



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA
CAMPUS JORGE AMADO
CENTRO DE FORMAÇÃO EM CIÊNCIAS AGROFLORESTAIS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIAS

JONATAS OLIVEIRA MELO

**AVALIAÇÃO DO USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ESGOTOS TRATADO E DE COMPOSTO DE ESTERCO BOVINO
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CACAUEIROS (*Theobroma cacao*)**

ITABUNA - BA

2024

JONATAS OLIVEIRA MELO

Avaliação do uso de lodo de esgoto de estação de tratamento de esgotos tratado e de composto de esterco bovino na produção de mudas de cacauzeiros (*Theobroma cacao*)

Trabalho apresentado ao curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências da Universidade Federal do Sul da Bahia, *Campus* Jorge Amado, como parte dos requisitos do Componente Curricular Trabalho de Conclusão de Curso II em Ciências.

Orientador: Dr. Abílio José Procópio Queiroz

ITABUNA - BA

2024

JONATAS OLIVEIRA MELO

Avaliação do uso de lodo de esgoto de estação de tratamento de esgotos tratado e de composto de esterco bovino na produção de mudas de cacauzeiros (*Theobroma cacao*)

Trabalho apresentado ao curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciências da Universidade Federal do Sul da Bahia, *Campus* Jorge Amado como parte dos requisitos do Componente Curricular Trabalho de Conclusão de Curso II em Ciências.

Aprovado: (data da aprovação da banca)

Abílio José Procópio Queiroz
Universidade Federal do Sul da Bahia
Orientador

Carla Valéria da Silva Padilha
Universidade Federal do Sul da Bahia
Membra convidada

Narcísio Cabral de Araújo
Universidade Federal do Sul da Bahia
Membro Convidado

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Dennise O. do Nascimento, que acompanhou de perto a execução deste projeto com apoio, ajuda e incentivando.

Ao meu filho Joseph D. dos S. Melo por me ajudar e ser o motivo para seguir em frente.

Aos meus familiares que me apoiaram durante o curso.

Ao orientador, Prof. Abílio J. P. Queiroz, pelo incentivo, disponibilidade, paciência, experiência e sabedoria.

Aos integrantes da banca de avaliação deste trabalho de conclusão de curso, Prof. Narcísio c. de Araújo e professora Carla V. da S. Padilha.

Aos amigos e colegas da UFSB da Eng. Sanitária e Ambiental e Eng. Ambiental e da Sustentabilidade que permanecem próximos desde a entrada na universidade.

Ao Prof. Fábio da S. do E. Santo, pela paciência e dedicação ao me acolher e ensinar-me a desenvolver projetos de pesquisa nos primeiros anos na universidade.

Caso seu nome não tenha sido mencionado, saiba que, entre nós, está claro o quanto você contribuiu para a minha jornada, e sou profundamente grato pelo gesto de carinho e sua presença ao meu lado.

AVALIAÇÃO DO USO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS TRATADO E DE COMPOSTO DE ESTERCO BOVINO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CACAUEIROS (*Theobroma cacao*)

RESUMO

Devido ao crescimento acelerado de centros urbanos, a demanda pelo tratamento de esgotos tem aumentado significativamente, tornando necessária a busca por soluções sustentáveis para a disposição final adequada do lodo gerado nas estações de tratamento de esgotos. O intuito desta pesquisa consistiu em estudar as viabilidades do uso do lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE) e de esterco bovino curtido (EBC) na produção de mudas de *Theobroma cacao*. Experimentalmente, foram utilizados tubetes de polipropileno atóxico de 280 cm³ dispostos em suportes do tipo bandejas. Os tubetes foram preenchidos com os substratos correspondentes aos 5 tratamentos com 10 repetições para cada tipo de resíduo utilizado, os quais foram definidos com o delineamento inteiramente casualizado, sendo: 10 repetições de controle (apenas solo), T1 - 20% LETE + 80% S; T2 - 40% LETE + 60% S, T3 - 60% LETE + 40% S, T4 - 80% LETE + 20% S e T5 - 100% LETE. Foram avaliados os parâmetros biométricos: número de folhas, diâmetro do caule, altura da planta, matéria fresca e seca da raiz, caule e folhas, e comprimento de raiz. Os resultados indicaram que na concentração de LETE presente no T3, com relação à altura das mudas e biomassa, alcançaram os melhores resultados, seguido do T4 LETE, e de modo geral as amostras com LETE se mostraram ligeiramente melhores aos tratamentos com EBC, o que reforça que o reaproveitamento do biossólido é uma alternativa viável para a produção de mudas de cacaueteiro, contribuindo para a redução de resíduos acumulados nas ETEs e promovendo práticas agrícolas sustentáveis. As atividades desenvolvidas com esse projeto poderão servir de parâmetro para futuros experimentos envolvendo cultivo em LETE.

Palavras-chave: Composto orgânico; Práticas sustentáveis; Subprodutos de ETE.

