

## ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIE NATIVA EM COMPOSTO OBTIDO A PARTIR DO LODO DE ETA

### **Roberta Bueno Martins<sup>(1)</sup>**

Graduanda de Engenharia Ambiental na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Campus de Presidente Prudente – SP, (FCT - UNESP/2020). Bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/2021).

### **Rosane Freire Boina<sup>(2)</sup>**

Graduada em Engenharia Ambiental (FCT - UNESP/2007). Mestre (2010) e Doutora (2013) em Engenharia Química (UEM). Experiência na área Gestão, Preservação e Controle Ambiental. Professora Assistente Doutora (2013) do Departamento de Química e Bioquímica da FCT - UNESP - Campus de Presidente Prudente - SP.

### **João Marcos Madeira Rodrigues<sup>(3)</sup>**

Graduando de Engenharia Ambiental na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Campus de Presidente Prudente – SP (FCT - UNESP/2022).

### **Raphaela Ferraz Freitas<sup>(4)</sup>**

Graduanda de Engenharia Ambiental na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Campus de Presidente Prudente – SP (FCT – UNESP/2019). Bolsista de Iniciação Científica (FAPESP/2023).

### **Douglas Henrique Sales<sup>(5)</sup>**

Licenciado em física pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Campus de Presidente Prudente – SP (FCT – UNESP/2022). Mestrando em Ciência e Tecnologia de Materiais pela FCT - UNESP - Campus de Presidente Prudente - SP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Roberto Simonsen, 305 – Centro Educacional – Presidente Prudente - SP - CEP: 19060-900 - Brasil - Tel: +55 (16) 98265-3228 - e-mail: [roberta.bueno@unesp.br](mailto:roberta.bueno@unesp.br)

## RESUMO

No processo de potabilização da água bruta para atendimento público é gerado o Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA), um resíduo, cuja destinação final é um desafio para as empresas de saneamento. Este trabalho objetivou a produção de um composto a partir do resíduo da ETA, a fim de testar a sua aplicação no desenvolvimento do Angico Branco. Para tanto, foi realizada a compostagem dos resíduos verdes, hortifruti e LETA por 40 dias, e no final do processo, o composto foi caracterizado quanto a sua composição química e características típicas (cor, cheiro e textura). O composto foi incorporado em solo (0%, 10%, 20%, 30% e 40%), totalizando 25 tratamentos para o plantio. Foram feitas análises biométricas (altura e diâmetro) quinzenalmente. Aos 141 dias de acompanhamento, foi realizado o cálculo das massas úmidas e secas (parte aérea e raiz). O composto apresentou cor, textura, umidade e cheiro típicos de um composto orgânico. A incorporação do composto interferiu desfavoravelmente no desenvolvimento na parte aérea (até 45 dias) e no diâmetro do coleto (até 30 dias), posteriormente, pouco interferiu nas medidas biométricas. Assim, as dosagens do composto obtido a partir do lodo da ETA não trouxe prejuízos para desenvolvimento das mudas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo da ETA, compostagem, espécie nativa.

## 1. INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é parte indispensável do sistema de abastecimento de água para a população em qualquer município. O crescimento populacional, advindo do processo de urbanização, tem requerido uma demanda crescente de água de boa qualidade, bem como a necessidade de tratamento de um maior volume dela. As técnicas e processos empregados pelas empresas de saneamento visam transformar a água bruta em água potável apropriada para consumo humano, “atendendo o padrão potabilidade da água estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021” Brasil (2021). Como resultado das etapas de coagulação, floculação, decantação e filtragem em uma ETA convencional, tem-se a geração de um resíduo sólido, denominado Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA). Segundo a ABNT (10.004/2004) “o lodo da ETA é classificado como Resíduo Sólido pertencente a Classe IIA, não inerte, com solubilidade em água.” A quantificação do volume de lodo gerado é fundamental para um efetivo gerenciamento e uma destinação final adequada. Segundo Ahmad; Ahmad e Alam (2016, p. 1), “estima-se que uma ETA convencional produz cerca de 100.000 toneladas de lodo anualmente.”



O lodo de ETA apresenta uma composição variada que depende do seu manancial de captação. Segundo Figueiredo-Neto (2011, p. 17) “o lodo é constituído por compostos químicos resultantes do processo de adição de coagulantes no tratamento, partículas inorgânicas como argila, silte, areia, colóides de cor e outros materiais orgânicos.” Para Hoppen; Portella; Joukoski; Trindade e Andreoli (2006), alguns metais como, cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo, manganês e, principalmente, o alumínio presentes no lodo de ETA possuem ações tóxicas. Nesse sentido, a sua destinação final é um desafio enfrentado pelas empresas de saneamento, visto que é considerado um passivo ambiental. Para a minimização dos impactos do descarte do lodo de ETA, há alternativas de destinação adequada seguindo as diretrizes da Lei Federal nº 12.305/2010 que dispõe a PNRS (BRASIL, 2010), estabelecendo a não geração, redução, reutilização e o tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final adequada dos rejeitos.

Algumas alternativas de destinação final ambientalmente adequada são descritas por diversos pesquisadores. Pode ser empregado como fertilizante (ABRAÃO, 2016), para recuperação de áreas degradadas (ANDRADE; SILVA e OLIVEIRA, 2014), fabricação de produtos cerâmicos e cimentícios (SANTOS; CRUZ; RITER e SILVA, 2019), reciclagem de coagulantes (DANDOLINI, 2014), no desenvolvimento de cultivos agrícolas (SANTOS, 2021) e espécies nativas (FIGUEIREDO-NETO, 2011). Além dessa, Takada, Serra, Mafra e Borba (2013) sugerem o uso do LETA, no processo de compostagem, em um sistema de leiras com restos vegetais, resíduos sólidos domésticos e bio-sólidos. No entanto, de acordo com Bitencourt; Souza; Frazão; Apolari e Monteiro (2020), o lodo de ETA não contém características físicas que o torne um resíduo capaz de ser compostado sozinho, desta forma, apresenta potencial para ser misturado com outros resíduos (KIEHL, 2012).

Assim, o presente trabalho objetivou a produção de um composto orgânico, a partir de lodo de ETA, aplicando-o em solo visando analisar o efeito de dosagem no desenvolvimento da espécie nativa, Angico Branco. Espera-se apresentar uma alternativa de destinação final ambientalmente adequada para o lodo da estação de tratamento de água, propondo a compostagem como uma opção capaz de produzir resultados satisfatórios e gerar um produto passível de ser aplicado em solos.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho foi produzir um composto orgânico a partir do lodo de estação de tratamento de água, viabilizando a sua disposição em solo, contendo doses do composto para o desenvolvimento do Angico Branco.

