbana, drenagem e manejo de águas pluviais e o gerenciamento de resíduos sólidos como saneamento básico (BRASIL,2020).

Sendo que destes, o processo de tratamento de esgotos sanitários gera um passivo ambiental no estado sólido, conhecido como lodo de esgoto. Com base no diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, no ano de 2019, o índice de tratamento de esgotos no Brasil chegou a 49,1 % para esgotos gerados e 78,5 % para os esgotos coletados (BRASIL, 2019), o que demonstra a necessidade de um destino adequado para este resíduo.

Outro resíduo sólido urbano gerado em grande quantidade é o proveniente da poda de árvores que, segundo Silva, Renofio e Margutti (2009), deve ser realizada para aumentar a vitalidade do espécime ou reduzir problemas de segurança causados pelos galhos, com isso, são gerados grandes volumes de materiais que apresentam grande problema em seu descarte, pois o mesmo não se compacta, ocupando um grande volume em aterros, reduzindo a sua capacidade e vida útil.

Por conta disso, é fundamental a estruturação de técnicas que possam reinserir estes materiais no ciclo econômico, um exemplo disso é a compostagem, definida pela Lei Federal nº 12.305/2010, como uma destinação final ambientalmente correta para os resíduos sólidos orgânicos (BRASIL, 2010).

Existem alguns fatores que influenciam diretamente na compostagem e em seu produto final, dentre eles pode-se destacar o pH, o teor de umidade, a série de sólidos, a relação de carbono e nitrogênio (C/N), a aeração e a temperatura, sendo de suma importância o manejo correto destes, para que o processo decorra adequadamente e que o produto final seja um composto de qualidade, evitando assim, possíveis danos ao ambiente (VALENTE et al., 2009).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a compostagem do lodo de esgoto e resíduos de poda de árvore triturado, bem como, a qualidade do composto gerado aplicado no desenvolvimento de mudas de *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (Pau-Cigarra).

2.2. Objetivos Específicos

- Obter um composto maturado a partir do lodo de esgoto e poda de árvore triturada.
- Avaliar o andamento do processo por meio de parâmetros físico/químicos de controle e monitoramento.
- Comparar o desempenho do composto e de um substrato comercial no desenvolvimento de mudas de *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (Pau-Cigarra), através de parâmetros fitomorfológicos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resíduos sólidos

Numerosos impactos ao ambiente são ocasionados pela má disposição de resíduos, segundo Moreira et al. (2018), os países em desenvolvimento ainda apresentam os lixões como uma triste realidade, e estes ocasionam maior impacto ambiental quando comparados a aterros sanitários, podendo ainda, desencadear diversos problemas de saúde pública.

Com isso em vista, no Brasil, em 2 de agosto de 2010, foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº 12.305, a qual estruturou o processo de gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil, aliada a responsabilidade compartilhada, ou seja, fabricantes, comerciantes, geradores e órgãos públicos de limpeza urbana participam para que o ciclo de vida dos produtos obrigatoriamente apresente capacidade para reciclagem, e que, quando necessária, a destinação final seja ambientalmente correta (BRASIL, 2010).

Pode-se destacar que, no Brasil, a geração de resíduos sólidos apresentou um aumento no período de 2010 a 2019, passando de 67 para 79 milhões de toneladas por ano. Além disso, na última década, a disposição dos resíduos sólidos em aterros sanitários aumentou em 10 milhões de toneladas, porém, a destinação incorreta destes materiais para aterros controlados ou lixões também aumentou, passando de 25 no ano de 2010 para 29 milhões de toneladas em 2019 (ABRELPE, 2020).

Com isso, é de suma importância a implantação de iniciativas que visem melhorar o gerenciamento dos resíduos, pois, desta forma, além de se incentivar a conservação de recursos naturais, reduzem-se os impactos negativos provocados pela má disposição destes, além de que as frações deixam de ser direcionadas para disposição final, passando por uma etapa de tratamento, o que reduz a utilização dos aterros sanitários com resíduos que ainda apresentam potencial para reciclagem (COUTO; OLIVEIRA, 2019).

De acordo com o Panorama Nacional Dos Resíduos Sólidos, a composição gravimétrica destes materiais gerados no país é formada por 45,3% de matéria orgânica (ABRELPE, 2020). E, conforme afirma Pereira Neto (2007), este alto índice é resultado das diversas atividades industriais, comerciais, domiciliares, dentre outras, realizadas no cotidiano.

Neste sentido, a Lei 12.305/2010 classifica estes materiais quanto à origem e, considerando os objetivos do presente trabalho, podem ser destacados os provenientes dos serviços de limpeza urbana, como as podas urbanas e os originados dos serviços públicos de

saneamento básico, como os lodos de esgoto (BRASIL, 2010), que representam grandes volumes diários de geração

3.2. Lodo de esgoto

O lodo de esgoto é a parcela sólida proveniente das estações de tratamento de esgotos (ETE). Segundo Feron (2018), devido ao crescimento populacional, a produção dos efluentes domiciliares está se tornando cada vez maior, fazendo-se necessária a implementação de mais estações no país, e o objetivo do tratamento do esgoto não deve ser somente o de devolver o efluente líquido com qualidade, mas também, o de eliminar os riscos apresentados pelos subprodutos de todo o processo de tratamento.

Este tratamento consiste em separar as frações sólidas e líquidas por meio de processos unitários físicos, químicos e biológicos, com o intuito de reduzir a carga orgânica presente no esgoto (DAVID, 2002). Os processos físicos são denominados como tratamentos preliminares e um exemplo destes é o gradeamento, utilizado na remoção de materiais em suspensão, que geram uma fração sólida denominada como lodo primário (CHAGAS, 2000).

O tratamento secundário é a aplicação de processos biológicos aeróbios e/ou anaeróbios para remoção da matéria orgânica presente no efluente, este processo é muito realizado através da aplicação da oxidação biológica ou da digestão do esgoto (FERON, 2018). Nesta etapa é gerado o lodo biológico, também denominado como secundário, que pode apresentar quantidade e qualidade variável de acordo com a vazão e as características do esgoto, bem como de acordo com cada tipo de processo (PAULA JUNIOR et al, 2003).

Andreoli et al. (1998) descrevem que no estado do Paraná, os principais reatores empregados no tratamento biológico dos esgotos são os reatores anaeróbios de lodo fluidizado (RALF). Este reator pode ser denominado também como reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), constituído por um equipamento eficiente, moderno, pouco extenso e com investimento mais acessível quando comparado aos sistemas convencionais (FERON, 2018).

Além disso, a mesma autora descreve que a estação pertencente ao município de Francisco Beltrão, realiza o tratamento preliminar (gradeamento e a retirada da areia), e após isso, o material é encaminhado para o RALF, onde um antiespumante é disposto. As frações líquidas deste processo, são encaminhadas para o Rio Marrecas, e as sólidas para um leito de secagem, neste, o material é seco por meio da evaporação e percolação e, após atingir 50% de teor de água, o lodo de esgoto é coberto com cal, processo denominado como calagem, na

proporção de 30% do peso do lote de lodo, após isso, todo o material proveniente da estação de Francisco Beltrão é destinado a agricultura (FERON, 2018).

Bettiol e Camargo (2006) descrevem que o lodo de esgoto é rico em matéria orgânica e nutrientes, no entanto, apresenta diversos contaminantes em sua constituição, como metais pesados e microrganismos patogênicos. Além disso, existem diversas formas de se destinar estes materiais, sendo os fins agrícolas ou florestais as alternativas mais viáveis, por meio do reaproveitamento dos nutrientes disponíveis.

Segundo a Companhia de Saneamento do Paraná (2020), cerca de 40 mil toneladas de lodo foram entregues para agricultores da Região Norte do Estado do Paraná no período de 2011 a 2020. Para a devida aplicação deste resíduo no solo, a Resolução CONAMA 498/2020 define os critérios e parâmetros para o tratamento do lodo de esgoto, para que este torne-se um biossólido e, desta forma, possa ser direcionado para a produção vegetal, levando em consideração o princípio da reciclagem, destacado pela Lei Federal 12.305/2010.

Com isso em vista, a aplicação de lodo de esgoto para produção vegetal apresenta a incorporação de macros e micro nutrientes, porém, nem sempre estes estão disponíveis para plantas a curto prazo, portanto, deve-se conhecer a composição do lodo para a devida obtenção de benefícios agrônômicos, bem como se evitar impactos ambientais negativos (BETTIOL; CAMARGO 2006).

3.3. Resíduos de poda urbana

A arborização urbana é responsável por inúmeros benefícios ambientais, auxiliando na qualidade de vida nas cidades, bem como na saúde mental e física da população (CECCHETTO, CHRISTMANN E OLIVEIRA, 2014). Silva (2019) destaca que a principal contribuição da arborização urbana é o embelezamento que este proporciona e, com isso, há uma agregação de valores ecológicos, psíquicos, sociais e econômicos.

Os resíduos provenientes das atividades de manutenção arbórea urbana, são gerados em grande quantidade nos municípios, e o gerenciamento inadequado, ou até mesmo, a falta deste, ocasionam diversos problemas ambientais, sociais e econômicos. Como por exemplo, a alta demanda por área para disposição dos restos de galhos e folhas, a degradação da paisagem e a poluição do meio, além de ocasionar um aumento no risco de incêndio (MEIRA, 2016).

A mesma autora destaca que este material apresenta alto potencial energético e, além disso, pode ser utilizada como matéria-prima, por exemplo, quando aplicado no processo de compostagem, no entanto, a falta de dados e métodos para quantificação e caracterização destes

dificultam a estruturação de planos de gestão eficientes, sendo assim, estes resíduos acabam sendo desperdiçados.

Assim como Meira (2016), Baratta Junior (2007) descreve que os resíduos de poda possuem grande potencial quando aplicados no processo de compostagem, e o composto pode ser utilizado como substrato na produção de novas mudas, gerando então uma ciclicidade de aplicação deste material, que além disso, deixa de ser um passivo ambiental.

3.4. Compostagem

Uma técnica muito utilizada, que reinsere a fração orgânica dos resíduos no ciclo econômico é a compostagem, também descrita como o processo biológico de reciclagem da matéria orgânica no qual é formando um composto orgânico que pode ser aplicado na produção agrícola em geral (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

A ABNT NBR 13.591/1996 descreve o termo compostagem como a decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, realizada por uma população diversificada de organismo sob aerobiose. Fernandes e Silva (1996) a definem como a biooxidação aeróbia exotérmica para estabilização da matéria orgânica, caracterizada pela produção de gás carbônico, água e a liberação de substâncias minerais.

Os mesmos autores ainda dividem a compostagem em duas fases, sendo a inicial chamada de fase termofílica, na qual há incidência de temperaturas mais elevadas (de 45° a 70° C) por conta de uma maior interação microbiológica na leira, e uma fase mesofílica, na qual o material se mantém com temperatura próxima a do ambiente (abaixo de 40°C), ocorrendo a maturação e humificação do composto.