EVALUATION OF THE USE OF SEWAGE TREATMENT PLANT SLUDGE TREATED AND COMPOST OF CATTLE MANURE IN THE PRODUCTION OF SEEDLINGS OF COCOA TREES (*Theobroma cacao*)

ABSTRACT

Due to the rapid growth of urban centers, the demand for sewage treatment has significantly increased, making it necessary to seek sustainable solutions for the proper disposal of sludge generated in wastewater treatment plants. This research aimed to evaluate the feasibility of using treated sewage sludge (TSS) and cured bovine manure (CBM) in the production of *Theobroma cacao* seedlings. The experiment employed non-toxic polypropylene tubes of 280 cm³ arranged in tray-type supports. The tubes were filled with substrates corresponding to 5 treatments, with 10 repetitions for each type of residue, following a completely randomized design. The treatments were as follows: 10 repetitions of control (soil only), T1 - 20% TSS + 80% S; T2 - 40% TSS + 60% S; T3 - 60% TSS + 40% S; T4 - 80% TSS + 20% S, and T5 - 100% TSS. Biometric parameters evaluated included: number of leaves, stem diameter, plant height, fresh and dry weight of roots, stems, and leaves, and root length. The results indicated that the T3 concentration of TSS showed the best performance in terms of seedling height and biomass, followed by T4 TSS, with TSS treatments generally outperforming the CBM treatments. This suggests that the reuse of biosolids is a viable alternative for cacao seedling production, contributing to the reduction of accumulated sludge in wastewater treatment plants and promoting sustainable agricultural practices. The activities developed in this project may serve as a reference for future experiments involving cultivation in TSS.

Keywords: Organic compost; Sustainable practices; Wastewater treatment by-products.

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

CBM	Cured Bovine Manure
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
CJA	Campus Jorge Amado
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAFA	Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente
DC	Diâmetro do coleto
EBC	Esterco bovino curtido
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
F	Numero de folhas
H	Altura da planta
HR	Altura da raiz
LETE	Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto
MFPA	Matéria fresca da parte aérea
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MFR	Matéria fresca raiz
MSR	Matéria seca raiz
S	Solo
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SNIS	Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento
TSS	treated sewage sludge
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UFSB	Universidade Federal do Sul da Bahia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo Geral.....	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Área de estudo.....	13
3.2. Espécie estudada	13
3.3. Ensaio experimental	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5. CONCLUSÃO.....	22

1. INTRODUÇÃO

A Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos, além de englobar orientações para análise da capacidade de suporte do corpo de água receptor para o recebimento destes efluentes tratados (CONAMA, 2011). Para além desta, há a necessidade de atender exigências postas em outras resoluções, a exemplo da Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020, também do CONAMA, que trata, por sua vez, da destinação do biossólido – lodo dos processos de tratamento de esgotos – para aplicação no solo.

Dito isto, tanto as estações de tratamento de água (ETA) quanto estações de tratamento de esgoto (ETE) geram, em seus processos de tratamento, lodo. Segundo dados do Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento (SNIS), estima-se uma produção anual no Brasil seja de 81 milhões de toneladas, cerca de 78 milhões de toneladas referentes ao lodo gerado ETA's e 3 milhões de toneladas são resíduos sólidos grosseiros e lodos de ETE's (SNIS, 2022). Diante desse cenário, existe a necessidade de explorar alternativas sustentáveis para a gestão do lodo de ETE, visando não apenas mitigar os impactos ambientais da destinação inadequada deste, mas também promover o seu aproveitamento como um recurso.

A busca por soluções inovadoras e economicamente viáveis para o tratamento e a utilização do lodo de ETE tem se intensificado, impulsionada pela crescente conscientização ambiental e pela demanda por práticas mais sustentáveis no setor de saneamento básico. Assim, pesquisadores estudam diversas formas de viabilizar e destinar de maneira sustentável o lodo que, em geral, ainda é um material visto como um problema ambiental que inviabiliza a operação das estações de tratamento.

As alternativas mais usuais envolvendo o lodo de ETE, segundo Bettiol (2006), são a disposição em aterro sanitário, o reuso industrial como agregado leve de construção, a incineração, a recuperação de solo e os usos agrícola e florestal. O uso agrícola do biossólido que, segundo Bettiol e Camargo (2006), apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e os demais macros e micronutrientes deve ser visto como uma simples e adequada alternativa.

A Resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020, define critérios e procedimentos para a produção e a aplicação de biossólido em solos, ou seja, essa

resolução amplia as oportunidades de uso do lodo de ETE em diversas atividades, contribuindo para práticas sustentáveis de gestão de resíduos (CONAMA, 2020).

O LETE utilizado no presente estudo é um subproduto da nova estação de tratamento de esgoto da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA), cujo a ampliação do sistema de esgotamento sanitário (SES) no bairro do Pontal em Ilhéus, realizada pela empresa, visa atender a todos os parâmetros de tratamento e descarte exigidos legalmente. A ETE atende cerca de 65 mil pessoas e garante o tratamento de esgoto de 80%, com capacidade nominal para tratar 148 litros por segundo. Conforme Embasa (2020) “ela é composta por módulos de Tratamento Preliminar, 4 digestores anaeróbios de fluxo ascendente (DAFA), 2 tanques de aeração, 02 (dois) decantadores secundários e sistema de desinfecção”. O efluente tratado é lançado no Rio Santana e o lodo gerado é desidratado em leito de secagem até adquirir aspecto sólido.