Para isso, fazem-se necessários os seguintes objetivos específicos:

- Caracterização do lodo e os resíduos orgânicos quanto aos aspectos físicos e químicos fundamentais para o processo de compostagem;
- Monitoramento do processo de compostagem;
- Caracterização do solo para o desenvolvimento da espécie nativa;
- Caracterização do composto formado quanto aos atributos químicos;
- Verificar as variações biométricas e morfológicas das mudas em diferentes doses do composto incorporado ao solo.

## **3. METODOLOGIA**

O presente estudo foi realizado nas dependências da Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente, FCT – UNESP, no Laboratório de Caracterização e Gestão de Resíduos Sólidos (LCGRS) e no Laboratório de Águas, Águas Residuais e Reuso (LAARR).

Os principais ensaios realizados neste trabalho compreenderam a coleta do lodo de ETA (LETA) na empresa de saneamento, preparo das amostras do lodo *in natura* (LETAIN), caracterização do LETAIN e solo aplicado. Além destes, o preparo do processo de compostagem, caracterização do composto e, por fim, aplicação do composto em diferentes proporções com o solo empregado a fim de avaliar seu efeito no desenvolvimento do Angico Branco.

### **3.1 COLETA E OBTENÇÃO DO LODO SECO E PULVERIZADO**

O resíduo foi proveniente da Estação de Tratamento de Água municipal, fornecido gentilmente pela empresa de saneamento. Nesta empresa, o tratamento de água é do tipo convencional que emprega o policloreto de alumínio (PAC) como coagulante e um polieletrólito não iônico como um auxiliar de coagulação, dependendo da qualidade da água bruta. As amostras de lodo foram coletadas no momento de limpeza (manual) dos decantadores, pela equipe da própria empresa e acondicionadas em bombonas de polietileno (20L) para o transporte. Foram realizadas 3 coletas, ao longo do mês de abril de 2022.

Foi separado uma parte do lodo homogeneizado para ensaios específicos, como a umidade e teor de sólidos. Para os demais ensaios de caracterização e para uso em compostagem, o lodo passou por adensamento gravitacional simples constituído por uma manta geotêxtil não tecido ( $105\text{g/m}^2$ ) em ambiente aberto e livre de incidência solar (Figura 1). Após o adensamento, o lodo foi encaminhado para uma estufa de circulação forçada a  $100^\circ\text{C}$ , até que fosse observada a ausência de umidade. Posteriormente, os torrões de lodo foram moídos manualmente por meio de um almofariz de porcelana (Chiarotti 1-1160). O material destorroado foi pulverizado em um micronizador (Marconi, modelo MA 360) em razão da permanência de alguns blocos agregados. Dessa forma, o material seco final foi denominado de Lodo de Estação de Tratamento de Água (LETA) (Figura 2).

**Figura 1 - Adensamento gravitacional do lodo em meio filtrante (geotêxtil)**



Fonte: A autora, 2022.

**Figura 2 – Lodo de Estação de Tratamento de Água seco e pulverizado**



Fonte: A autora, 2022.

### **3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE LODO DE ETA**

As amostras de lodo da estação de tratamento de água separadas, sem deságue, foram submetidas à análise umidade e de teor de sólidos, resíduo fixo e resíduo volátil, seguindo a metodologia descrita pela NBR 10.664/1989 - Método J, Método L e Método M.

Para o processo de caracterização do teor de sólidos, as amostras de lodo bruta, de aproximadamente 29 g foram transferidas para as cápsulas de porcelana, previamente pesadas, e levadas para a estufa de circulação forçada a  $\pm 100^{\circ}\text{C}$  para a eliminação total da umidade (Figura 3). Após esse processo, foi obtido o resíduo total (Figura 4). Para a determinação do resíduo fixo, as amostras dos resíduos totais obtidos anteriormente foram submetidas à calcinação a  $550^{\circ}\text{C}$  em forno mufla (Figura 5). Por fim, o resíduo volátil foi calculado pela diferença dos pesos do resíduo total e fixo.

**Figura 3 – Amostra de lodo bruto, sem deságue**



Fonte: A autora, 2022.

**Figura 4 – Resíduo total obtido após estufa a  $\pm 100^{\circ}\text{C}$**



Fonte: A autora, 2022.

**Figura 5 - Resíduo fixo após ser submetido à calcinação a  $550^{\circ}\text{C}$**



Fonte: A autora, 2022.

A composição química elementar das amostras dos resíduos foi determinada por espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX), em equipamento Shimadzu (EDX-7000).

### **3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS PARA A COMPOSTAGEM**

As amostras dos resíduos hortifruti, verdes (poda e capina) e lodo de ETA foram caracterizadas em relação a umidade, matéria orgânica, carbono orgânico e relação C/N. A metodologia realizada seguiu o trabalho desenvolvido por Zotesso (2013).

Inicialmente, as amostras de resíduos hortifruti passaram pelo método de quarteamento, visando a redução de massa e representatividade da composição.

Para a determinação da umidade das amostras (%), as amostras dos resíduos de hortifruti (Figura 6), resíduos verdes (Figura 7) e lodo de ETA (Figura 8) foram pesados em torno de 20 g (exceto os resíduos verdes que foi necessário ser 5 g, devido ao seu volume), em cápsulas de porcelana, com massa aferida e previamente preparada. Em sequência, foram levadas à estufa a  $100^{\circ}\text{C}$ , até peso constante, resfriados em dessecador e

posterior pesagem em balança para a efetuação dos cálculos. A determinação da umidade seguiu o método gravimétrico (ou da secagem em estufa) obtido pela diferença do peso amostral fresco e seco.

**Figura 6 – Amostras dos resíduos de hortifruti levados à estufa a  $\pm 100^{\circ}\text{C}$**



Fonte: A autora, 2022.

**Figura 7 – Amostras dos resíduos verdes levados à estufa a  $\pm 100^{\circ}\text{C}$**



Fonte: A autora, 2022.

**Figura 8 – Amostras do resíduo lodo de ETA levados à estufa a  $\pm 100^{\circ}\text{C}$**



Fonte: A autora, 2022.