Segundo Fan et al. (2018), a compostagem é uma alternativa muito viável para países em desenvolvimento por apresentar fácil execução e baixo custo para manutenção do processo quando em comparação à disposição final em aterros. Além disso, reduz o volume e o peso dos resíduos e elimina patógenos e sementes de ervas daninhas (WICKS; KEENER, 2017), transformando o passivo ambiental em adubo orgânico que, quando misturado ao solo, beneficia a produção vegetal (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

Com intuito de constatar-se a estabilização e a maturação do composto, existem alguns fatores físico-químicos a serem monitorados e controlados no decorrer do processo, como o pH, a temperatura, a relação carbono e nitrogênio, a aeração da pilha, a umidade do processo e os sólidos fixos e voláteis (FERNANDES; SILVA, 1996). Além destes, Rynk et al. (1992)

descrevem a mistura, porosidade, estrutura, textura, tamanho de partícula e o tempo como fatores que interferem diretamente no processo de compostagem.

3.5. Fatores Físico/Químicos da Compostagem

3.5.1. pH

Segundo Fernandes e Silva (1996), o pH, quando muito baixo, inibe o desenvolvimento dos microrganismos e, caso a pilha de compostagem apresente potencial hidrogeniônico próximo a 5 ou inferior, o processo pode não ocorrer adequadamente, além disso, na fase mesofílica, o processo pode apresentar uma queda no pH ocasionada pela formação de ácidos orgânicos.

Sendo assim, o processo de compostagem pode ocorrer na faixa de pH de 5,5 a 9, porém, este não apresentará a mesma eficácia quando comparado a processos com o pH próximo a 7, devido ao alto espectro de microrganismos que realizarão a degradação dos resíduos. Sendo assim, por mais que a compostagem apresente variação no pH ao decorrer do processo, o produto final deve aproximar-se a neutralidade, sendo este um indicativo da eficiência do processo (RYNK et al., 1992).

Em contra partida, Cerri et al. (2008) descrevem que o pH, ao fim do processo de compostagem, deve se encontrar entre 7 e 8, considerando valores abaixo destes indicativos de que o composto não está devidamente maturado, tendo em vista a curta duração da compostagem, ou a ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha.

3.5.2. Temperatura

Segundo Rynk et al. (1992), a temperatura é o fator mais importante para a compostagem, por estar diretamente relacionada à atividade microbiológica, sendo assim, este é o principal indicador de início, andamento e fim do processo de compostagem, pois, por meio deste pode-se constatar que o processo está ocorrendo, e ainda pode-se determinar em qual fase este se encontra.

Neste sentido, a fase mesofílica é caracterizada por apresentar temperaturas moderadas de até 40 °C, enquanto na fase termofílica, a composteira atinge temperaturas superiores a 40 °C e, por conta da alta na atividade microbiana, desta forma o material é degradado mais

rapidamente, no entanto, esta etapa pode ocorrer por poucos dias ou por vários meses, devida às condições intrínsecas de cada resíduo (CERRI et al., 2008).

Este parâmetro também é importante por ocasionar a sanitização do composto, o que geralmente é relatada na fase termofílica da compostagem, quando as temperaturas ficam entre 45 °C a 70 °C (FORNES et al., 2012). Os protozoários são eliminados quando expostos a temperaturas de 60 °C por 30 minutos, desta forma é importante o revolvimento da pilha para que todo material alcance as temperaturas indicadas para a devida sanitização do composto orgânico (RYNK et al., 1992).

A resolução CONAMA nº 481/2017 apresenta que o período termofílico da compostagem deve se manter acima de 55°C pelo período de duas semanas, desta forma previne-se e é reduzida a propagação de vetores, como moscas, mosquitos e camundongos; além disso, monitorar e manter as temperaturas em cada estágio de compostagem aumentam as chances de se obter um produto de melhor qualidade e um processo melhor sucedido (CANADÁ, 2019).

Já segundo Conceição (2012), a temperatura é um indicador de maturação do composto, pois quando as pilhas de compostagem apresentarem temperaturas próximas a do ambiente sem grandes variações mesmo com os revolvimentos, indica que o processo de degradação encerrou.

3.5.3. Relação carbono e nitrogênio C/N

Os microrganismos necessitam do carbono para produção de energia e do nitrogênio para síntese de proteínas, por conta disto, a relação C/N é o fator que melhor indica as condições de biodegradabilidade dos resíduos, por outro lado, a falta destes na composteira limitará a atividade de microbiológica no processo de degradação dos materiais (FERNANDES; SILVA. 1996).

Além disso, os mesmos autores indicam que os teores de C/N iniciais ideais para o processo devem situar-se entre 20:1 e 30:1, considerando as particularidades de cada resíduo utilizado no processo. Por outro lado, uma relação carbono e nitrogênio muito alta ou muito baixa implicará diretamente no tempo de compostagem, pois respectivamente o processo será muito lento ou muito rápido, comprometendo o produto final da compostagem (CERRI et al, 2008).

Segundo Rynk et al. (1992), os teores preferíveis de carbono e nitrogênio podem ser considerados de 25:1 a 30:1, sendo que essa razão cai gradualmente durante o decorrer do processo, pois o carbono é convertido na forma de gás carbônico, sendo a perda de carbono

maior do que a perda de nitrogênio. E, mesmo que a relação C/N seja um ótimo parâmetro para a compostagem, também deve se considerar a taxa de decomposição dos materiais, para que o mesmo se adeque ao descrito pela resolução CONAMA 481/2017, de que o processo de compostagem deve garantir que a relação C/N final do composto seja menor ou igual a 20:1.

Para isso, é necessário estruturar a compostagem com a correta proporção de carbono e nitrogênio para que o processo decorra adequadamente, podendo-se realizar a mistura de resíduos de alta C/N, com outro de baixa C/N, para que esta proporção seja equilibrada, sendo que os resíduos de maior relação carbono e nitrogênio são os lenhosos, folhagens e palhas, já os com menor teor são resíduos alimentares, lodos e o estrume (CANADÁ, 2019).

3.5.4. Aeração

Segundo Cerri et al. (2008), O oxigênio é de vital importância para a oxidação biológica do carbono dos resíduos orgânicos, para que ocorra produção de energia necessária aos microrganismos que realizam a decomposição. Sendo que uma fração desta energia é consumida metabolicamente pela microbiota da composteira, já a outra fração é convertida em energia térmica e liberada ao ambiente na forma de calor.

Em casos em que a pilha de compostagem apresente falta de oxigênio, o processo é condicionado à degradação anaeróbia dos resíduos, sendo que desta forma é muito comum o desprendimento de odores pútridos, e ainda uma degradação da matéria orgânica lenta quando comparada ao processo aeróbio (KIEHL, 1998 apud CERRI et al, 2008).

Além destas condições, a oxidação anaeróbia da matéria orgânica emite metano, sendo este um gás de efeito estufa que retém uma maior quantidade de calor no planeta quando comparado ao dióxido de carbono (TREUT E SOMERVILLE., 2007), emitido no processo de degradação aeróbia da matéria orgânica.

Por conta disto, é importantíssimo o revolvimento da pilha de compostagem, principalmente nas etapas iniciais do processo, fase onde os microrganismos realizam a degradação mais ativa e rápida do material. E, independentemente da forma como é realizada a aeração da pilha, seja com um sistema mais sofisticado com bombeamento de oxigênio, ou mais simples, como o revolvimento manual, este fator é imprescindível para o andamento do processo (FERNANDES; SILVA, 1996).

3.5.5. Teor de água

O teor de água da pilha de compostagem é outro fator importante para os microrganismos presentes na composteira. Segundo Fernandes e Silva (1996) e Wicks e Keener (2017), os teores de umidade da pilha de compostagem devem estar situados entre 50 % e 60 %, sendo necessária a devida adequação deste fator para que o processo de compostagem decorra adequadamente; na prática, a aeração está diretamente ligada ao teor de umidade da composteira.

Portanto, caso a umidade da compostagem se encontre acima do valor esperado, é necessário aumentar os revolvimentos da pilha, para que, com maior aeração, este teor venha a ser reduzido. Neste sentido, a presença de muita água no processo também condiciona a pilha para a anaerobiose, logo um processo mais lento (VALENTE et al., 2009). Em contrapartida, teores baixos de umidade inibem o desenvolvimento microbiológico e o processo tende a não decorrer satisfatoriamente (FERNANDES; SILVA, 1996).

3.5.6. Série de sólidos

Os sólidos voláteis (SV) são compostos orgânicos presentes nos materiais, estes são determinados como a porcentagem de material que volatiliza quando aquecidos acima de 540 °C, o material restante são cinzas, denominadas como sólidos fixos. Caso os sólidos voláteis apresentem baixos índices, a temperatura na composteira tende a baixar pela inibição da atividade microbiológica (WICKS; KEENER, 2017).

Ainda segundo os autores, para que ocorra a devida oxidação da matéria orgânica biodegradável, são necessários aproximadamente 2 gramas de oxigênio por grama de sólidos voláteis. Este fator tende a estabilizar à medida que o processo se encaminha para o fim, atuando como indicador da maturação do composto orgânico, ou seja, evidenciando que este está pronto para aplicação na produção vegetal.

Caso o processo de degradação da matéria orgânica seja efetivo, Pereira Neto (2007), descreve que os índices iniciais se situam em cerca de 80% e ao final este valor será reduzido para 40%. Já para Cerri et al. (2008), a redução da matéria orgânica deve se situar em torno de 50% devida degradação de proteínas, celulose e hemicelulose, materiais considerados voláteis.

Além disso, este fator está diretamente interligado aos teores de carbono orgânico total da leira de compostagem, sendo evidenciado no estudo de Vilela (2019) com diferentes sistemas

de aeração, nos quais, os teores de SV iniciais foram de 75% e, após 90 dias de processo, apresentaram-se em cerca de 55%, devida oxidação do carbono na forma de dióxido de carbono.

3.6. Mudanças nativas

O Brasil possui a maior biodiversidade de flora do planeta, as matas nativas destacam-se pela sua importância no ciclo da água. A presença de remanescentes florestais incentiva a infiltração, absorvendo os excessos de água da chuva, dessa forma, evitando o escoamento superficial, principal causador dos assoreamentos (LORENZI, 2008)

Com o aumento da exploração dos recursos naturais, as áreas de remanescente florestal tenderam a diminuir, um exemplo disso é a Mata Atlântica, que foi o primeiro bioma a ser explorado durante a colonização portuguesa no Brasil (SILVA; CASTELLI, 2005) e, mesmo sendo uma das maiores florestas do planeta, apresenta, hoje, somente 12,4 % de seu total natural preservado (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

Implicado principalmente pela extração da vegetação, os processos erosivos começam a ser desenfreados ocasionando aumento no desgaste da superfície terrestre (FERREIRA; SILVA, 2008). Além disso, a degeneração da qualidade dos solos e do ambiente causa impactos socioeconômicos às famílias que mantêm renda proveniente da agricultura, pois, desta forma, a decadência das produções são as principais causas da queda da qualidade de vida destas populações (RIBASKI et al., 2005).

Segundo Ferreira e Silva (2008), o cultivo de espécies florestais de crescimento rápido é lucrativo em solos de menor qualidade (considerados pobres), e pode vir a ser ainda mais vantajoso para o produtor, do que o cultivo agrícola. Porém, o plantio destas culturas exóticas de crescimento rápido deve ser restrito a áreas agrícolas específicas para esta atividade, e jamais em áreas de preservação permanente, ainda mais se o objetivo é a proteção de recursos hídricos (LORENZI, 2008).