Levando em consideração que a gestão de resíduos gerados pelo SES é bastante desafiadora, considerando o volume expressivo de material produzido, a escassez de áreas apropriadas para a destinação final, os altos custos para garantir uma disposição adequada, além das questões ambientais e sanitárias envolvidas, para lidar com essa complexidade, é fundamental adotar um conjunto diversificado de soluções, evitando a dependência de uma única estratégia. Uma abordagem recomendada é priorizar o reaproveitamento dos resíduos, mas também ter alternativas que garantam uma disposição segura em situações de contingência.

Neste contexto, o presente trabalho propôs estudar uma alternativa potencial para o uso do lodo de esgoto na produção de mudas, explorando as suas características físico-químicas, bem como os desafios e as oportunidades associados à sua aplicação prática, permitindo por sua vez a destinação inadequada de grandes volumes de lodo das ETE e promovendo simultaneamente o beneficiamento do solo na lavoura.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo avaliar o uso do lodo de ETE tratado e esterco bovino curtido na produção de mudas de cacauzeiros (*Theobroma cacao*), espécie nativa das florestas tropicais das Américas do Sul e Central.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar a germinação e as variáveis relacionadas ao desenvolvimento sob diferentes concentrações lodo de ETE tratado e de esterco bovino curtido;
- Avaliar o crescimento das mudas a partir da análise dos seus parâmetros biométricos;
- Avaliar a possibilidade de destinação do bio sólido gerado em uma ETE da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA) no município de Ilhéus para o uso agrícola;
- Discutir as vantagens de destinar os resíduos estudados para a agricultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido no município de Itabuna-BA, onde a área de estudo possui clima tropical úmido, com a temperatura média anual de 23,4 °C e a precipitação média anual de, aproximadamente, 1.156 mm (CLIMATE-DATA, 2023).

3.2. Espécie estudada

A espécie utilizada neste estudo foi o *Theobroma cacao*, popularmente conhecido como cacauzeiro, uma planta nativa das florestas tropicais da América Central e do Sul. Pertencente à família Malvaceae, o cacauzeiro é uma árvore de porte médio, que pode atingir de 4 a 8 metros de altura. Sua importância econômica está diretamente ligada à produção de cacau, matéria-prima para a fabricação de chocolate, sendo uma das culturas mais relevantes para a agricultura na região.

O cacauzeiro é uma espécie que se adapta bem a climas úmidos e sombreados, com temperaturas médias entre 25 e 28 °C e precipitações anuais superiores a 1.500 mm. O sistema radicular do cacauzeiro é relativamente profundo, permitindo à planta absorver nutrientes de camadas inferiores do solo, o que a torna uma espécie particularmente interessante para estudos relacionados ao uso de biossólidos e substratos alternativos, como lodo de esgoto tratado. A germinação das sementes ocorre de forma rápida em condições favoráveis, embora as plântulas sejam sensíveis às condições extremas de umidade e temperatura, o que exige um manejo cuidadoso para garantir o sucesso do desenvolvimento inicial.

O cultivo do cacauzeiro é de extrema relevância em regiões como o sul da Bahia, onde a espécie desempenha um papel fundamental na economia local. O uso de substratos orgânicos, como o lodo de estação de tratamento de esgoto (LETE) e o composto de esterco bovino curtido (EBC), pode oferecer uma alternativa sustentável para o cultivo de mudas de cacau, favorecendo a substituição parcial de insumos agrícolas tradicionais e promovendo práticas de economia mais sustentável no setor agrícola.

3.3. Ensaio experimental

As sementes de *Theobroma cacao* foram adquiridas em Inema, um distrito do município de Ilhéus-BA, onde, logo após a colheita e a quebra dos frutos, as sementes foram lavadas em água corrente e secadas com uma flanela limpa para a retirada da polpa de cacau. Sobre uma bandeja plástica forrada com papel toalha as sementes foram organizadas com espaçamentos de 2,0 cm e cada uma com o embrião voltado para o mesmo sentido. Em seguida, as sementes foram totalmente cobertas com papel toalha e umedecidas com borrifador de água uma vez por dia até a germinação.

Após seis dias, a raiz primária das sementes já apresentava entre 0,9 cm e 2,5 cm de comprimento, como mostrado na Figura 1a. Por sua vez, as sementes que apresentaram as suas raízes primárias maiores foram plantadas diretamente nos tubetes com os devidos substratos amostrais, tomando o devido cuidado para não danificá-las, com estas voltadas para baixo, deixando, no máximo, 0,5 cm da testa da semente voltada para fora do substrato presente nos tubetes. A irrigação teve uma periodicidade de duas vezes ao dia com pulverização automática, verificando, inicialmente, a eventual necessidade de irrigação complementar.