Após esse processo, as amostras foram submetidas à calcinação em forno mufla ( $550^{\circ}\text{C}$ ) para a obtenção do percentual de matéria orgânica (%), conforme representado na Figura 9.

**Figura 9 – Amostras dos resíduos após ser submetido à calcinação a  $550^{\circ}\text{C}$ .**

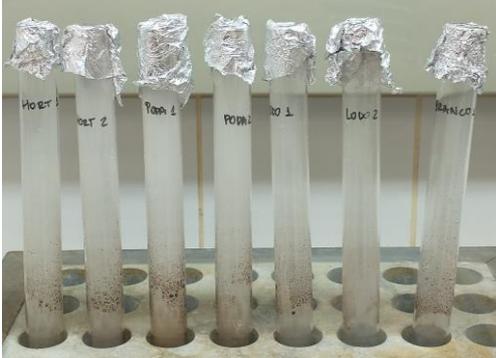


Fonte: A autora, 2022.

A partir do teor de matéria orgânica obtido foi possível calcular o percentual de carbono total da amostra utilizando-se o fator de 1,8. Zotesso (2013), “o fator de conversão 1,8 é explicado ao assumir a quantidade de 55 % de carbono na fração volátil.”

Para a determinação do percentual de nitrogênio, obedeceu ao método de clássico de Kjeldahl (orgânico e amoniacal) realizado em três etapas e em duplicata. A primeira etapa, a digestão, se configura na presença de ácido sulfúrico concentrado, a quente, com produção de sulfato de amônio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) para a decomposição dos compostos nitrogenados (Figura 10).

**Figura 10 – Etapa da digestão quente para determinação do teor de nitrogênio**



Fonte: A autora, 2022.

Na etapa de destilação (Figura 11), foi formado o borato de amônio  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{BO}_3$  pela adição de ácido bórico em um destilador de nitrogênio da marca Marconi (MA – 036).

**Figura 11 – Etapa da destilação**



Fonte: A autora, 2022.

Por fim, a etapa de titulação utilizou o ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), com fator de correção conhecido para a determinação do teor de nitrogênio das amostras (%), representando na Figura 12.

**Figura 12 – Etapa da titulação usando o ácido sulfúrico**



Fonte: A autora, 2022.

### 3.4 PREPARO DA COMPOSTAGEM

O processo de compostagem foi realizado em três etapas: montagem das composteiras, monitoramento e caracterização do composto formado:

### 3.4.1 MONTAGEM DAS COMPOSTEIRAS

A compostagem ocorreu em pequena escala. Foram confeccionadas e montadas três composteiras domésticas. Cada uma continha dois baldes com capacidade de 20 L, empilhados verticalmente (Figura 13). No primeiro balde de cada composteira foram incorporados os resíduos e o segundo balde ficou destinado para a coleta do chorume, percolado resultante da decomposição da matéria orgânica. Em relação a montagem da estrutura, o primeiro balde das composteiras foram furados no fundo com diâmetro de aproximadamente 2 mm para que o líquido pudesse escorrer livremente até II balde. Para a circulação de ar, o I balde foi furado na lateral com diâmetro aproximado de 2 mm. O local de instalação das composteiras foi protegido contra chuva e incidência solar, permanecendo por um período de 40 dias.

**Figura 13 – Composteiras domésticas montadas**



Fonte: A autora, 2022.

O procedimento de preparo das composteiras foi realizado e monitorado durante os meses de julho e agosto de 2022. De acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), é o período de inverno na região Sudeste. Nesta estação, as temperaturas são climatologicamente amenas e a principal massa de ar recorrente é a frente fria (CPTEC, 2022).

Para a determinação das proporções adequadas de cada resíduo foi aplicado a planilha CompostCalc disponibilizada pela Embrapa (2018) produzida por Marco Leal com o objetivo de calcular percentuais de matérias-primas que serão utilizadas na compostagem para estabelecer uma relação C/N 30:1.

Deste modo, foram adicionados nas seguintes proporções mássicas: resíduo hortifruti (25 %), resíduos verdes (50%) e lodo de ETA (25 %), com objetivo de produzir uma composteira com capacidade de 1 kg. Além disso, foi realizado a suplementação de ureia (10 m/v). A suplementação é algo comum durante o processo de compostagem sendo previsto dentro do estudo. Esta adição também foi utilizada por Zied; Minhoni; Kopytowski-Filho; Arruda e Andrade (2009) na compostagem de resíduos de cana-de-açúcar.

Os resíduos foram cedidos pela Central Estadual de Abastecimento (CEASA) do município. Na composição desses resíduos foram encontrados restos e cascas de verduras, legumes e frutas (Figura 14). Os resíduos hortifruti foram cortados e picados manualmente em pequenos pedaços para o aumento da superfície de contato (Figura 15). Em relação aos resíduos verdes foram empregados a poda do capim colônia (*Panicum Maximum Jacq*) e folhas secas de árvores diversas.

**Figura 14 – Resíduos hortifruti coletados no CEASA do município**



Fonte: A autora, 2022.

**Figura 15 – Resíduos hortifruti após serem cortados e picados**



Fonte: A autora, 2022.

Foi utilizado um inóculo comercial a base dos microrganismos *Lactobacillus plantarum* e *Saccharomyces cerevisiae* (Embiotic Compostagem - Korin), preparado nas proporções estabelecidas pelo fabricante de 30 mL para cada 1 kg da mistura dos resíduos.

### **3.4.2 O MONITORAMENTO**

A aeração, visando a garantia de oxigenação no interior das composteiras, ocorreu por revolvimento manual, 3 vezes por semana, nos primeiros 10 dias, e posteriormente, quando observada a necessidade. Foram feitas 13 aerações durante a realização do experimento.

A fim de manter a umidade em torno de 40 a 60 %, conforme recomenda Kiehl (2012), foi adicionado água destilada às composteiras a cada 2 dias e, posteriormente, houve a necessidade de intercalar os dias, de forma a acompanhar o período de aeração.

A temperatura foi monitorada duas vezes por dia (manhã e tarde) durante o processo de compostagem, empregando um termômetro de mercúrio (Incoterm - 5003). No 10º dia de monitoramento, foi necessário realizar a suplementação de ureia (10 m/v) seguido de revolvimento manual para obter a relação C/N 30:1.

### **3.4.3 CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO**

Para avaliação da viabilidade de uso como composto orgânico no solo foram feitas análises de composição química elementar por meio de Fluorescência de Raios-X (FRX), em equipamento Shimadzu (EDX-7000). Além disso, a verificação da Instrução Normativa nº 61, de julho de 2020 em termos de composto orgânico (BRASIL, 2020).