O estudo de Ribaski et al. (2005) descreve que as produções de monoculturas apresentam desvantagens nos quesitos proliferação de pragas e doenças, por apresentarem baixa biodiversidade de ecossistema. Sendo que a produção arbórea de espécies exóticas e com fins econômicos jamais poderá comparar-se às funções de equilíbrio ecológico que as matas nativas proporcionam ao ambiente.

Conforme afirmam Ferreira e Silva (2008), existem inúmeros serviços ambientais e benefícios proporcionados pelas florestas nativas, e estes são os principais motivos para a estruturação de programas de desenvolvimento florestal. Porém, os mesmos autores ainda

descrevem as dificuldades para a produção silvicultural de espécies nativas, sem finalidades econômicas, sendo estas onerosas e de difícil aplicação prática, tornando-se necessários estudos para aumento da eficiência e redução de custos destas ações.

Em contra partida, Lorenzi (2008) descreve que a produção de mudas nativas é uma tarefa simples e não requer investimento exorbitantes, podendo ser realizada a nível caseiro ou em maior escala e, independente disso, se houver a manutenção adequada dos parâmetros necessários para o desenvolvimento das mudas, a produção apresentará a devida efetividade.

3.7. *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby (Pau-Cigarra)

A *Senna multijuga* (Rich.) H. S. Irwin & Barneby, popularmente denominada como “pau-cigarra”, é uma planta decídua no inverno, ou seja, perde todas as suas folhas, heliófita dependendo de alta incidência de luz solar, pioneira e indiferente às condições físicas do solo, sendo característica das matas secundárias da floresta pluvial atlântica, sendo rara sua ocorrência no interior de mata primária densa (LORENZI, 2008).

Ainda segundo o autor, o pau-cigarra possui sua floração no período de dezembro a abril, e sua frutificação de abril a junho; sendo este o período o mais indicado para a coleta das sementes, que deve ser realizada diretamente no indivíduo quando estes iniciam sua abertura espontânea, sendo que um quilo de sementes contém cerca de 89 mil unidades.

Destaca ainda que essa espécie é ornamental, devido seu longo período de floração, além disso, por apresentar pequeno porte e copa estreita, é muito empregada na arborização urbana de vias estreitas ou sob fiações elétricas e em parques, e por ser uma espécie pioneira e heliófita, é uma espécie muito indicada para plantio misto em áreas degradadas de preservação permanente.

Para produção das mudas de *Senna multijuga*, o autor cita a necessidade de se levar as sementes para germinação logo após a coleta, em canteiros semi-sombreados, contendo substrato orgânico arenoso; sendo que, para Vence (2008), este substrato pode ser utilizado sozinho ou em combinação com outros, deve proporcionar boa ancoragem, além de suficientes níveis de água e de oxigênio para o desenvolvimento ideal das plantas.

A emergência das plântulas ocorre de 10 a 30 dias e, após dois meses e meio da germinação, as mudas apresentam altura média de 34,5 cm e diâmetro médio de colo de 4,2 mm, e sistema radicular pivotante com abundância de ramificações laterais (AMORIM et al., 2008), sendo que, no estudo de Lorenzi (2008), é descrito que as mudas podem ser plantadas

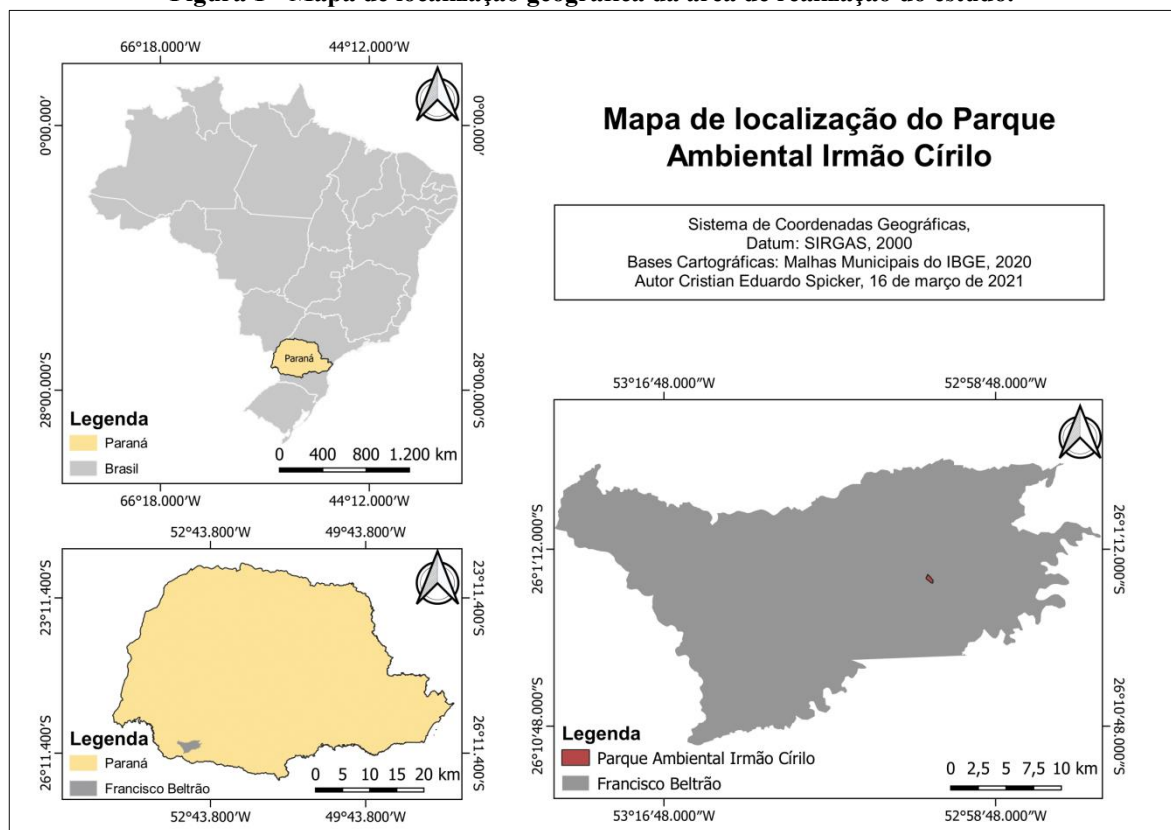
no local definitivo, 4 ou 5 meses após o início do cultivo e estas apresentam crescimento em campo considerado muito rápido.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Compostagem

A compostagem foi realizada no Viveiro Municipal, localizado no Parque Ambiental Irmão Cirilo, apresenta como latitude $26^{\circ} 02' 50''$ S e longitude $53^{\circ} 02' 22''$ W (Figura 01), no município de Francisco Beltrão, no Sudoeste do estado do Paraná, Brasil. Onde são produzidas mais de 40 espécies de mudas arbóreas nativas, que possuem distribuição gratuita para a população (FRANCISCO BELTRÃO, 2020).

Figura 1 - Mapa de localização geográfica da área de realização do estudo.



Fonte: O autor (2021).

O local para realização do experimento e os materiais necessários para execução do processo de compostagem foram cedidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Sendo assim, foi realizada a montagem das pilhas utilizando dois materiais, os resíduos das triturações de galhos provenientes das atividades de podas e manutenções arbóreas da área urbana do município e o lodo de esgoto proveniente da estação de tratamento de Francisco Beltrão. O lodo utilizado é a soma das frações de lodo, seco e calado do reator RALF e do filtro biológico.

A montagem das pilhas (Figura 02) foi realizada considerando a relação C/N do material triturado, levando em conta o descrito por Meira (2010), qual apresenta que a poda urbana possui 41,93 g/kg de carbono e 1,02 g/kg de nitrogênio, ou seja, sua relação C/N é de 41:1, já para o lodo de esgoto, Moretti, Bertoncini e Abreu Junior (2015) descrevem que este material apresenta 140 g/kg de carbono e 35 g/kg de nitrogênio em sua composição, portanto sua relação C/N é de 4:1.

Figura 2 - Pilhas de compostagem.



Fonte: O autor (2021).

Tendo isso em vista, para manter os teores iniciais de carbono e nitrogênio acima de 20 e a baixo de 30, como descritos por Ferreira e Silva (1996), foram utilizados 85 quilos de poda urbana e 18 quilos de lodo de esgoto para montagem das três pilhas de compostagem e, desta forma, a relação C/N inicial do processo foi de 26:1 (Apêndice A).

Após montadas, e partindo do pressuposto de que a compostagem é um processo aeróbio de degradação da matéria orgânica, portanto, é necessária a presença de oxigênio no tratamento, bem como também é fundamental manter o teor de água próximo aos 60% para o correto andamento deste, as pilhas de compostagem foram revolvidas e molhadas semanalmente com o auxílio de enxada, pá e um regador.

Por fim, o processo de compostagem foi considerado como encerrado quando as temperaturas das pilhas de compostagem estavam próximas à temperatura ambiente e não apresentavam grande variação mesmo com o revolvimento, podendo assim, denominar o composto como maturado (CONCEIÇÃO, 2012).

4.2. Análises físico-químicas do processo de compostagem

As análises foram realizadas no Laboratório de Águas e Efluentes da UTFPR, Campus Francisco Beltrão. Visando uma melhor condução do processo de compostagem, foram aferidas diariamente a temperatura ambiente e as temperaturas das pilhas em 4 pontos da pilha de compostagem. Além disso, semanalmente foram realizadas análises do pH e da umidade seguindo a metodologia descrita por Abreu, Andrade e Falcão (2006), também foram realizadas análises dos teores de sólidos seguindo a metodologia descrita por Goldin (1987), modificada por Carmo (2012).

A obtenção das amostras para análise foi realizada seguindo a NBR 10.007/2004, sendo retiradas amostras do topo do centro e da base das pilhas de quatro alíquotas equidistantes, para que desta forma, a amostra represente as condições fidedignas do andamento do processo de compostagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004).

4.2.1. pH

Para as análises do pH das amostras, foram pesadas em balança analítica e em triplicata, cinquenta gramas do material de cada pilha de compostagem em um Becker, então foram adicionados cinquenta mililitros de água deionizada e, após isso, a mistura de água e composto foi agitada por cinco minutos. Por fim, foi mensurado o pH com o auxílio de um pH-metro de bancada devidamente calibrado.

4.2.2. Teor de água

Para determinação do teor de água, foram pesadas, com auxílio de balança analítica, em triplicata, vinte gramas do material de cada pilha de compostagem em cápsulas de porcelana, sendo os pesos da cápsula e da amostra devidamente anotados.

Após isso, as amostras foram levadas para estufa sob uma temperatura de 105 °C por um período de vinte e quatro horas. Por fim, as cápsulas foram pesadas e, a partir das equações 01 e 02, foram mensurados os teores de água de cada pilha de compostagem.

$$mS = mPE - mC \quad (01)$$

$$U(\%) = \left(\frac{(Ai - mS)}{Ai} \right) * 100 \quad (02)$$

Onde:

mS – Massa seca em (g);

mPE – Massa de amostra pós estufa em (g);

mC – Massa da cápsula em (g);

Ai – Amostra inicial de composto em (g);

U – Percentagem de umidade da amostra (%);

4.2.3. Série de Sólidos

Para determinação da série de sólidos, as amostras provenientes do processo de determinação de umidade foram maceradas com auxílio de pistilo, almofariz e peneiradas. Após isso, foram pesadas duas gramas deste material em cadinhos de porcelana, em triplicata com auxílio de uma balança analítica, tendo todos dados devidamente anotados.