O experimento foi conduzido utilizando tubetes de 280cm³ dispostos linearmente e espaçados nas bandejas para tubetes, sendo avaliados, seguindo um delineamento inteiramente casualizado, dez tratamentos, sendo cinco para o lodo de estação de tratamento de esgotos (LETE) e cinco com o esterco bovino curtido (EBC), com dez repetições cada, sendo: T1 [20% LETE + 80% (S)], T2 [40% (LETE) + 60% (S)], T3 [60% (LETE) + 40% (S)], T4 [80% (LETE) + 20% (S)] e T5 [100% (LETE)], para o LETE; e T1 [20% (EBC) + 80% (S)], T2 [40% (EBC) + 60% (S)], T3 [60% (EBC) + 40% (S)], T4 [80% (EBC) + 20% (S)] e T5 [100% (EBC)], para o EBC. Para efeito de controle foi adicionado o tratamento T_{controle} com 100% solo (S), totalizando 110 parcelas amostrais de mudas da *Theobroma cacao*.

Para o preenchimento dos 110 tubetes com suas respectivas concentrações lodo de esgoto tratado e esterco curtido foram necessários 14L de solo, 8,4L de LETE e 8,4L de EBC. Todos cuidadosamente misturados separadamente utilizando EPIs como máscara, óculos de proteção e luvas em ambiente aberto.

O solo foi coletado na casa de vegetação da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), localizada no município de Ilhéus, sendo este o mesmo solo de compostagem utilizado para produção de mudas na instituição.

O LETE foi adquirido em uma ETE da EMBASA localizada na zona sul da cidade de Ilhéus, onde a degradação anaeróbia via reator UASB, o lodo passou por um beneficiamento constituído da desidratação em um leito de secagem. A amostra, então, se encontrava seca, estabilizada e endurecida e deste modo utilizada no experimento.

O esterco bovino foi coletado em uma fazenda de gado situada no distrito Inema, também no município de Ilhéus. A amostra foi estabilizada sobre uma lona em área aberta para a aeração natural e exposto à luz solar durante 30 dias. Para evitar interferências no processo, durante à noite o material era revolvido e armazenado em local coberto, para a devida aeração e para evitar que alguma precipitação umedecesse a massa. Ao final dos 30 dias, o esterco não apresentava mais o odor característico e estava seco.

O monitoramento dos parâmetros analíticos básicos aconteceu de modo que a cada 15 dias medições eram feitas, sendo, assim, aos 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias após o plantio. Foram mensurados: altura (H), com régua milimétrica do coleto até a gema apical; diâmetro do coleto (DC), utilizando paquímetro digital, conforme Figura 1b; e número de folhas (F), contados visualmente as folhas completamente formadas.

Figura 1 – Medições do comprimento da raiz primária (a), do diâmetro do coleto (b) e da altura da parte aérea (c).



Fonte: Própria autoria (2023)

A massa fresca da parte aérea (MFPA), outro parâmetro medido, foi determinada separando a parte aérea do sistema radicular na altura do coleto, utilizando tesoura de poda, sendo armazenadas as amostras previamente em saco de papel, para facilitar o transporte e a identificação, sendo a massa determinada

utilizando a Balança Analítica Urano Ua220 com graduação de 0,0001, no laboratório de Ciências I, localizado no Campus Jorge Amado (CJA) da UFSB. Para a massa fresca da raiz (MFR), as amostras do sistema radicular foram retiradas cuidadosamente dos tubetes, lavadas e dispostas sobre papel toalha para retirada da umidade excessiva e a medição do comprimento da raiz (HR), como mostrado na Figura 2b, sendo, posteriormente, acondicionadas em sacos de papel e os seus respectivos pesos aferidos na mesma balança de precisão.

Figura 2 – Organização das amostras nos tubetes (a) e de medição do comprimento da raiz ao final do experimento (b).



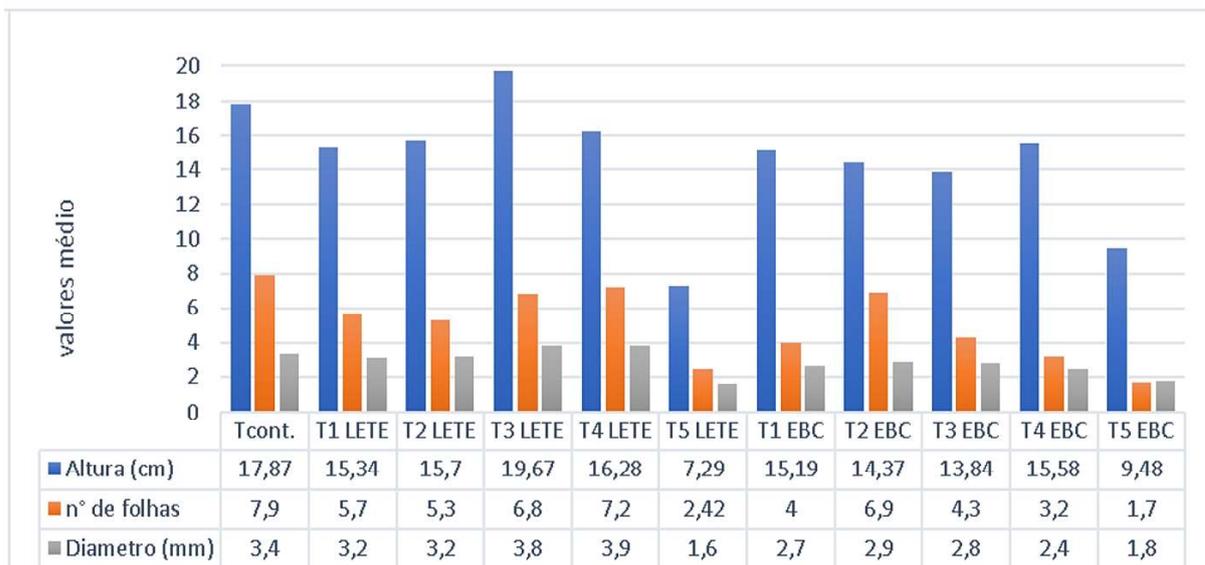
Fonte: Própria autoria (2023)