### 3.5 AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE ESPÉCIE NATIVA EM COMPOSTO DE LETA

A espécie vegetal nativa utilizada para a análise do efeito da aplicação do composto orgânico no solo foi a *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan, popularmente conhecida como Angico Branco. As mudas desta foram disponibilizadas, gentilmente, pela Associação de Recuperação Florestal do Pontal do Paranapanema – Pontal Flora.

O Angico Branco foi cultivado em quintuplicata, em recipiente de plástico do tipo Polietileno Tereftalato (PET) de 200 ml, considerando diferentes porcentagens do composto orgânico, incorporados em solo com: 10% (T1), 20% (T2), 30% (T3), 40% (T4) e mais um tratamento testemunha (0 %) do composto. Totalizando 25 tratamentos.

O experimento ocorreu em espaço adequado para o desenvolvimento das mudas, contando com telas de sombreamento contra o excesso de sol e calor. A irrigação foi realizada manualmente, diariamente. Os tratamentos foram distribuídos pelo local de maneira aleatória com o intuito de uniformizar os efeitos provocados pela incidência solar/sombreamento, ventos, temperatura e umidade local (Figura 16).

**Figura 16 - -Distribuição dos tratamentos pelo espaço para o desenvolvimento do Angico Branco**



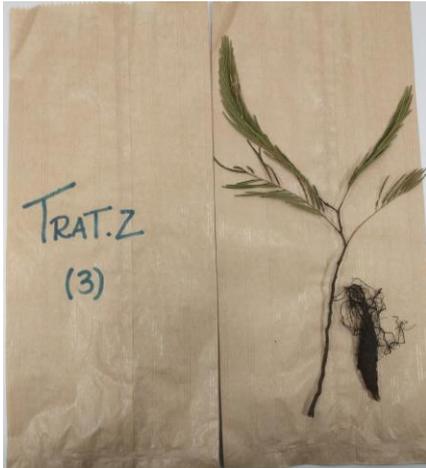
Fonte: A autora, 2022.

Para avaliação do desenvolvimento da espécie nativa, foram realizadas análises biométricas no momento do plantio e quinzenalmente ao longo do período de cultivo até a finalização em 141 dias. Os principais parâmetros biométricos analisados foram a altura da parte aérea (cm) e o diâmetro do coleto (mm) com a utilização de uma trena e um paquímetro, respectivamente.

Esta análise de crescimento tem sido utilizada na tentativa de explicar as diferenças no crescimento, de ordem genética ou resultante de modificações do ambiente (PEIXOTO, 1998).

Após os 141 dias de cultivo, foi realizado a segregação das mudas (parte aérea e raiz) para a medição da massa verde (MV) e massa seca (MS), conforme representado na Figura 17. A MV foi determinada de modo direto em balança analítica, já a massa seca foi determinada após secagem em estufa a 65 °C até atingir peso constante, conforme metodologia descrita por Bataglia; Furlani; Teixeira; Furlani e Gallo (1978).

**Figura 17 – Angico Branco separado em parte aérea e sistema radicular após a estufa**



Fonte: A autora, 2022.

### 3.6 ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados foi realizada em vista do composto produzido e as dosagens aplicadas (0, 10, 20, 30 e 40%) quanto ao valor de IDQ obtido, de forma individual. Testes de comparação de médias foram desenvolvidos para verificar a existência de diferença significativa entre os fatores de variação. Foi empregado a análise de variância (ANOVA) a 95% de confiabilidade. Teste Tukey a 5% de significância foram aplicados considerando o efeito do desdobramento do composto sobre as dosagens aplicadas. As análises de dados foram realizadas no software Sisvar®.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LETA E SOLO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos da fração sólida (totais, fixos e voláteis) e umidade da amostra de lodo de ETA *in natura*.

**Tabela 1 – Fração sólida e umidade do lodo de ETA**

Amostra	Umidade	Teor de sólidos (%)		
		Totais	Fixos	Voláteis
Lodo de ETA	89,07	10,93	83,81	16,19

Fonte: A autora, 2022

Os resultados demonstram um valor alto de umidade (<90%) e, conseqüentemente, pouca presença de material sólido (10,93%). Já a fração volátil remanescente foi de aproximadamente 16,20% da amostra, indicando um material com características minerais. A fração volátil é importante para a quantificação da matéria orgânica presente no lodo e, conseqüentemente, para o processo de compostagem.

A Tabela 2 apresenta os resultados da composição elementar química da amostra de lodo e solo obtidas por FRX. É possível verificar a presença de elementos, como o silício (Si) (44,07 %), alumínio (Al) (27,88 %) e ferro (Fe) (19,18 %) nas amostras do LETA. Segundo Zhao; Babatunde Hu; Kumar e Zhao (2011), o uso de sais de alumínio no tratamento da água possui grandes chances de apresentar esse elemento em sua composição.

Já na amostra de solo, o silício (Si) foi o elemento que apresentou a maior quantidade com cerca de 66,80 % da amostra. Além disso, outro elemento que se destacou foi o alumínio (Al) com cerca de 14,22 %.



**Tabela 2 – Composição elementar química da amostra de lodo de ETA e solo**

Amostra	Elementos (%)			
	Si	Al	Fe	S
Lodo de ETA	44,07	27,88	19,18	0,91
Solo	66,80	14,22	10,25	0,68

Nota: (-) não apresentaram dados

Fonte: A autora, 2022

#### **4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS INCORPORADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM**

A Tabela 3 indica as proporções das amostras de cada resíduo adicionado para a compostagem em função da quantidade de carbono e nitrogênio, visando respeitar a relação C/N 30:1.

**Tabela 3 – Proporção de Carbono e Nitrogênio dos resíduos aplicados para relação 30:1**

Amostra	Proporção	% C	% N	C/N
Resíduos Hortifruti	25	49,0	1,14	44/1
Resíduos Verdes	50	49,1	1,08	45/1
Lodo de ETA	25	10,5	0,2	52/1
Ureia	1	19,9	46,7	0,4
<b>Mistura</b>		<b>39,5</b>	<b>1,3</b>	<b>29/1</b>

Fonte: A autora, 2022

Os resultados indicam que os valores de nitrogênio presente nos resíduos verdes (poda e capina) foi de 1,08 % e relação C/N 45/1. No trabalho de Zotesso (2013) foi encontrado o valor de 2,36 % de nitrogênio e relação C/N de 22/1 para resíduos verdes, enquanto no trabalho de Aquino, Oliveira e Loureiro (2005), a composição nitrogenada dos resíduos de poda de área urbana foi de 2,3 %, resultando em relação C/N de 21/1.