Após isto, todos os cadinhos com amostras foram levados à mufla por um período de duas horas, a 550 °C. Por fim, com o auxílio das equações 03, 04 e 05, foram determinados os teores de sólidos totais, fixos e voláteis.

$$ST(\%) = \left(\frac{mPE}{Ai} \right) * 100 \quad (03)$$

$$SV(\%) = \left(\frac{(mPE - mPM)}{mPE} \right) * 100 \quad (04)$$

$$SF(\%) = (ST - SV) \quad (05)$$

Onde:

ST (%) – Percentagem de sólidos totais (%);

SF (%) – Percentagem de Sólidos fixos (%);

SV (%) – Percentagem de Sólidos voláteis (%);

mPE – Massa de amostra pós estufa (g);

mPM – Massa de amostra pós mufla em (g);

Ai – Amostra inicial de composto em (g);

4.3. Análises de qualidade do composto

Para determinação da qualidade do composto obtido pelo processo de compostagem, foram realizadas as análises de carbono orgânico total (COT) e dos macronutrientes NPK. Sendo que as análises de COT foram realizadas a partir dos dados obtidos com os sólidos voláteis, seguindo a metodologia de Goldin (1987) modificada por Carmo (2012), através da equação 06.

$$COT = \left(\frac{SV}{1,8} \right) \quad (06)$$

Onde:

COT – Carbono orgânico total (%);

SV – Índices de Sólidos voláteis (%);

Já as análises dos macronutrientes NPK do composto produzido foram realizadas em laboratório particular e, para isto, as amostras foram coletadas seguindo o método anteriormente descrito da NBR 10.007, sendo a mesma embalada e recipiente de plástico.

4.4. Transplante de mudas

Ao fim do processo de compostagem, o produto final foi testado no desenvolvimento de mudas transplantadas de pau-cigarra, sendo estas cedidas pelo Viveiro Municipal de Francisco Beltrão.

Desta forma, as mudas foram levadas a recipientes com capacidade de 4 litros preenchidos com diferentes misturas de composto orgânico (CO) e solo, bem como, de substrato comercial (SC) e solo (SL), conforme Tabela 1, servindo assim para constatação da efetividade do composto orgânico e para compará-lo com o substrato adquirido pelo Viveiro Municipal.

Tabela 1 - Misturas utilizadas no transplante das mudas de Pau-Cigarra.

Tratamento	Composto orgânico	Tratamento	Substrato comercial
C1	30% solo e 70% CO	S1	30% solo e 70% SC
C2	70% solo e 30% CO	S2	70% solo e 30% SC
C3	50% solo e 50% CO	S3	50% solo e 50% SC
C4	100% CO	S4	100% SC

Fonte: O autor (2021).

O solo utilizado na pesquisa foi obtido no município de Francisco Beltrão (latossolo vermelho), com auxílio de enxada e pá, foi utilizado solo com profundidade de 30 cm, para se evitar possíveis interferências que estas o banco de sementes pode ocasionar no decorrer da pesquisa.

Os tratamentos foram realizados em cinco repetições cada, portanto 40 vasos foram distribuídos espacialmente em um delineamento inteiramente casualizado (Tabela 2), cada um com uma muda de pau-cigarra

Figura 3 - Distribuição dos tratamentos inteiramente casualizados.

S3c	S1a	C3d	C1a	C4e
S1b	C2b	C2c	C2d	C4c
C4a	S4e	C1e	S3a	C3b
S2d	S1d	C2e	S2a	S4d
C3a	C4d	C3e	S1e	C1b
S1c	C1d	S3b	C4b	S2e
C1c	S3d	S4a	C2a	S4b
S3e	S2c	S4c	S2b	C3c

Fonte: O autor (2021).

Como o transplante das mudas foi realizado no início do período de inverno, uma estrutura de bambu foi construída para que, diariamente, as mudas fossem cobertas com telas de sombreamento (Figura 3a e 3b), visando evitar os danos causados pelas fortes geadas, características da região, além disso, as regas das mudas foram realizadas diariamente, excluindo os períodos chuvosos.

Figura 4 - Estrutura para proteção das mudas.

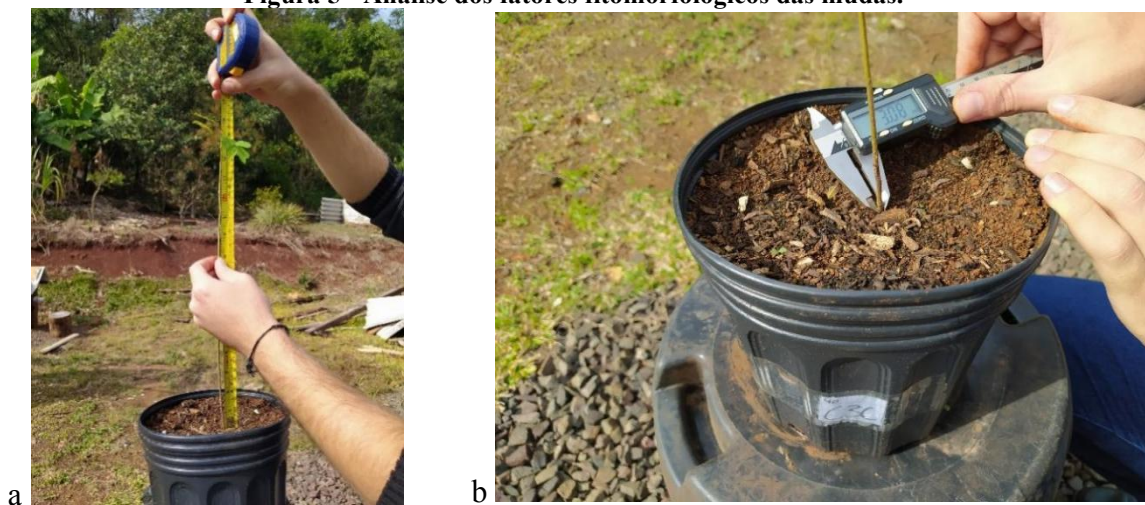


Fonte: O autor (2021).

4.4.1. Fatores fitomorfológicos das plantas

Foram analisados os parâmetros fitomorfológicos das mudas de *Senna multijuga*, sendo altura da parte aérea (ha), diâmetro de coleto (d) semanalmente após o transplante destas para os vasos, conforme o descrito por Becker (2021), sendo a altura da parte área medida com auxílio de uma régua flexível e graduada (Figura 5a), o diâmetro do coleto mensurado com o auxílio de um paquímetro digital (Figura 5b).

Figura 5 - Análise dos fatores fitomorfológicos das mudas.



Fonte: O autor (2021).

Além destes fatores, com o intuito de comparar os diversos tratamentos aplicados, foram realizadas análises de massa seca total (MST), das raízes (MSI) e das partes aéreas (MSA). Para isto, as mudas foram cortadas na altura do coleto e encaminhadas para uma estufa sob temperatura de 65 °C, por um período de 72 horas e, por fim, foram pesadas ambas as partes e realizado o cálculo do índice de qualidade de Dickson através da equação 07 (DICKSON; LEAF; HOSNER, 1960).

$$DQI = \frac{MST}{\frac{ha}{d} + \frac{MSA}{MST}} \quad (07)$$

Onde:

DQI – Índice de qualidade de Dickson;

MST – Massa seca total (g);

ha – Altura da massa aérea (cm);

d – Diâmetro do coleto (mm);

MSA – Massa seca da parte aérea (g);

MSI – Massa seca das raízes (g);

4.5. Análises de dados

Os dados obtidos nas análises físico-químicas dos parâmetros foram tabulados em um editor de planilhas, neste foram confeccionados gráficos para sua apresentação em relação ao tempo em dias de processo de compostagem.

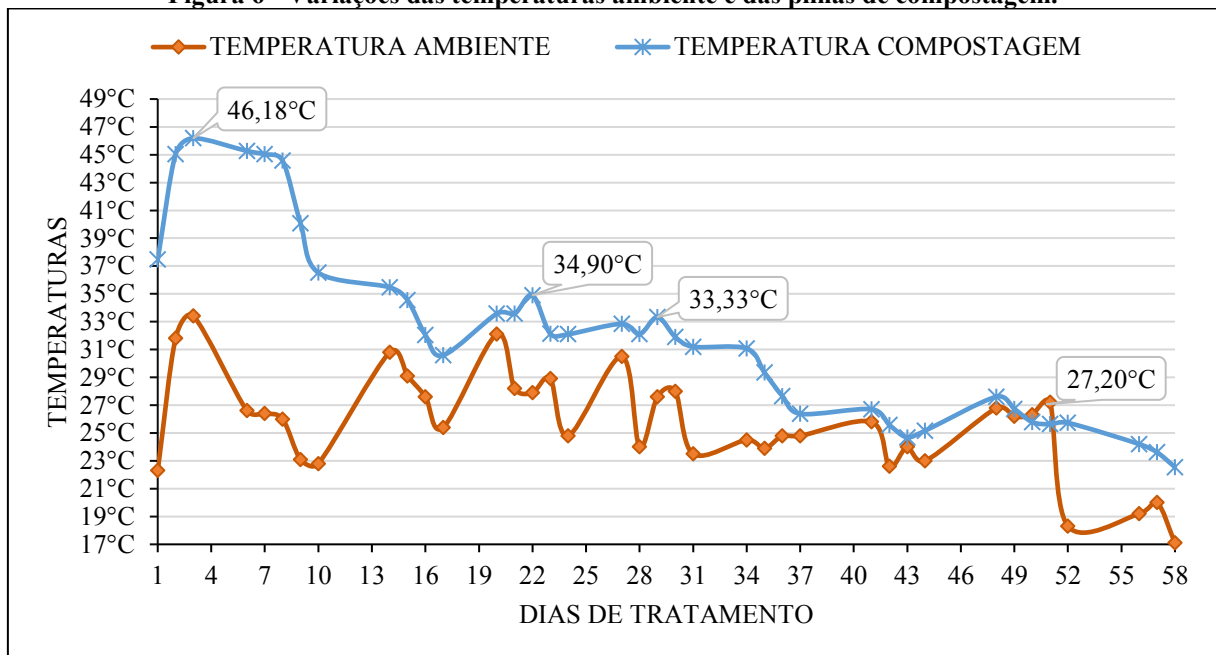
Já para os dados dos parâmetros fitomorfológicos e para o IDQ, foram realizadas análises de variância (ANOVA), o teste de Tukey com nível de significância de 5 %, para comparação das médias. Estas análises foram realizadas com auxílio do software gratuito R studio (R CORE STUDIO, 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análises físico-químicas do andamento do processo de compostagem

As temperaturas das três pilhas de compostagem e ambiente, foram mensuradas por um período de 58 dias, seguindo a periodicidade em que o viveiro municipal se encontrava aberto para visitação. Nos primeiros 10 dias de processo as temperaturas das composteiras apresentaram os maiores valores, alcançando no terceiro dia de processo 46,18°C (Figura 6), indicando que a atividade microbiológica se encontrava na fase termofílica, resultado do metabolismo de degradação da matéria orgânica (HECK et al, 2013).