Para a medição da massa seca da parte aérea (MSPA) e da massa seca da raiz (MSR), as amostras foram desidratadas, utilizando estufa de secagem da marca Lucadema, do Laboratório de Ciências I, localizado no Campus Jorge Amado (CJA) da UFSB, sob a temperatura de 65 °C por 48h. Após a secagem, as amostras foram pesadas na mesma balança analítica utilizada nas etapas anteriores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elevada quantidade de lodo de ETE gerado no Brasil pode ser considerada preocupante, se observados os requisitos necessários para a correta disposição final deste resíduo. Em contrapartida, diversos estudos sugerem o uso agrícola deste material como um condicionador do solo, apresentando resultados significativos em suas pesquisas. Na Figura 3, são apresentadas as médias amostrais dos parâmetros de altura, número de folhas e diâmetro do caule do experimento realizado.

Figura 3 – Comparação dos resultados de altura, número de folhas e diâmetro do caule em função do tipo de tratamento.



Fonte: Própria autoria (2024)

Em comparativo às amostras de controle contendo apenas solo, os tratamentos com LETE e EBC se mostraram eficazes no desenvolvimento das plantas, deixando evidente que o uso destes são, de fato, uma alternativa sustentável para a produção de mudas de cacauzeiros.

Com relação à altura das mudas dos substratos com LETE, o T3 mostrou os melhores resultados, onde as amostras R3 e R7 alcançaram, respectivamente, 32,1 cm e 28,4 cm, sendo maiores que a altura média de T_{controle}, que alcançou 23 cm. Em seguida, a média das medições para as amostras de T4 registrou 23,6 cm. Para os tratamentos com EBC, por sua vez, os maiores valores registrado se deram para T3, sendo a amostra R9 a maior medição, com 18,8 cm.

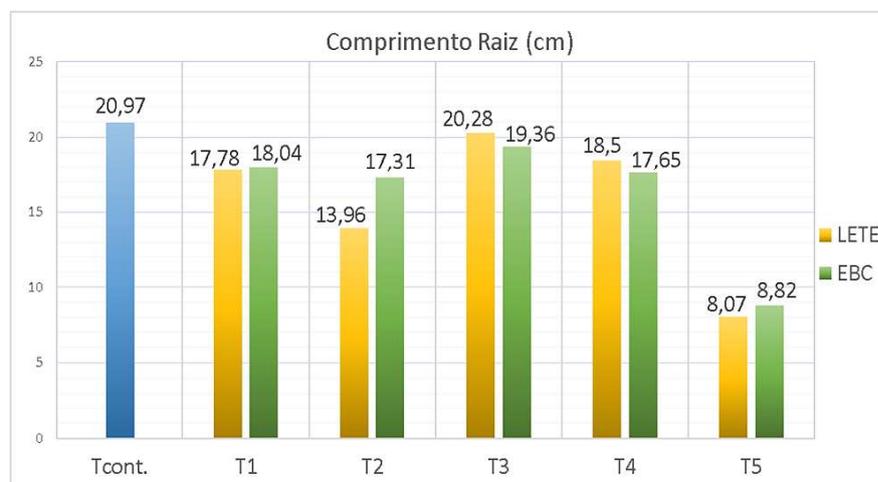
Para o número de folhas, os resultados foram positivos em ambos os tratamentos, entretanto as amostras com LETE apresentaram visualmente um melhor

aspecto geral. Especificamente sobre a contagem, o T4 com o LETE e o T2 para o EBC apresentaram os melhores resultados, com as respectivas amostras R8 e R10 tendo 12 folhas, enquanto o T_{controle} com as amostras R6, R7 e R10 apresentando 10 folhas. Destaca-se que para T2 com o EBC a média final do tratamento não ultrapassou 7 folhas, assim foi vista a amostra com 12 folhas como um ponto isolado fora da curva.