Os resultados deste estudo são próximos aos apresentados nos trabalhos de Li; Li; Zhou; Yuan e Hu (2022) e Kumar; Ou e Lin (2010) no qual foram obtidos nas amostras estudadas valores de nitrogênio de 0,45% e 0,8 %, respectivamente.

Em relação aos resíduos hortifruti, foram de aproximadamente 1,14% de nitrogênio presente na amostra, contrastando com os resultados encontrados por Zotesso (2013) e Ortolan e Moya (2011) com, respectivamente, 4,47 % e 3,47 % de nitrogênio. No entanto, a variação de valor é decorrente da composição dos resíduos hortifruti.

Adhikari; Barrington; Martinez e King (2009) apresentaram valores de nitrogênio de 2,00 % para os resíduos hortícolas estudados. Segundo Ortolan e Moya (2011, p. 16), “a relação C/N desejável para o início da compostagem deve ser de 30/1 e o teor de nitrogênio deve estar entre 1,2 e 1,5%.” os valores aqui obtidos estão aproximadamente dentro desta faixa.

Analisando os resultados, foi necessário realizar a suplementação com ureia (10 m/v) em cada composteira para a obtenção da relação C/N. Esse processo também ocorreu no trabalho de Moreira; Santos e Rizk (2013, p. 17), onde foi “adicionada solução de ureia à leira, a fim de aumentar a porcentagem de nitrogênio e reduzir a relação C/N.”

Os resíduos hortifruti e verdes apresentaram, aproximadamente, 90% e 11 % teor de umidade, respectivamente, enquanto o lodo representou 6,83 % da amostra. No trabalho de Zotesso (2013), os resíduos de hortifruti do restaurante universitário de estudo demonstraram teor de umidade em torno de 95 %. A granulometria e porosidade influencia na umidade dos resíduos, pois segundo Valente; Xavier; Morselli; Jahnke; Brum Jr; Cabrera; Moraes e Lopes (2009, p. 77) “partículas muitas finas e o aumento dos microporos facilitam o aumento da umidade, o que acarreta a anaerobiose do material compostado.”

Em relação ao teor de matéria orgânica presente nas amostras dos resíduos verdes (88,39 %) e hortifruti (88,27 %), apresentaram valores próximos encontrados por Zotesso (2013), com cerca de 90 % de matéria orgânica

presente. Já no trabalho de Ortolan e Moya (2011) apresentaram aproximadamente 77 % de matéria orgânica nos resíduos orgânicos.

A Tabela 4 apresenta os outros elementos (em forma de óxidos) que compõem os resíduos hortifruti e verdes

**Tabela 4 – Análise elementar química dos resíduos incorporados.**

Amostra	Elementos (%)			
	CaO	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
Resíduos Verdes	39,01	25,06	23,82	6,49
Resíduos Hortifruti	27,18	54,18	3,97	8,38

Fonte: A autora, 2022

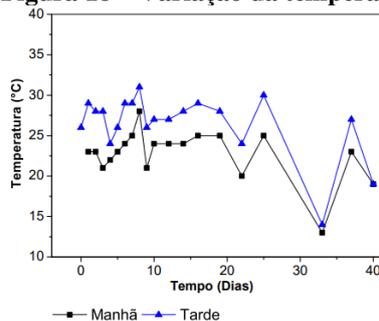
Os resultados dos resíduos verdes apresentaram maiores concentrações de CaO com 39,01 % e o K<sub>2</sub>O, com aproximadamente 25 % em sua composição. Estes dados são válidos, uma vez que os elementos Cálcio (Ca) e Potássio (K) estão presentes no solo adubado com NPK e com correção de pH (CaCO<sub>3</sub>), nutrientes importantes para as plantas.

Em relação aos resíduos hortifruti, o elemento K<sub>2</sub>O apresentou mais de 50 % da amostra analisada. Segundo Passos (2019, p. 7) “solos onde o cultivo de hortaliças e a aplicação de fertilizantes minerais são constantes, os teores dos nutrientes nestes locais podem aumentar, principalmente fósforo (P) e potássio (K).” Estes elementos importantes em culturas agrícolas.

### 4.3 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem foi monitorado por meio da medida de temperatura (°C). O valor da temperatura durante o acompanhamento das três composteiras (média) se encontram na Figura 18.

**Figura 18 – Variação da temperatura durante o processo de compostagem**



Fonte: A autora, 2022.

O pico de temperatura ocorreu no 8º dia com 28°C, no período da manhã, e 31°C à tarde. No 9º dia (21°C; 26°C), a temperatura foi aumentando em razão do efeito da amonificação após a suplementação de ureia para a correção da relação C/N. Já no 25º dia foi identificado nova elevação de temperatura, apresentando 25°C e 30°C, respectivamente, manhã e tarde.

No entanto, no 33º dia, observa-se que a temperatura do composto reduziu para 13°C e 14°C (manhã e tarde), indicando o término do processo. Contudo, esse efeito está relacionado, muito provavelmente, às baixas temperaturas do ambiente registradas nesse dia: máxima de 15°C e mínima de 12°C, com frio e chuvoso (CPTEC, 2022). Desta forma, dentro desse perfil de temperatura, a fase mesófila foi predominante, com ação dos microrganismos inoculados na degradação de moléculas mais simples. Outra observação importante foi a formação de chorume em volume muito reduzido.

O composto apresentou cor escura, boa umidade, textura lignocelulósica, cheiro agradável e ausência de vetores, conforme a Figura 19. Assim, destaca-se que a presença do lodo de ETA não interferiu negativamente no seu desenvolvimento do composto.

**Figura 19 – Composto formado a partir do resíduo da ETA após 40 dias.**



Fonte: A autora, 2022.