Figura 6 - Variações das temperaturas ambiente e das pilhas de compostagem.



Fonte: O autor (2021).

Além disso, é possível observar que com os revolvimentos das pilhas, as temperaturas apresentaram pequenos picos de aumento, e isto se deu pois com a inserção de oxigênio nas pilhas houve uma maior atividade de microrganismos aeróbios, gerando calor, logo aumentando a temperatura das composteiras (VALENTE et al. 2009).

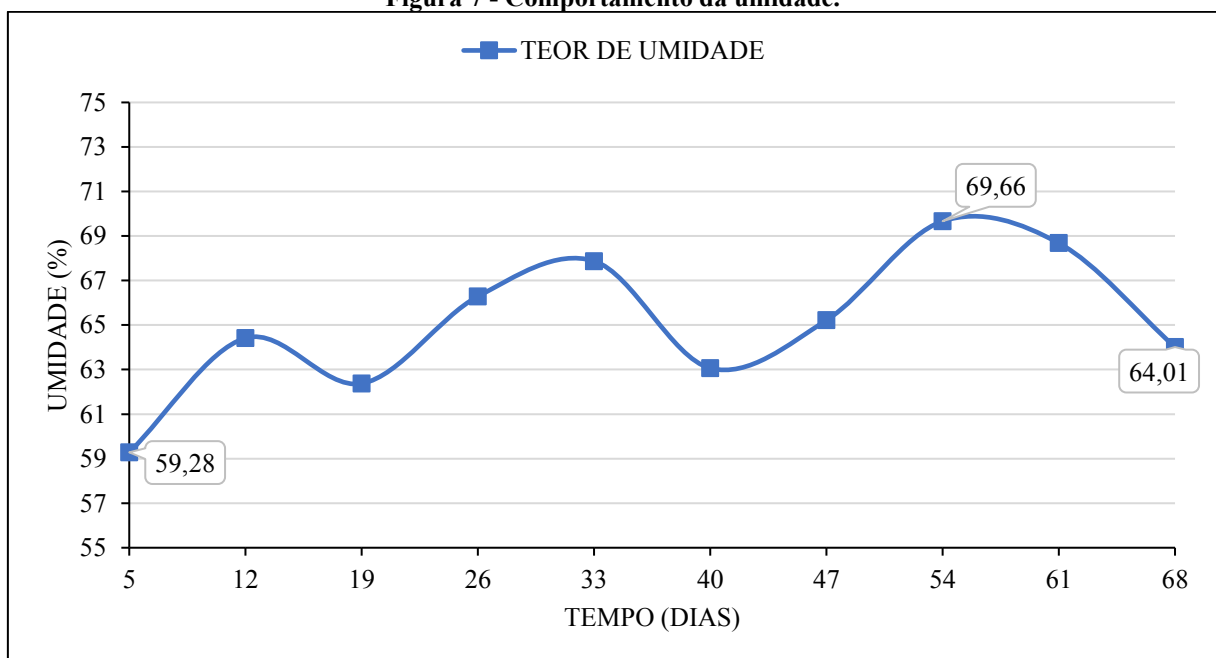
Com o decorrer dos dias de compostagem, foi identificada uma baixa significativa na temperatura das pilhas. Chiarelto e Monzani (2015) observaram o mesmo comportamento em seu estudo, e isso se deu pois o lodo de esgoto utilizado no processo de compostagem é produto de uma ETE qual apresenta um reator anaeróbio de lodo fluidizado (RALF) como parte integrante do processo de tratamento do esgoto, e com isso, a maior fração da carga orgânica

do material é degradada neste período, sendo assim, o lodo apresentava características de estabilização, e uma concentração de matéria orgânica muito baixa e de difícil degradação, impedindo o aumento das temperaturas nas pilhas, como constatação disso, pode ser observado aos 51 dias de processo, que a temperatura ambiente se apresentou acima da temperatura das pilhas.

Estas baixas temperaturas estão diretamente interligadas aos índices de umidade e, assim como no estudo de Margesin et al. (2006), no qual a atividade microbiológica na compostagem do lodo de esgoto foi afetada pelo teor de umidade, o que prejudicou a atividade metabólica dos microrganismos, afetando diretamente a temperatura da composteira e fazendo o processo ocorrer na fase mesofílica.

A figura 6 apresenta os teores de umidade, e é possível identificar que o valor inicial foi de 59,28%, porém, ao decorrer do processo, a umidade se manteve na faixa de 60% e 70%, estando acima das faixas ideais apresentadas por Cerri et al. (2008) e Pereira Neto (2007), o que refletiu nas temperaturas das pilhas de compostagem.

Figura 7 - Comportamento da umidade.

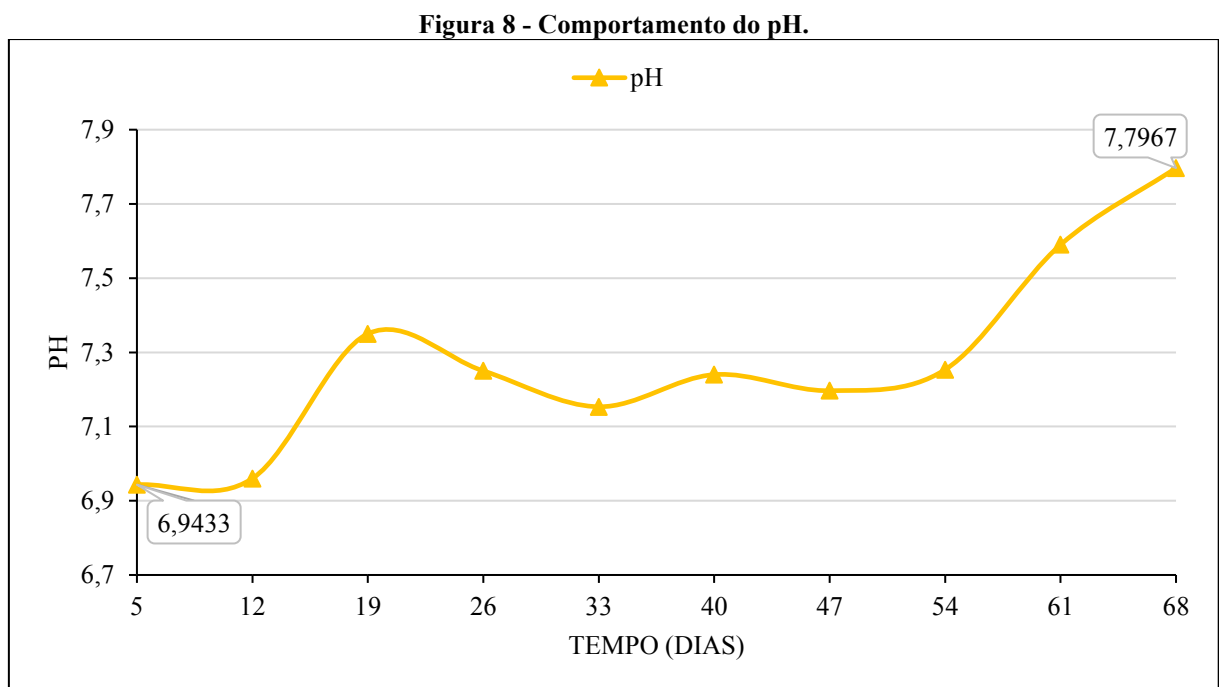


Fonte: O autor (2021).

Os valores iniciais do pH das pilhas de compostagem (Figura 7), se encontravam próximos a neutralidade, em 6,94. Gradativamente, com o andamento do processo, os teores foram oscilando demonstrando pequenos aumentos e reduções. Essa oscilação nos valores do pH das pilhas também foi observada no estudo de Chiarelotto e Monzani (2015). Após os 54 dias de processo, é observado um aumento no pH causado pelas reações dos ácidos orgânicos

com as bases liberadas pela matéria orgânica (BRASIL, 2009) e, com isso, ao fim da compostagem o pH foi de 7,79.

Sendo indicado que o pH do mesmo seja mantido acima de 5,5 para que não ocorra a mobilização dos metais pesados quando o composto for disposto no solo, para que estes não venham a ser absorvidos pelas plantas ou fiquem disponíveis ao ambiente em quantidades que apresentem risco (BETTIOL E CAMARGO, 2006).

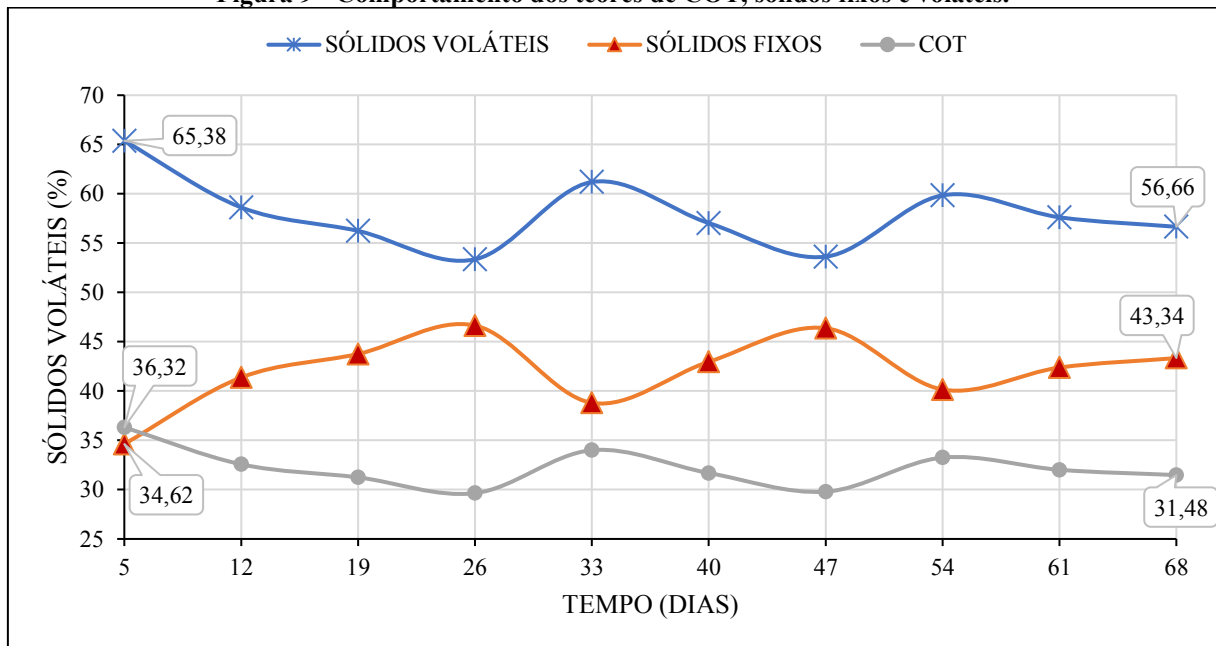


Fonte: O autor (2021).

Os teores de sólidos voláteis e fixos da compostagem apresentaram um comportamento conforme o descrito por Queiroz (2007), pois com a degradação da matéria orgânica a fração de sólidos voláteis diminuiu e, inversamente a isso, o percentual de sólidos fixos aumentou (Figura 8), desta forma, o decréscimo dos sólidos voláteis foi de 8,72%, tendo o mesmo resultado para o crescimento dos sólidos fixos.