Quanto ao diâmetro do coleto, os melhores resultados com o LETE foram registrados para as amostras do T4, das quais nove ultrapassaram 4 milímetros, e do T3, que teve média igual a 3,8 mm de espessura, destacando-se que, para este último, o maior valor registrado foi para a amostra R6 com 5,8 mm. De modo geral, a maioria das amostras apresentaram resultados significativos nesse parâmetro, onde os tratamentos com LETE T1, T2, T3, e T4 resultaram em diâmetros médios entre 3,2 mm e 3,9 mm, enquanto 3,5 mm foi o médio do T_{controle} e 2,9 mm para T2 e T3 com o EBC.

Para o comprimento da raiz, os tratamentos T3 com LETE e T3 com EBC foram os que retornaram com os melhores resultados como mostrado na Figura 4, porém estes foram semelhantes ao T_{controle}, tendo, por exemplo, a amostra R9 de T_{controle} 33,2 cm e a R7 de T3 com LETE 31,3 cm. Os tratamentos com 100% de LETE e EBC resultaram em comprimentos distintos entre si, valendo destacar a capacidade de desenvolvimento de mudas nesses substratos extremos.

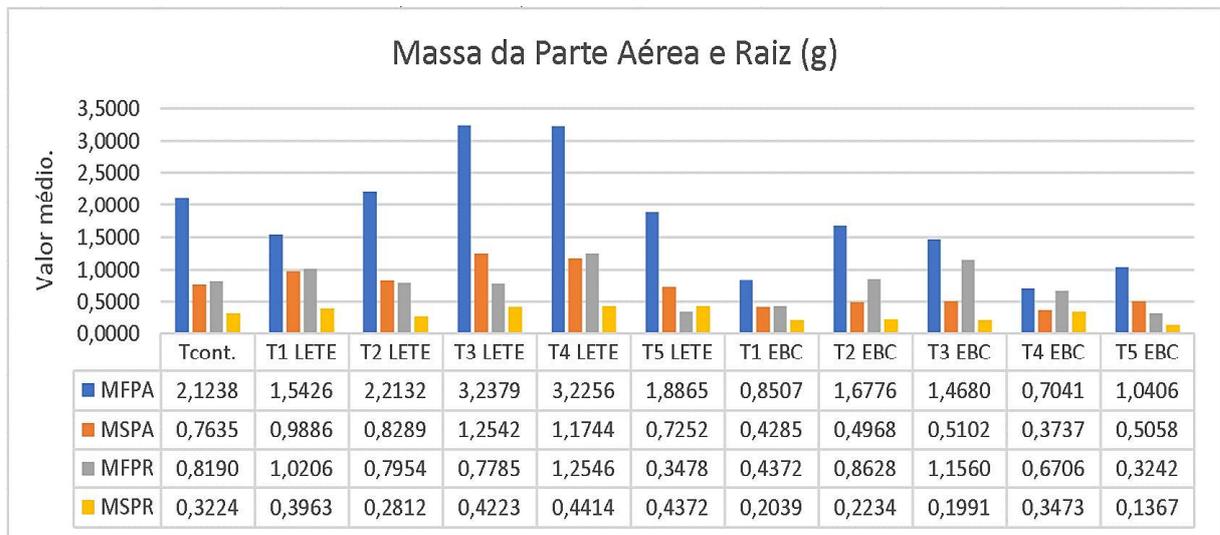
Figura 4 – Comprimento da raiz.



Fonte: Própria autoria (2024)

Quanto à MFPA, os tratamentos T3 e T4 com LETE alcançaram um peso ligeiramente acima de 3,0 g, sendo os maiores valores obtidos com as amostras R6 e R10 do T3 com LETE, registrando, respectivamente, 6,9589 g e 6,6735 g. Embora o T_{controle} tenha registrado 2,1238 g em sua média, este ainda obteve em um resultado superior a todos os tratamentos com EBC, onde o T3 registrou a maior média com 1,6780 g.

Figura 5 – Massa fresca e massa seca tanto da parte aérea quanto da raiz.



Fonte: Própria autoria (2024)

Quanto à MFR, o T4 com LETE resultou em uma média de 1,2556 g, seguido do T3 com EBC, com 1,1560 g, o que justifica o desenvolvimento visualmente melhor da parte aérea desses tratamentos. Embora os parâmetros anteriores do T_{controle} sejam considerados ótimos e próximos aos valores de T3 e T4 para LETE e EBC, a MFR retornou média de 0,8190 g, o que indica um beneficiamento radicular para as amostras com misturas no substrato. Como mostrado na Figura 5, os tratamentos com 100% LETE e EBC não apresentaram resultados satisfatórios, se comparados aos demais tratamentos.

O desenvolvimento das muda mais significativo para os tratamentos com LETE, estão ligados à presença dos nutrientes contidos no lodo de esgoto. Segundo Bettiol e Camargo (2006), o uso de lodo de esgoto em solos agrícolas traz benefícios significativos, principalmente pela adição de macronutrientes e micronutrientes. No entanto, como o lodo contém baixas quantidades de potássio (K), é necessário complementar o solo com fertilizantes minerais ricos nesse nutriente. Ainda de acordo

com os autores, o lodo possui aproximadamente 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, e o restante é composto por uma variedade de micro e macronutrientes, como boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), molibdênio (Mo), cloro (Cl), cobalto (Co), silício (Si), manganês (Mn), sódio (Na), magnésio (Mg), enxofre (S) e cálcio (Ca). Abaixo é mostrado a Tabela 1 que apresenta a composição química típica do lodo de esgoto doméstico tratado.