Os resultados de composição elementar química por FRX do composto formado após os 40 dias de compostagem estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Análise elementar química do composto final a partir do resíduo da ETA.**

Amostra	Elementos (%)				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O
Composto final	40,9	18,83	14,46	8,55	6,63

Fonte: A autora, 2022

Comparando os resultados do composto final aos valores iniciais de Alumínio (Al) presente no lodo de ETA (Tabela 5), observa-se que houve a presença de 18,83 % de alumínio da amostra do composto, visto que isso está atrelado a quantidade de massa do resíduo que foi incorporado. Segundo Bitencourt; Souza; Frazão; Apolari e Monteiro (2020) “a toxicidade do Al é referente a valores de pH abaixo de 5,5 devido a solubilidade dos íons Al<sup>3+</sup> em meio ácido.”

Seguindo a Instrução Normativa (IN) n° 61, de 8 de julho de 2020, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que estabelece as exigências dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes destinados à agricultura, o composto final apresentou em sua composição o macronutriente primário, Potássio (K) com 6,63 % da amostra e para o macronutriente secundário Cálcio (Ca) foi de 8,55 %, dentro do limite estabelecido com valor mínimo de (<1 %). Para o micronutriente Silício (Si) com 40,9 %, o limite mínimo é de (< 0,05 %), atendendo aos valores determinados da IN do MAPA.

#### 4.4 DESENVOLVIMENTO DO ANGICO BRANCO EM DOSES DO COMPOSTO

Para a determinação do incremento de altura e diâmetro do coleto das mudas foram considerados os valores médios absolutos observados durante as medições biométricas. Segundo Gomes (2001, p. 5) “a avaliação do padrão de qualidade de mudas de espécies florestais está diretamente relacionada com os parâmetros medidos.” Além disso, o autor destaca que os parâmetros morfológicos principais são a altura da parte aérea, diâmetro do coleto, peso da matéria seca total, parte aérea e raízes.

##### 4.4.1 INCREMENTO DE ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO

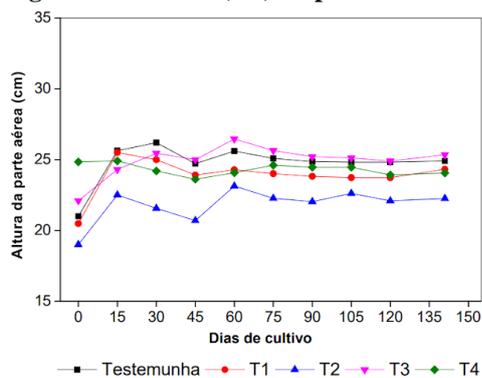
A etapa de aplicação do composto orgânico formado no desenvolvimento da espécie nativa, Angico-Branco foi finalizada aos 141 dias de acompanhamento. A Figura 20 apresentam as médias das quintuplicatas dos tratamentos referente ao parâmetro de altura da parte aérea.

Notou-se que o composto permitiu uma progressão linear das medidas biométricas das mudas em relação aos tratamentos. Em média 0,02 cm/dia a cada medida realizada no período. Aos 60 dias de monitoramento, o tratamento 3 (26, 4 cm) representava as mudas com melhor desenvolvimento da parte aérea, indicando que a quantidade do composto de LETA não interferiu prejudicialmente para as espécies. No período de 45 dias, o tratamento 2 (20% do composto) apresentou o menor valor da parte aérea com 20,6 cm. Esse tratamento possuía menor dosagem do composto quando comparado ao tratamento 3.

Comparando com os estudos de Ramalho (2015) foi possível analisar similaridade entre os tratamentos referente às dosagens de LETA. Em seu estudo, as proporções de lodo não alteraram significativamente o desenvolvimento dos espécimes em relação à altura, destacando que os tratamentos com maiores porcentagens de LETA obtiveram bom desempenho.

Por outro lado, o tratamento testemunha (0% do composto) apresentou um desenvolvimento interessante e similar ao tratamento 3 com 25,6 cm de altura aos 60 dias de cultivo, sendo que posteriormente houve uma estabilização no crescimento. Destaca-se que neste tratamento (0 %) a taxa de sobrevivência foi de 20%, com apenas uma quintuplicata representativa.

**Figura 20 - Altura (cm) da parte aérea das mudas de Angico Branco no composto**

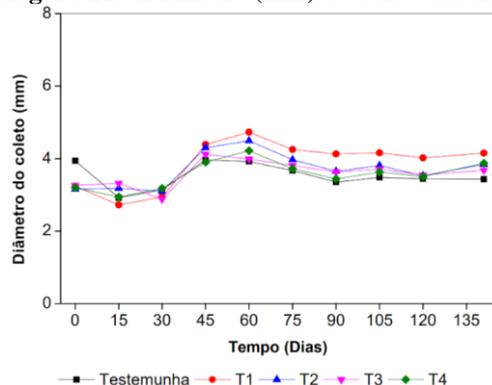


Fonte: A autora, 2022.

Quanto ao incremento do diâmetro do coleto (Figura 21), observou-se um crescimento progressivo após os 30 dias de cultivo. Os maiores valores de diâmetro foram para o tratamento 1 e 2 com, respectivamente, 4,73 e 4,49 mm aos 60 dias de cultivo. A taxa de crescimento médio foi de 0,43 mm a cada medida realizada (0,02 mm/dia) ao longo do estudo.

Por outro lado, o tratamento 3 e 4 apresentaram similaridades no incremento do diâmetro do coleto ao longo do período de desenvolvimento com, respectivamente, 3,68 e 3,87 mm indicando que não houve um crescimento progressivo no sistema radicular das mudas. Segundo Pessoa (2019, p 17) “a toxidez por alumínio ( $Al^{3+}$ ) é apontada como uma das responsáveis pela inibição do crescimento radicular, bloqueando a aquisição e transporte de água e nutrientes, essenciais para o crescimento e desenvolvimento das raízes.”

**Figura 21 - Diâmetro (mm) do coleto das mudas de Angico Branco no composto**



Fonte: A autora, 2022.

O desenvolvimento das mudas de Angico Branco em relação às dosagens do composto de lodo de ETA não apresentou nenhuma diferença significativa entre si na análise de variância, com o Teste Tukey com 5% de probabilidade. Dessa forma, isso evidencia que estaticamente as dosagens do composto não alteraram significativamente o crescimento das mudas em relação à altura e diâmetro do coleto.

#### 4.4.2 MEDIDAS DE MASSA ÚMIDA E MASSA SECA DAS MUDAS

Com base nas medições de massa úmida e seca das mudas, foi possível obter as porcentagens de redução de massa (%) da parte aérea e raiz, conforme apresentado na Tabela 6.