Este comportamento também foi observado no estudo de Becker (2020), e isso se dá pois o lodo utilizado na montagem da compostagem apresentava características de estabilização e sua carga orgânica já havia sido degradada anteriormente no processo de tratamento do esgoto.

Figura 9 - Comportamento dos teores de COT, sólidos fixos e voláteis.



Fonte: O autor (2021).

Assim como no estudo de Queiroz (2007), o teor de umidade elevado condicionou o processo para que a degradação da matéria orgânica fosse baixa, afetando o desenvolvimento dos microrganismos aeróbios e, conseqüentemente, dificultando a degradação da matéria orgânica, fazendo a compostagem ocorrer fora das condições ideais de processo.

Como o carbono orgânico total é calculado utilizando os valores de sólidos voláteis obtidos no método da mufla, aliado a um fator de conversão descrito por Goldin (1987) modificado por Carmo (2012), o comportamento deste índice apresentou semelhança a variação do SV nas pilhas de compostagem.

A redução dos teores de COT foram de 4,84%, e assim como os teores de SV apresentaram uma baixa taxa de degradação do composto proveniente do lodo de esgoto, o que também foi observado no estudo de Moretti, Bertoncini e Abreu Junior (2015), e se dá pois o esgoto é submetido a tratamentos anaeróbios, os quais degradam os materiais decomponíveis, restando no lodo, em maior fração, os compostos recalcitrantes e de difícil decomposição.

O estudo de Becker (2020) também constatou uma baixa degradação do material, ocasionada pelo material que já apresentava condições de degradado antes mesmo da montagem do experimento, ressaltando ainda que essa condição também pode ter sido ocasionada pela relação C/N ter sido estimada inadequadamente.

As análises dos macronutrientes NPK (Apêndice B) apresentaram que o composto produzido apresentou 23,7g/kg de nitrogênio, 4,53 g/kg de fósforo e 3,5g/kg de potássio. Utilizando o valor médio de 31,47%, equivalente a 314,76g/kg de COT obtido ao final da

compostagem, determinou-se que a relação C:N final da compostagem foi de 13,8 atendendo ao descrito por Cerri et al (2008) de que o produto final deve apresentar a relação carbono e nitrogênio entre 10 e 15.

Tabela 2 - Qualidade final do composto orgânico.

Parâmetro	Composto orgânico final
pH	7,79
Teor de água	64,01%
SV	56,66%
SF	43,34%
COT	31,48%
N	23,7 g/kg
P	4,53 g/kg
K	3,5 g/kg
Relação C/N	13,8

Fonte: O autor (2021).

A tabela 2 apresenta as características finais do composto orgânico produzido. Além disso, a Resolução CONAMA 498/2020, define como biossólido o produto final obtido a partir do tratamento do lodo de esgoto, descrevendo a compostagem como um processo de redução significativa de patógenos e classificando o composto obtido como um biossólido de classe B, com potencial para aplicação em espécimes arbóreos e pastagens, levando em consideração as devidas restrições estipuladas pela resolução.

5.2. Fatores fitomorfológicos das plantas

A análise estatística (Apêndices C, D, E, F e G) demonstrou não haver diferenças significativas entre os tratamentos, nos fatores diâmetro de coleto (dc), altura de parte aérea (ha), massa seca da parte aérea (mas), massa seca das raízes (msi) e no índice de qualidade de dickson (iqd), indicando que estes parâmetros apresentam comportamento das semelhante (Tabela 3).

Tabela 3 - Médias dos diâmetros de coleto (dc), altura da parte aérea (ha), massa seca da parte aérea (msa), massa seca das raízes (msi) e índice de qualidade de dickson (iqd) das mudas de pau-cigarra.

Tratamento	dc mm	ha cm	msa g	msi g	iqd
C1	2,748 a	26,14 a	2,354 a	2,142 a	0,443 a
C2	2,642 a	31,92 a	2,370 a	1,994 a	0,346 a
C3	2,688 a	33,78 a	2,534 a	2,216 a	0,359 a
C4	2,786 a	31,78 a	2,272 a	2,290 a	0,373 a
S1	2,894 a	27,76 a	2,346 a	2,196 a	0,439 a
S2	2,714 a	29,66 a	2,414 a	2,178 a	0,389 a
S3	2,630 a	26,30 a	2,228 a	2,042 a	0,409 a
S4	2,498 a	27,60 a	2,418 a	2,106 a	0,374 a
CV (%)	18,35	21,95	12,42	13,15	29,76

Fonte: O autor (2021). Onde: C1 - 30% solo e 70% CO, C2 - 70% solo e 30% CO, C3 - 50% solo e 50% CO, C4 - 100% CO, S1 - 30% solo e 70% SC, S2 - 70% solo e 30% SC, S3 - 50% solo e 50% SC, S4 - 100% SC. Letras igual indicam médias sem diferença estatística ao nível de 5% de variância no teste de Tukey.

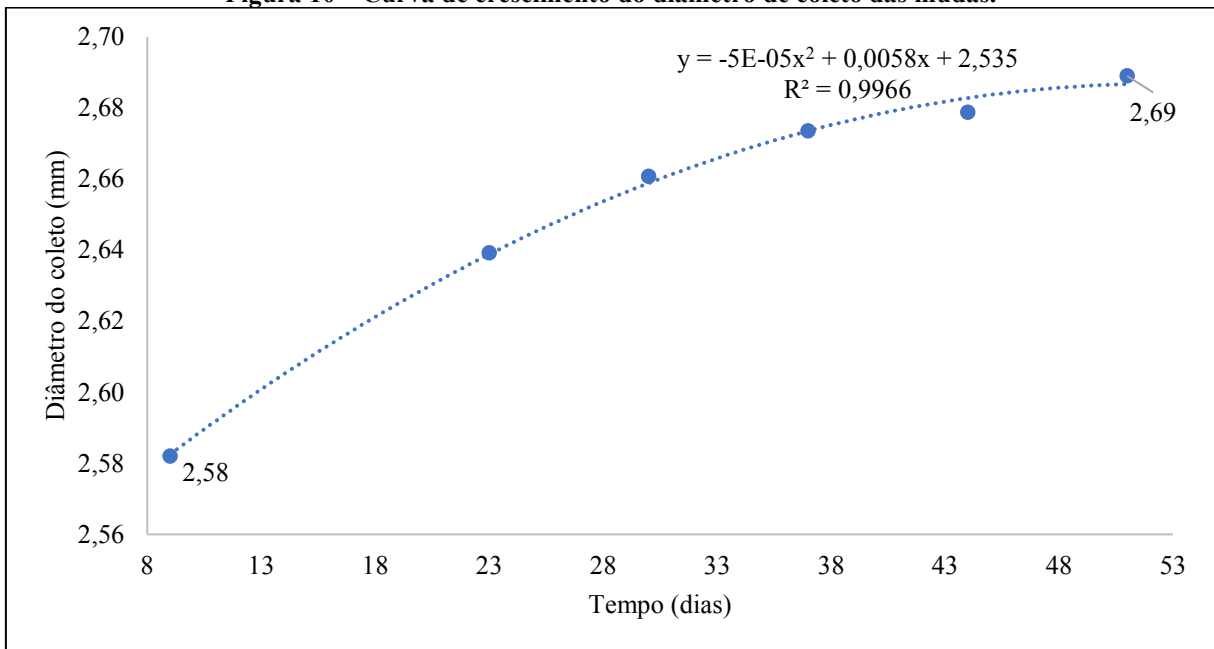
Considerando que não houve diferença significativa entre os tratamentos, optou-se por realizar um estudo de regressão, com o intuito de verificar o comportamento da altura da parte aérea e diâmetro de coleto das mudas, determinando uma equação representativa da curva de crescimento para ambos os parâmetros, sendo a equação quadrática a que melhor se ajustou aos dados.

Com base na equação (Figura 10), foi possível determinar o diâmetro da muda no início do experimento, sendo este o valor de 2,54 mm e levando em conta que aos 51 dias de estudo, o diâmetro do coleto experimental foi de 2,69 mm, o crescimento total para este parâmetro no período total de estudo foi de 0,15 mm.

Pinto et al. (2017) estudaram o crescimento de mudas de craibeira (*Tabebuia aurea*), e identificaram um crescimento lento no diâmetro de coleto e na altura de parte aérea para o período de 42 dias, sendo assim, o crescimento do diâmetro de coleto das mudas de pau-cigarra pode ser considerado como normal, levando em consideração que ambas são espécies pioneiras.

Ainda em relação aos diâmetros de coleto, o período de maior desenvolvimento ocorreu durante o 9° e 23° dia, apresentando um crescimento de 0,057 mm (Figura 10). A partir do 23° até o 51° dia, as mudas apresentaram 0,049 mm de crescimento, notando-se uma redução no índice de crescimento no período final do estudo.

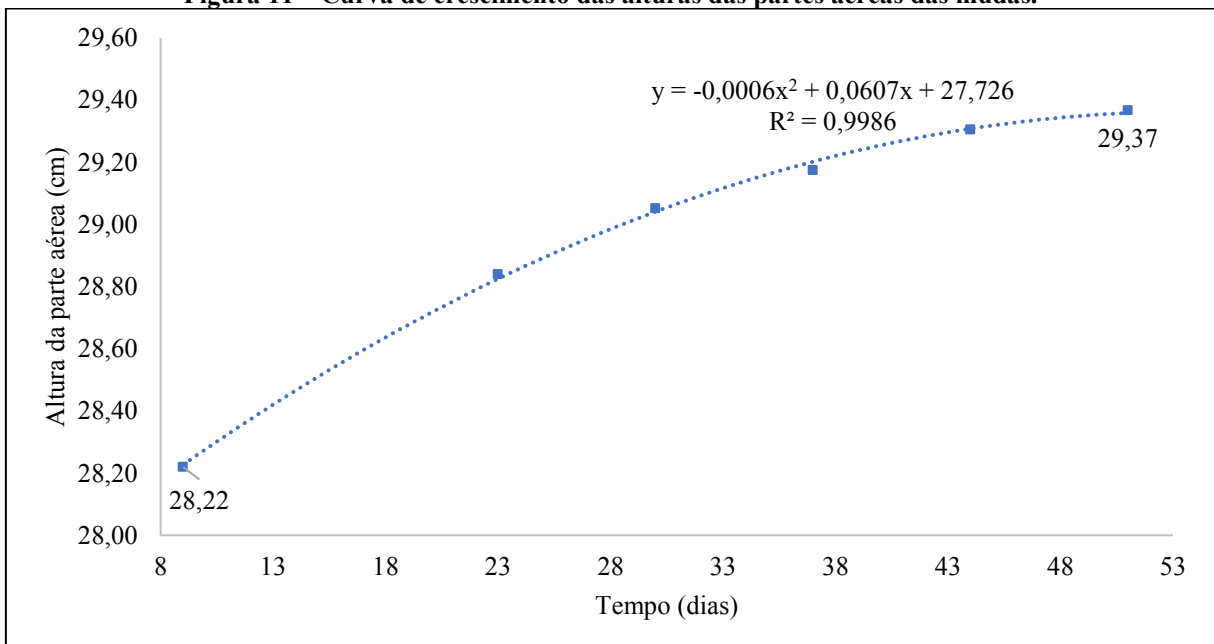
Figura 10 – Curva de crescimento do diâmetro de coleto das mudas.