Tabela 1 – Composição química e algumas propriedades típicas do lodo de esgoto.

Item	Unidade	Lodo Secundário		Lodo Primário	
		Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos Totais	%	2,0 - 8,0	5,0	6,0 - 12,0	10,0
Sólidos Voláteis	% de ST	60 - 80	6,5	30 - 60	40,0
Nitrogênio	% de ST	1,5 - 4,0	2,5	1,6 - 6,0	3,0
Fósforo	% de ST	0,8 - 2,8	1,6	1,5 - 4,0	2,5
Potássio	% de ST	0,1 - 1,0	0,4	0 - 3,0	1,0
pH	-	5,0 - 8,0	6,0	6,5 - 7,5	7,0
Alcalinidade	mgCaCO ₃ /l	500 - 1500	600	2500 - 3500	3000

Fonte: Campos (1999, p.272) apud Metcalf e Eddy (1991)

A Tabela 2 apresentada por Eurípedes (2018) de análise físico-química do esterco bovino (EB) como substrato alternativo na produção de mudas de melão em conjunto com substrato comercial (SC), também mostra os nutrientes presente típico desse substrato.

Tabela 2 – Análise físico-química dos substratos.

Substratos	pH	N	P	K	Ca	Mg	MO	C
100% EB	7,20	82,00	3,10	20,80	3,00	3,00	88,00	50,00
75% EB + 25% SC	6,85	66,00	2,70	18,90	3,30	3,00	86,80	49,30
50% EB + 50% SC	6,50	50,00	2,30	16,90	3,50	3,00	85,50	48,60
25% EB + 75% SC	6,15	34,00	1,90	15,00	3,80	3,00	84,30	47,90
100% SC	5,80	18,00	1,40	13,00	4,00	3,00	83,00	47,20

Fonte: SILVA JÚNIOR (2018).

Essas análises reforçam que uso de lodo de esgoto tratado, rico em nitrogênio e fósforo, pode trazer inúmeros benefícios para o crescimento e a saúde das plantas. A aplicação adequada desses nutrientes resulta em maior biomassa foliar, raízes mais

desenvolvidas e caules mais resistentes, proporcionando uma planta mais vigorosa e com maior capacidade de resistir a estresses ambientais. Portanto, as interações entre Nitrogênio, Fósforo e Potássio, onde o equilíbrio entre esses três macronutrientes comumente representado pela fórmula N-P-K, é essencial para o crescimento saudável das plantas. Um fornecimento excessivo de um nutriente e insuficiente de outro pode causar desbalanços que afetam a morfologia da planta.

Dito isto, a literatura supracitada destaca o nitrogênio como o macronutriente que tem o maior impacto no crescimento foliar, com o fósforo auxiliando indiretamente ao promover o desenvolvimento radicular, que por sua vez garante a absorção eficiente de nutrientes. Já o fósforo é o principal responsável pelo crescimento radicular, enquanto o potássio regula o equilíbrio hídrico e contribui para a resistência das raízes em condições adversas.

Anteriormente foi demonstrado a Figura 3 simplificadamente a diferenças desses parâmetros aéreos entre todos os tratamentos amostrais. Vale ressaltar que amostras com 100% de LETE e EBC, embora tenha apresentado diferenças distintas entre as repetições e metade das mudas não se desenvolveram ou pereceram durante o curso do experimento, ainda sim indica a possibilidade de utilizar o lodo de esgoto em sua maior concentração. Um dos fatores que talvez tenha interferido no desenvolvimento radicular para o T5 com LETE tenha sido sua compactação e lenta absorção de água. Logo, uma solução para novas pesquisas que se resolva utilizar 100% LETE seria acondicionar o biossólido em um recipiente maior e aumentar o número de irrigações para evitar o enrijecimento do lodo. Quanto ao esterco, seu uso para concentrações acima de 80% não é indicado por conta da lixiviação facilitada pela porosidade do esterco e a dificuldade de saber se há presença de nutrientes suficiente durante o desenvolvimento.

Por fim, observou-se que os tratamentos com lodo de esgoto tratado em sua composição apresentaram ligeiramente valores dos parâmetros maiores ao dos demais tratamentos.