Observa-se que as maiores porcentagens de redução de biomassa na parte aérea foram para os tratamentos 2, 3 e 4 de forma semelhante, apresentando uma redução de massa de em média 43,08 % entre eles. Destaca-se que para o tratamento testemunha (0% composto) houve redução de apenas 24,62 %.

Quanto à redução de biomassa no sistema radicular, o tratamento 1 obteve a maior taxa de redução com 45,56 %, enquanto os demais tratamentos apresentaram uma média de 34,08 %. Nota-se que o tratamento 4 apresentou menor redução de massa na raiz (26,35%).

Figueiredo-Neto (2011, p. 69) observou em alguns casos, que quanto maior a quantidade de lodo de ETA presente no tratamento, menor a porcentagem de peso seco na parte aérea e maior na raiz. Os resultados neste estudo evidenciam o contrário, pois o tratamento 4 (40 % composto) teve maior redução de biomassa na parte aérea (43,01 %) e menor redução na raiz (26,35 %).

**Tabela 6 – Redução de massa para as mudas de Angico Branco.**

Tratamentos	Redução de massa (%)				
	T0	T1	T2	T3	T4
Parte aérea	24,62	35,65	41,82	44,42	43,01
Raiz	37,05	45,56	34,75	38,18	26,35

Fonte: A autora, 2022

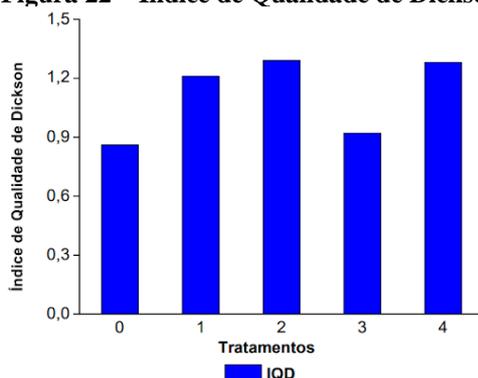
#### 4.4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DE DICKSON

De acordo com Fonseca; Valéri; Miglioranza; Fonseca e Couto (2002, p. 516), “o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é um bom indicador de qualidade das mudas.” Segundo Medeiros; de Jesus; Santos; Melo; Souza; Borges; Guerreiro e Freitas (2018, p. 163), “o seu cálculo considera o equilíbrio da distribuição da biomassa na planta, ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade da muda.” Os resultados do Índice de Qualidade de Dickson relativos aos cinco tratamentos estão apresentados na Figura 22.

O efeito do composto de LETA produziu comportamentos semelhantes entre os tratamentos em relação aos valores de IQD, exceto o tratamento 3 que apresentou IQD 0,92. Os maiores valores de índice das mudas ocorreram nos tratamentos 2 e 4 com, respectivamente, 1,29 e 1,28.

Figueiredo-Neto (2011, p. 75), observou em seu estudo que os maiores valores de IQD foram para o tratamento 4 com 56,25 % de lodo de ETA, com 1,04 para a espécie Canafístula. Além disso, o autor verificou que houve pouca variação entre o IQD e os tratamentos aplicados, assim como evidenciado neste trabalho.

**Figura 22 – Índice de Qualidade de Dickson das mudas de Angico Branco**



Fonte: A autora, 2022.

A fim de avaliar o efeito do composto, foram realizados testes de média entre os tratamentos e as respectivas quintuplicatas por meio de análise de variância (ANOVA) demonstrado na Tabela 7.

Conclui-se que não houve diferenças significativas entre as médias dos tratamentos e suas quintuplicatas pelo Teste Tukey a 5%, reforçando que estatisticamente os valores de IQD não diferem entre si.

**Tabela 7 – Médias do Índice de Qualidade de Dickson das mudas de Angico Branco referente aos tratamentos**

Tratamentos	T0	T1	T2	T3	T4
IQD	0,86±0,82 a1	1,21±1,30 a1	1,29±1,34 a1	0,92±1,02 a1	1,28±1,25 a1

Nas colunas, as médias de IQD seguidas de mesmo número não diferem entre si pelo Teste Tukey 5 %.

Fonte: A autora, 2022

## 6. CONCLUSÕES

O LETA estudado apresentou teores de alumínio, enxofre e ferro no momento de caracterização química. Estes três elementos juntos compõem cerca de 96,11 % da amostra. Na etapa de compostagem o lodo demonstrou-se um resíduo potencial para esta técnica de disposição, visto que a quantidade adicionada não promove risco de toxicidade.

Durante o monitoramento das composteiras, o composto não conseguiu atingir temperaturas elevadas (>60%), conforme é relatado em algumas literaturas. Por outro lado, o composto final apresentou características de cor, cheiro e textura muito semelhantes à de um composto orgânico típico, indicando o seu sucesso.

A incorporação do composto em solo para o cultivo das mudas de Angico Branco apresentou resultados favoráveis quanto ao seu desenvolvimento, aos 141 dias de cultivo, por todos os tratamentos terem apresentado IQD bom, exceto o tratamento 3. Por outro lado, os tratamentos e os valores de IQD não apresentaram diferenças significativas entre si.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10664:1989 – Águas– Determinação De Resíduos (sólidos) – Método Gravimétrico, 7 p. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
2. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação, 77 p. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
3. ABRAÃO, R. Aplicação de lodo de estação de tratamento de água no crescimento de *Salvia officinalis*. Santa Catarina, 2016. Projeto de disciplina-Centro de Curitiba-Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
4. ADHIKARI, B.K., BARRINGTON, S., MARTINEZ, J., KING, S. *Effectiveness of three bulking agents for food waste composting*. *Waste management*, v. 29, n. 1, p. 197-203, Jan. 2009.
5. AHMAD, T., AHMAD, K., ALAM, M. *Sustainable management of water treatment sludge through 3 'R' concept*. *Journal of Cleaner Production*, v. 124, p. 1-13, Jun. 2016.
6. ANDRADE, C.F., SILVA, C.M., OLIVEIRA, F.C. *Gestão Ambiental em saneamento: uma revisão das alternativas para tratamento e disposição do lodo de ETA e seus impactos na qualidade das águas*, Belo Horizonte, 2014. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS, 2014.
7. AQUINO, A.M., OLIVEIRA, A.M.G., LOUREIRO, D.C. *Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos*. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/596884/1/cit012.pdf> Acesso em: 30/05/2023.