Fonte: O autor (2021).

Assim como para o diâmetro de coleto, a altura da parte aérea do início do experimento também foi determinada por meio da curva de regressão, sendo este o valor de 27,73 cm. Aos 51 dias de experimento, a altura da parte aérea das mudas foi de 29,37 cm (Figura 11), portanto, o crescimento no período de estudo foi de 1,644 cm, ressaltando o descrito por Pinto et al. (2016), e indicando que a espécie em estudo apresenta um crescimento inicial mais lento do que as espécies avaliadas nos estudos de Kock (2019) e Becker (2020).

Figura 11 – Curva de crescimento das alturas das partes aéreas das mudas.



Fonte: O autor (2021).

A altura da parte aérea das mudas apresentou comportamento muito similar ao diâmetro de coleto, sendo que ambos os parâmetros apresentaram uma taxa maior de crescimento nas primeiras duas semanas (14 dias iniciais), com uma redução na taxa de crescimento no período final do estudo.

Quanto ao índice de qualidade de Dickson, a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes, o composto orgânico, produzido da mistura de lodo de esgoto e resíduos de poda urbana, apresentou resultados estatisticamente iguais aos do substrato comercial (Tabela 3), evidenciando a eficiência de ambos para a produção de mudas de pau-cigarra.

Comportamentos semelhantes foram observados nos estudos de Kock (2019) e de Becker (2020), onde os autores, testaram compostos orgânicos produzidos a partir de esterco bovino no desenvolvimento de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*) e canafistula (*Peltophorum dubium*) respectivamente, utilizando diferentes proporções de composto orgânico e solo, bem como, substrato comercial e solo.

Os autores chegaram a resultados nos quais os tratamentos desenvolvidos com compostos orgânicos se igualavam ou até mesmo superavam os tratamentos desenvolvidos com substratos comerciais, destacando a compostagem de resíduos sólidos orgânicos como uma excelente estratégia para a redução dos custos da produção de mudas.

Sendo assim, como as mudas de pau-cigarra apresentaram desenvolvimento estatisticamente igual em todos os fatores analisados e em todos os tratamentos, comprova-se que o composto orgânico produzido a partir do lodo de esgoto junto ao material triturado de poda urbana pode ser empregado como substrato, contribuindo para o desenvolvimento das mudas da mesma forma que o substrato comercial, sendo que o mesmo comportamento foi observado no estudo de Chiarelto e Monzani (2015), que testaram o composto produzido a partir do lodo de esgoto em mudas de angico-vermelho e pau-jacaré.

6. CONCLUSÃO

O processo de compostagem do lodo de esgoto e resíduo de poda triturada produziu um composto maturado com potencial para produção das mudas de pau-cigarra, dando destinação adequada ao lodo de esgoto e ao resíduo de poda urbana, anteriormente denominados como passivos ambientais.

Os parâmetros fitomorfológicos avaliados demonstraram que o composto de lodo de esgoto e resíduo de poda triturado pode ser utilizado para a produção de mudas de pau cigarra sem comprometer seu desenvolvimento, apresentando resultados estatisticamente iguais aos do substrato comercial estudado.

A utilização do composto produzido a partir da mistura de lodo e poda de árvore triturada, apresentou-se tão eficiente quanto o substrato comercial avaliado, com o benefício de gerar um sistema cíclico de reinserção da matéria orgânica proveniente da manutenção dos indivíduos arbóreos na produção de novas mudas.

No entanto, são necessários estudos mais aprofundados para se obter maiores informações quanto ao produto final da compostagem de lodo e poda triturada, bem como, quanto a utilização deste na produção de mudas, aumentando o tempo de estudo para melhor caracterizar o desenvolvimento dos indivíduos arbóreos.

REFERÊNCIAS

ABRELPE, **Panorama dos resíduos sólidos no brasil 2020**, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020. 52 p. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso 23 fev. 2021.

ABREU, M. F. de; ANDRADE, J. C. de; FALCÃO, A. de A. Protocolos de análises químicas. In: ANDRADE, J. C. de; ABREU, M. F. de, (ed.). **Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais**. Campinas -SP: Instituto Agrônômico, 2006. Cap. 9. p. 121-158. Disponível em: <<https://econtents.bc.unicamp.br/omp/index.php/ebooks/catalog/book/109>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

AMORIM, I. L.; DAVIDE A. C; FERREIRA R. A; CHAVES M. M. F. Morfologia de frutos, sementes, plântulas e mudas de *Senna multijuga var. lindleyana* (Gardner) H. S. Irwin & Barneby – *Leguminosae Caesalpinioideae*. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 507-516, set. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbb/v31n3/a14v31n3.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2021.

ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERREIRA, A.C.; BONNETT, B.R.P.; PEGORINI, R.C.K.I.A. **Gestão dos Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico**. Engenharia e Construção. Curitiba, set. 1998, n. 24. Disponível em: <http://www.sanepar.com.br/Sanepar/Gecip/Congressos_Seminarios/Lodo_de_Esgoto/gestao_biossolidos_ETEs.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 13.591: Compostagem – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1996, 4 p. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-13.591Compostagem.pdf>. Acesso em: 27 out. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004, 21 p. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf>. Acesso em: 27 out. 2021.

BARATTA JUNIOR, A. P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. 62 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/pgcaf/pdfdt/Dissertacao%20Alamir%20Baratta.pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

BARBOSA, R. P.; IBRAHIN, F. I. D. **Resíduos Sólidos: impactos, manejo e gestão ambiental**. São Paulo: Érica, 2014. 176 p.

BECKER, A. **Uso de composto orgânico de dejetos bovinos associado com poda urbana no cultivo de Canafístula (*Peltophorum dubium*)**. 2021. 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR. Francisco Beltrão, 2021.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. A disposição de lodo de esgoto em Solo Agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. de. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna (SP): Embrapa Meio Ambiente, 2006. Cap. 2. p. 23-35. Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/download/LivroLodoEsgoto.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, p. 3-8, 03 ago. 2010. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/7190459/pg-3-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-03-08-2010?ref=goto>> Acesso em: 23 fev. 2021.

BRASIL, Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, p. 1-8, 16 jul. 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7> Acesso em: 23 fev. 2021.

BRASIL, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. **Ministério do Desenvolvimento Regional - Secretaria Nacional de Saneamento – SNS**, Brasília, DF, 2020, 183 p. Disponível em:

<<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>> Acesso em: 23 fev. 2021.

BRASIL. Fundação nacional de Saúde. **Compostagem familiar**. Brasília: Funasa, 2009. 16 p. Disponível em: <https://administracao.mppr.mp.br/arquivos/File/ManualFUNASA.pdf>. Acesso em: 24 out. 2021.

CANADÁ. Upland Agricultural Consulting. British Columbia Ministry of Agriculture (org.). **On-Farm Composting**: In British Columbia. Victoria: Upland Agricultural Consulting Ltd., 2019. 42 p. Disponível em: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/agriculture-and-seafood/agricultural-land-and-environment/waste-management/manure-management/composting_guide.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.

CARMO, D. L.; SILVA, C; Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, ago. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n4/15.pdf>. Acesso em: 22 de abr. 2021.

CECCHETTO, C. T; CHRISTMANN, S. S; OLIVEIRA, T. D. Arborização urbana: importância e benefícios no planejamento ambiental das cidades. In: Seminário Internacional do Mercosul, 16., 2014, Cruz Alta. **Anais**. Cruz Alta: UNICRUZ, 2014. 13 p. Disponível em: <https://www2.ufrb.edu.br/petmataatlantica/images/PDFs/ARTIGO---ARBORIZACAO-URBANA-IMPORTANCIA-E-BENEFICIOS-NO-PLANEJAMENTO-AMBIENTAL-DAS-CIDADES-1.PDF>. Acesso em: 21 out. 2021.

CERRI, C. E. P; OLIVEIRA, E. C. A. de; SARTORI, R. H; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Apostila da disciplina de matéria orgânica do solo. ESALQ, Piracicaba, SP, 2008. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf. Acesso em: 22 abr. 2021.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da penha no estado do Rio de Janeiro**. 102 f. Dissertação (Mestrado) Fundação Oswaldo Cruz, ENSP, 2000. Disponível em:

<<http://portalteses.iciet.fiocruz.br/pdf/FIOCRUZ/2000/chagaswfm/capa.pdf>>. Acesso em 24 jul. 2021.

CHIARELOTTO, M.; MONZANI, V. F. **Eficiência de compostos de resíduos orgânicos no crescimento de espécies arbóreas**. 2015. 59 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/6942>. Acesso em: 24 out. 2021.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. Sede Administrativa (org.). **Programa de uso agrícola do lodo de esgoto completa 10 anos em Maringá**. 2020. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/noticias/programa-de-uso-agricola-do-lodo-de-esgoto-completa-10-anos-em-maringa>. Acesso em: 24 abr. 2021.

CONAMA. Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017. **Diário oficial da união**. Seção 1, Brasília, DF, 09 out. 2017. v. 194, p. 93-94. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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: 20 jul. 2021.

CONAMA. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. **Diário oficial da união**. Seção 1, Brasília, DF, 21 ago. 2020. v. 161, p. 265-269. Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CONCEIÇÃO, P. S da. **Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização**. 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Geotecnia; Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012. Disponível em: <https://locus.ufv.br//handle/123456789/3770>. Acesso em: 27 out. 2021.

COUTO, C. V. O; OLIVEIRA, A. J. Análise dos copos descartáveis após 100 anos de uso. In: 7º SUSTAINABLE DESIGN SYMPOSIUM, 2019, Recife. **Anais Pilar Econômico**. São Paulo: Blucher Design Proceedings, 2019. v. 6, p. 478-489. Disponível em:

<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/7dsd/3.1.044.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2021.

DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio.** 151 f. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-30042003-131628/pt-br.php>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1 mar. 1960. Canadian Institute of Forestry. Disponível em: <https://pubs.cif-ifc.org/doi/10.5558/tfc36010-1>. Acesso em: 29 abr. 2021.

ELOY, E; CARON, B. O; SCHMIDT, D; BEHLING, A; SCHWERS, L; ELLI, E. F. **Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos.** Floresta, v. 43, n. 3, p. 373, 13 set. 2013. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v43i3.26809>. Acesso em: 28 out. 2021.

FAN, Y. V; CHEW T. L; JIŘÍ J. K; LEE, S. C; MOHAMAD R. S; CHEE, W. L. Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. **Journal of Environmental Management**, v. 216, p. 41-48, jun. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.019>>. Acesso em 18 mar. 2021.

FERNANDES, F; SILVA, S. M. C. P. Programa de Pesquisa em saneamento Básico: **Manual prático para a compostagem de Biossólidos**, UEL Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 1996. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf. Acesso em 22 abr. 2021.

FERON, G. **Avaliação do tratamento e da destinação do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto do município de Francisco Beltrão/PR.** 2018. 186 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Programa de Pós-Graduação, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão-Pr, 2018. Disponível em:

[http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3727/5/Disserta%
c3%a7%
c3%a3o%20Gabriela%20Feron_Completa.pdf](http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3727/5/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Gabriela%20Feron_Completa.pdf). Acesso em: 25 jul. 2021.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. O. **Formação de Povoamentos Florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 109 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/302664/formacao-de-povoamentos-florestais>. Acesso em: 25 abr. 2021.