5. CONCLUSÃO

Com este estudo, foi possível demonstrar que as utilizações de lodo de ETE e de esterco bovino curtido na produção de mudas de *Theobroma cacao* representam duas oportunidades promissoras, podendo potencializar uma redução da dependência de fertilizantes sintéticos e promover a sustentabilidade ambiental, com impactos tanto no setor agrícola quanto no florestal, já que as concentrações de LETE estudadas provavelmente podem ser replicadas para outras espécies de plantas. Para isso, foi visualizada a importância de tratar esses resíduos e obter produtos com valor, pois estes que são apenas subprodutos dos sistemas de tratamento de esgotos e da atividade de criação de gado confinado, quando tratados passam a ter relativamente estabilidade das suas cargas orgânicas e uma alta concentração de nutrientes, podendo contribuir significativamente para a produção de mudas e o desenvolvimento de plantas. Todavia, é crucial considerar as especificidades locais e as características específicas quanto ao uso desses produtos em plantações, sobretudo as técnicas e as legais.

Os resultados apresentados, do ponto de vista científico, podem ser considerados como parâmetros para posteriores estudos mais detalhados, sugerindo-se a realização de análises físico-químicas do lodo, do esterco e do solo nas diversas fases (após a coleta, após o tratamento e após a mistura dos substratos), afim de analisar correlações com os parâmetros medidos nas amostras de mudas, bem como com lodos de outros sistemas de tratamento, esterco gerados em outros empreendimentos e solos com outras características.

Assim, foi possível inferir que a produção de mudas de *Theobroma cacao* em substratos contendo lodo de ETE e esterco bovino, ambos tratados, sobretudo em altas concentrações no volume do meio de plantação, pode ser uma prática adotada na região de Ilhéus, além de puder ser replicada em localidades circunvizinhas que possuam as suas características climáticas, geomorfológicas e agrícolas semelhantes, assim evitando eventuais destinações inadequadas destes resíduos com altas concentrações de poluentes e possibilitando uma nova de atividade comercial: produção e venda dos compostos fertilizantes.

REFERÊNCIAS

ONOFRE, S. B.; ABATTI, D.; TESSARO, A. **Propriedades Físico-químicas e Microbiológicas do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento (ETE) de Toledo - Paraná.** Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/IX-009.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

BETTIOL W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de Esgoto, impactos ambientais na agricultura.** 1ª ed. Jaguariúna SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/14948>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acesso em: 18 set. 2024.

CARVALHO, L. M. **Estudo de viabilidade técnica e econômica do uso do lodo de estação de tratamento de esgoto como fertilizante agrícola.** Estudo de caso Araguaína, TO. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, 2018 Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11422/10005>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução Conama Nº 430, de 13 de maio de 2011.** Livro Conama. Pg 420 a 427. Disponível em: <<https://conama.mma.gov.br/images/conteudo/LivroConama.pdf>> Acesso em: 30 ago. 2024.

CLIMADATA: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Itabuna. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia/itabuna-4466/>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

DELIBACAK, S.; ONGUN, A. R. Influence of treated sewage sludge applications on corn e second crop wheat yield and some properties of Sandy Clay Soil. **Turkish Journal Of Field Crops**, v.21, n.1, p.1, 2015. Disponível em: <<https://www.field-crops.org/assets/pdf/product566fe46d916c0.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2024.

SANTOS, M. G. **Morfometria de frutos e sementes, desenvolvimento pós seminal e germinação de Theobroma subincanum Martius in Buchner (Malvaceae).** Dissertação Mestrado em Ciências Ambientais. Universidade do Estado de Mato Grosso. 2011. Disponível em: <http://portal.unemat.br/media/oldfiles/ppgca/docs/maria_santos.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2024.

EMBASA BAHIA. Zona Sul de Ilhéus ganha Estação de Tratamento de Esgoto. Publicação **G1**. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ba/bahia/especial-publicitario/embasa/facilidades-para-voce/noticia/2020/10/15/zona-sul-de-ilheus-ganha-estacao-de-tratamento-de-esgoto.ghtml>>. Acesso em: 11 set. 2024.

SILVA JÚNIOR, V. E. et al. Esterco bovino como substrato alternativo na produção de mudas de melão. Areia-PB, **Revista Agropecuária Técnica**, v. 39, n. 2. p. 112–119, 2018.

FAUSTINO, R. et al. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de Senna siamea Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. suppl 1, p. 278–282, 1 jan. 2005.

MELO, W. J., MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: Betitoli, W. e Camargo, O. A.(eds), Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna, SP. **Embrapa Meio Ambiente**. 2000. p.11-24.

MUNHOZ, R. O.; BERTON, R. S. Disponibilidade de Fósforo para o Milho em Solo que Recebeu Lodo de Esgoto. In: Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna, SP: **Embrapa Meio Ambiente**. p. 91-124. 2006. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221098/1/2006PL-Munhoz-disponibilidade-6321.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2024.

NUVOLARI, A. (coord.). **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2. ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 2011. p.43.

SINIR+. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-dos-servicos-de-saneamento-basico/>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SNIS. Sistema Nacional de Informação Sobre saneamento. **Esgotamento Sanitário**. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es>>. Acesso em: 30 ago. 2024.

SIQUEIRA, D. P.; BARROSO D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal. **Vértices (Campos dos Goitacazes)**, v. 19, n. 3, 2017.

SONALY, O.; REZENDE, C. **Cadernos temáticos para o panorama do saneamento básico no Brasil**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/arquivos/panorama_vol_07.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2024.