8. BATAGLIA, O.C., FURLANI, A.M.C., TEIXEIRA, J.P.F., FURLANI, P.R., GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. Campinas, 1978. Instituto Agrônomo, 1978.
9. BITENCOURT, G.A., SOUZA, G., FRAZÃO, J.J., APOLARI, J.P.A., MONTEIRO, R.T.R. Uso do lodo de ETA no crescimento de feijão guandu e milheto. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, n.20, v.1, p.10-16, 2020.
10. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível em [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm) Acesso em: 30/05/2023.
11. BRASIL. Instrução Normativa nº 61, de 8 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. Brasília. 2020. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/ptbr/assuntos/insumosagropecuarios/insumosagricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 30/05/2023.
12. BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 07 mai. 2021.
13. CPTEC. Climanalise. Disponível em [www.cptec.inpe.br/products/climanalise](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise). Acesso em: 30/05/2023.
14. DANDOLINI, I. Reciclagem do lodo de estação de tratamento de água-produção de coagulante por lixiviação ácida. Porto Alegre, 2014. Dissertação de mestrado-Programa de pós-graduação-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.
15. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. CompostCalc. Disponível em <https://ciorganicos.com.br/planilha-de-calculo-de-compostagem-embrapa-agrobiologia-22snaorganicsnet-ci-organicos-22/>. Acesso em: 27/10/2022.
16. FIGUEIREDO-NETO, A. Utilização de lodo de estação de tratamento de água na produção de mudas de árvores com ocorrência no cerrado. Goiânia, 2011. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás, 2011.
17. FONSECA, E.P., VALÉRI, S.V., MIGLIORANZA, E., FONSECA, N.A.N., COUTO, L. Padrão de Qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. *Revista. Árvore*, v. 26, n. 4, p. 515-523, Ago. 2002.
18. GOMES, J.M. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K. Viçosa, 2001. Tese de doutorado-Universidade Federal de Viçosa, 2001.
19. HOPPEN, C., PORTELLA, K.F., JOUKOSKI, A., TRINDADE, E.M., ANDREOLI, C.V. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. *Quim. Nova*, v.29, n.1, p.79-84, Fev. 2006.
20. KIEHL, E.J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba, 2012. 6 ed. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Universidade de São Paulo, 2012.
21. LI, M., LI, F., ZHOU, J., YUAN, Q., HU, N. *Fallen leaves are superior to tree pruning as bulking agents in aerobic composting disposing kitchen waste. Bioresource Technology*, v.346, p.126374, Feb 2022.
22. MEDEIROS, M.B.C.L., de JESUS, H.I., SANTOS, N.F.A, MELO, M.R.S., SOUZA, V.Q., BORGES, L.S., GUERREIRO, A.C., FREITAS, L.S. Índice de qualidade de dickson e característica morfológica de mudas de pepino, produzidas em diferentes substratos alternativos. *Revista Agroecossistemas*, v.10, n.1, p.159-173, 2018.

23. MOREIRA, M.F., SANTOS, P.R., RIZK, M.C. Tratamento orgânico dos resíduos de um frigorífico. *Revista Tópos*, v.7, n.1, p.21-31, 2013.
24. ORTOLAN, C.H.S., MOYA, M.T.M Compostagem dos Resíduos da FCT/UNESP de Presidente Prudente-SP. Presidente Prudente, 2011. Trabalho de graduação-Faculdade de Ciências e Tecnologia-Universidade Estadual Paulista, 2011.
25. PASSOS, D.R.C. Resposta da beterraba a doses de fósforo e de potássio em Latossolo com altos teores desses nutrientes. Jaboticabal, 2019. Dissertação de mestrado-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-Universidade Estadual Paulista, 2019.
26. PEIXOTO, C.P. Análise de crescimento e rendimento de três cultivares de soja em três épocas de semeadura e três densidades de plantas. Piracicaba, 1998. Tese de doutorado-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-Universidade de São Paulo, 1998.
27. PESSOA, J.G. Produção de ácidos orgânicos radiculares de cana-de-açúcar submetida ao estresse por alumínio. Araras, 2019. Dissertação de mestrado-Centro de Ciências Agrárias-Universidade Federal de São Carlos, 2019.
28. RAMALHO, R.P.R.S. Avaliação do uso de resíduo de estação de tratamento de água na produção de espécies vegetais com ocorrência no cerrado. Goiânia, 2015. Dissertação de mestrado-Universidade Federal de Goiás, 2015.
29. RODRIGUES, F.A, OLIVEIRA, L.A., KORNDÖRFER, A.P., KORNDÖRFER, G.H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. *Informações Agronômicas*, 134: 14-20. Jun. 2011.
30. SANTOS, A.S.P., CRUZ, C.L.B.M., RITER, E., SILVA, J.C. Aproveitamento de lodo de ETA para produção de muda florestal. Natal, 2019. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais de evento, ABES, 2019.
31. SANTOS, J.S. Avaliação de produtividade da alface irrigada sob cultivo protegido em resposta a aplicação de lodo de estação de tratamento de água. Arapiraca, 2021. Dissertação de mestrado-Campus Arapiraca-Universidade Federal de Alagoas, 2021.
32. TAKADA, C.R.S., SERRA, J.C.V., MAFRA, W.A., BORBA, K.C.A. Aproveitamento e disposição final de lodos de estação de tratamento de água no município de Palmas-TO. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v.10, n.2, p.157-165, Abr. 2013.
33. VALENTE, B.S., XAVIER, E.G., MORSELLI, T.B.G.A., JAHNKE, D.S., BRUM JR, B de S., CABRERA, B.R., MORAES, P.O., LOPES, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de zootecnia*, v.58, n.224, p.59-85, Abr. 2009.
34. ZHAO, Y.Q., BABATUNDE, A.O., HU, Y.S., KUMAR, J.L.G; ZHAO, X.H. *Pilot field-scale demonstration of a novel alum sludge-based constructed wetland system for enhanced wastewater treatment. Process Biochemistry*, v.46, p.278-283, 2011.
35. ZIED, D.C., MINHONI, M.T.A., KOPYTOWSKI-FILHO, J., ARRUDA, D.P., ANDRADE, M.C.N. Produção de *Agaricus blazei ss. Heinemann (A. brasiliensis)* em função de diferentes camadas de cobertura e substratos de cultivo. *Interciencia*, v.34, p.437-442, 2009.
36. ZOTESSO, J.P. Diagnóstico da situação e caracterização dos resíduos sólidos gerados no restaurante universitário da Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2013. Dissertação de mestrado-Centro de Tecnologia-Universidade Estadual de Maringá, 2013.