FORNES, F; DAICY, M. H; DE-LA-FUENTE, R. G; ABDAD, M; BELDA, R. M. Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. **Bioresource Technology**, Valência, v. 118, p. 296-305, ago. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852412007729?via%3Dihub>. Acesso em: 22 abr. 2021.

FRANCISCO BELTRÃO, Prefeitura Municipal de. Secretaria de Meio Ambiente. **Meio Ambiente orienta sobre distribuição de mudas**. Francisco Beltrão, PR, 2020. Disponível em: <http://www.franciscobeltrao.pr.gov.br/meio-ambiente/meio-ambiente-orienta-sobre-distribuicao-de-mudas/>. Acesso em: 09 mar. 2021.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **ATLAS dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. São Paulo: ARCPLAN, 2019. 65 p. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Disponível em: https://especiais.gazetadopovo.com.br/wp-content/uploads/sites/19/2019/05/23120219/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf. Acesso em: 25 abr. 2021.

GOLDIN, A. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111–1116, 11 out. 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103628709367886>. Acesso em: 22 abr. 2021.

HECK, K.; MARCO, É. G. de; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; SAND, S. T. van Der. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 54-59, jan. 2013. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013000100008>. Acesso em: 24 out. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha municipal digital do Brasil. Paraná.** 2020 Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 15 mar. 2021.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** 171 p. Piracicaba, 1998.

KOKC, M. L.; **Uso de substrato compostado de cama de aviário no desenvolvimento de Ilex paraguariensis.** 43 p. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11463>. Acesso em: 21 ago. 2021.

LORENZI, H.; **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**, vol. 1, 5ª Ed. Nova Odessa (SP): Instituto Plantarum, 2008. (384p.) ISBN 85-86714-31-3.

MACHADO, L. R. D.; TRANNIN, I. C. B. Agricultural potential of an industrial sewage sludge in compliance with CONAMA Resolution no. 375/2006: **Revista Cultural e Científica da Universidade Estadual de Londrina**, Londrina, PR, v. 36, n. 6, Sup. 2, p. 4177-4184, 2005. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/19001/17537>>. Acesso em: 12 mar. 2021.

MARGESIN, R.; CIMADOM, J.; SCHINNER, F. Biological activity during composting of sewage sludge at low temperatures. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Austria, v. 57, n. 2, p. 88-92, mar. 2006. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2005.12.001>. Acesso em: 24 out. 2021.

MEIRA, A. M. **Gestão de Resíduos da Arborização Urbana.** 2010. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",

Universidade de São Paulo - USP, Piracicaba, 2010. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19042010-103157/publico/Ana_Maria_de_Meira.pdf. Acesso em: 22 jun. 2021.

MONTEIRO, G; CARON, B; BASSO, C. J; ELOY, E; ELLI, E. F. Avaliação de substratos alternativos para produção de mudas de alface. **Enciclopédia Biosfera**, [S.L], v. 8, n. 14, p. 140-148, maio 2012. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3847>. Acesso em: 28 out. 2021.

MOREIRA, A. J. G; GOMES, J. C; CASTILHO JUNIOR, A. B; MENDONÇA, J. de B. Aplicação de ferramenta de apoio à decisão para diagnóstico e recuperação dos lixões de RSU na Ilha de Santiago – Cabo Verde. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, Curitiba, v. 7, n. 3, p. 365, 20 ago. 2018. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/8589>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MORETTI, S. M. L; BERTONCINI, E. I; ABREU JUNIOR, C. H. Decomposição de lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto em Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1796-1805, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20150082>. Acesso em: 22 jun. 2021.

PAULA JUNIOR, D. R; MORAES, L. de M; CHERNICHARO, C. A. de L; PONTES, P. P; CASSINI, S. T; GONÇALVES, R. F; BELLI FILHO, P; SOARES, H. M. Estabilização Anaeróbica de Lodos. In: CASSINI, Sérgio T. (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Cap. 3, Rio de Janeiro: ABES, RiMA, 2003. 210p. p. 53-93. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/ProsabStulio.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo** – ed. rev. e aum.- Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. (81p.). ISBN 978-85-7269-317-2.

PINTO, J. R. de S; DOMBROSKI, J. L. D; FREITAS, R. M. O. de. **Crescimento e índices fisiológicos de *Tabebuia aurea (Manso) Benth. & Hook.*, sob sombreamento no semiárido**. Floresta, v. 46, n. 4, p. 465, 2 jan. 2017. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v46i4.42665>. Acesso em: 23 out. 2021.

R CORE TEAM (2019) R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>

RIBASKI, J; DEDECEK, R. A; MATTEI, V. L; FLORES, C. A; VARGAS, A. F. C;
RIBASKI, S. A. G. **Sistemas Silvistoris: Estratégias para o Desenvolvimento Rural Sustentável para a Metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul**. Colombo: (Comunicado Técnico n° 150) Embrapa Florestas, 2005. 8 p. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37775/1/com-tec150.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

RITTER, M. N.; THEY, N. H.; KONZEN, E. **Introdução ao software estatístico R**. Imbé: Centro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos (CECLIMAR), 2019. 110 p. Disponível em:
https://professor.ufrgs.br/sites/default/files/matiasritter/files/apostila_introducao_ao_r_-_ritter_they_and_konzen.pdf. Acesso em: 27 abr. 2021.

RYNK, R; KAMP, M. V; WILLSON, G. B; SINGLEY, M. E; RICHARD, T. L; KOLEGA, J. J; GOUIN, F. R; LALIBERTY JUNIOR, L; KAY, D; MURPHY, D. W; HOITINK, H. A. J; BRINTON, W. F. **On-Farm Composting Handbook**. Nova York: Northeast Regional Agricultural Engineering Service - NRAES, 1992. 186 p. Disponível em:
<https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/67142/NRAES-054.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 abr. 2021.

SILVA, J. M. C.; CASTELLI, C. H. M. Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: GALINGO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. **Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas**. Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005. p. 43-60. Disponível em:
<http://ecologia.ib.usp.br/ecovegetal/leituras/CapituloVEstadodabiodiversidadedaMataAtlanticabrasileira.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

SILVA, L. M. Reflexões sobre a identidade arbórea das cidades. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 3, n. 3, p. 65-71, 30 abr. 2019. Universidade Federal

do Paraná. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v3i3.66368>. Acesso em: 21 out. 2021.

SILVA, M. J. D; RENOFIO, T. C. Z; MARGUTTI, M. C. A Reutilização dos Resíduos das Podas de Árvores e o Levantamento Regional dos tipos de Árvores. **Simpósio Internacional de Ciências Integradas da Unaerp Campus Guarujá**. Guarujá - SP, 2009. Seção 3, p. 1-10. Disponível em: <https://www.unaerp.br/sici-unaerp/edicoes-anteriores/2009/secao-3-5/1119-a-reutilizacao-dos-residuos-das-podas-de-arvores-e-o-levantamento-regional-dos-tipos-de-arvores/file>. Acesso em: 20 jul. 2021.

TREUT, H. L; SOMERVILLE, R. Historical Overview of Climate Change Science. In: CHANGE, Intergovernmental Panel on Climate (org.). **AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis**: contribution of working group to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge (UK) e New York (USA): Cambridge University Press, 2007. Cap. 01. p. 93-128. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4-wg1-chapter1.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

VALENTE, B. S; XAVIER, E. G; MORSELLI, T. B. G. A; JAHNKE, D. S; BRUM JUNIOR, B. de S; CABRERA, B. R; MORAES, P. de O; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba (ESP), v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009. Disponível em: <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/download/5074/3285>. Acesso em: 12 mar. 2021.

VENCE, L. B. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. **Revista Ciencia del Suelo**: Revista de la Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Buenos Aires, v. 26, n. 2, p. 105-114, dez. 2008. Disponível em: http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_26n2/26-2%20Vence.pdf. Acesso em: 27 abr. 2021.

VILELA, N. M. S. **Comparação dos métodos de compostagem por leiras estáticas aeradas e por reviramento no tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2019. Disponível em:

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/26802/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2021.

WICKS, M.; KEENER, H. Manure Processing Technologies: 3.3 composting. In: KEENER, H. et al. **Technical, Environmental and Economic Assessment of Manure Processing Technologies**. Wooster: Ohio Composting and Manure Management (OCAMM), The Ohio State University (OSU) - College of Food, Agricultural, and Environmental Sciences, 2017, 10 p. Disponível em: <https://ocamm.osu.edu/sites/ocamm/files/imce/Manure/MM-Resources/MPT_3.3_composting.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2021.

APÊNDICE A - Cálculos para montagem das pilhas de compostagem.

Cálculos para montagem das pilhas de compostagem.

PILHA 01								
Tipo	C (%)	N (%)	C:N	Qtde (Kg)	% relativa	C em Kg	N em Kg	C/N Final
Lodo	14,00	3,50	4,0	17,41	17,3	2,437	0,609	26
Poda	41,93	1,02	41,1	83,427	82,7	34,981	0,851	
Total	-			100,837	100	37,418	1,460	
PILHA 02								
Tipo	C (%)	N (%)	C:N	Qtde (Kg)	% relativa	C em Kg	N em Kg	C/N Final
Lodo	14,00	3,50	4,0	17,68	17,5	2,475	0,619	26
Poda	41,93	1,02	41,1	84,065	83,4	35,248	0,857	
Total	-			101,745	101	37,724	1,476	
PILHA 03								
Tipo	C (%)	N (%)	C:N	Qtde (Kg)	% relativa	C em Kg	N em Kg	C/N Final
Lodo	14,00	3,50	4,0	17,145	17,0	2,400	0,600	26
Poda	41,93	1,02	41,1	85,565	84,9	35,877	0,873	
Total	-			102,71	102	38,278	1,473	

APÊNDICE B - Análise de macronutrientes do produto final da compostagem.

Análise de macronutrientes do produto final da compostagem.

Determinação	Elemento	Resultado (g/kg)
Nitrogênio	N	23,70
Fósforo	P	4,53
Potássio	K	3,50

Análise realizada no Laboratório SOLANÁLISE Central e Análises LTDA.

APÊNDICE C – Análises estatísticas.

Anova para os valores de diâmetro de coleto.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F.	P-Valor
Tratamento	7	0,4837	0,069103	0,28138	0,95663
Resíduos	32	7,8587	0,245584		
Total	39	8.3424			

Anova para os valores de altura da parte aérea.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F.	P-Valor
Tratamento	7	287,13	41,018	0,98695	0,45801
Resíduos	32	1329,94	41,561		
Total	39	1617,07			

Anova para os valores de massa seca da parte aérea.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F.	P-Valor
Tratamento	7	0,30832	0,04404	0,50936	0,82056
Resíduos	32	2,76712	0,086472		
Total	39	3,07544			

Anova para os valores de massa seca das raízes,

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F.	P-Valor
Tratamento	7	0,32347	0,046210	0,58032	0,7666
Resíduos	32	2,54812	0,079629		
Total	39	2,87159			

Anova para os valores dos índices de qualidade de Dickson.

	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado médio	Estat. F.	P-Valor
Tratamento	7	0,04522	0,0064606	0,47516	0,84527
Resíduos	32	0,43509	0,0135966		
Total	39	0,48032			