



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE - UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS - CCAA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS – DCF

ISADORA LUZ SILVA MOREIRA VIEIRA

**USO DE LODO DE ESGOTO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA A
PRODUÇÃO DE MUDAS DE *EUCALYPTUS* SPP.: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

São Cristóvão - SE

2025

ISADORA LUZ SILVA MOREIRA VIEIRA

**USO DE LODO DE ESGOTO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA A
PRODUÇÃO DE MUDAS DE *EUCALYPTUS* SPP.: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Sergipe – UFS, como parte do requisito para obtenção de grau em Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Alessandra Maria Ferreira Reis

São Cristóvão - SE

2025

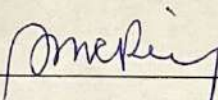
ISADORA LUZ SILVA MOREIRA VIEIRA

**USO DO LODO DE ESGOTO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATOS PARA A
PRODUÇÃO DE MUDAS DE EUCALYPTUS SPP.: Uma revisão sistemática.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Ciências Florestais da
Universidade Federal de Sergipe (UFS), como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

São Cristóvão – SE, 21 de fevereiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dra. Alessandra Maria Ferreira Reis – DCF/UFS
(Orientadora)



B.Sc. Kássio Batista Da Rós
(Orientador técnico)



Prof. Dr. Cantidio Fernando Gouvea – DCF/UFS
(Professor Correlato)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar a possibilidade de estar vivendo neste plano. Agradeço também à minha mãe, Dolores Moreira, e ao meu pai, Edilson Vieira, por terem me concebido; se não fosse por eles, jamais estaria aqui.

Agradeço aos meus amigos de curso, Kássio e Túlio, por terem sido pessoas compreensivas, especiais e por serem incríveis, sempre me ajudando quando precisei.

Agradeço imensamente ao meu amigo Luan/Luã, que me acolheu e me doou um pouco da força das matas que eu precisava.

Agradeço à minha avó paterna, Maria Expedita, que me deu os meios necessários para que eu pudesse continuar e concluir este ciclo.

Agradeço ao meu padrinho, Felipe Teixeira, por me auxiliar na tradução e me dar força para continuar escrevendo.

Agradeço imensamente à minha orientadora, Alessandra Reis, pela compreensão, paciência e por acreditar na minha capacidade.

“Ninguém vive sem obrigação e quem tem obrigação
tem sempre um dever a cumprir”
Mestre Irineu

RESUMO

O desenvolvimento sustentável tem sido uma temática cada vez mais discutida, principalmente dentro do setor industrial brasileiro e mundial. Diante disso, o lodo de esgoto, composto proveniente de estações de tratamento, tem sido foco de estudos como um componente na composição de substratos para a produção de mudas florestais. Em face do exposto, foi realizada uma revisão sistemática com o intuito de compilar dados de artigos científicos sobre o aproveitamento do lodo de esgoto na produção de mudas de *Eucalyptus* spp. Para atingir o objetivo proposto, foram realizadas buscas em periódicos indexados em bases de dados disponíveis no portal de periódicos da CAPES. Após a leitura e a aplicação de critérios de seleção, foram contemplados 12 artigos. Houve predominância de pesquisas na região Sudeste, e 2020 foi o ano com o maior número de publicações. O aproveitamento do lodo de esgoto e/ou biochar foi avaliado em espécies de *Eucalyptus grandis*, *urograndis* e *benthamii*, em combinação com resíduos agrícolas, fertilizantes e/ou sem associações. As condições de uso variaram entre lodo curtume “in natura”, compostado, biocarvão e biossólido. Verificou-se que, quanto menor a proporção de lodo de esgoto, menor a disponibilidade de Ca e Mg. Além disso, o lodo apresenta maior microporosidade, o que influencia a densidade aparente das composições e as porcentagens de macroporosidade, de acordo com as associações e proporções das misturas. Quanto ao desenvolvimento das mudas, os valores de altura e diâmetro do colo foram maiores com a adição de vermiculita, embora as associações com resíduos orgânicos, como palha de café in natura, tenham apresentado valores favoráveis, principalmente quando aplicados 80% de lodo de esgoto. O uso do lodo na forma de biochar mostrou-se mais favorável para o desenvolvimento das mudas; entretanto, com o aumento das doses, houve queda no índice de qualidade.

Palavras-chave: Substrato, Lodo de esgoto, *Eucalyptus* e mudas.

ABSTRACT

Sustainable development has become an increasingly discussed topic, especially within the Brazilian and global industrial sectors. In this context, sewage sludge, a byproduct of wastewater treatment plants, has been the focus of studies as a component in the composition of substrates for forest seedling production. Given this, a systematic review was conducted to compile data from scientific articles on the use of sewage sludge in the production of *Eucalyptus* spp. seedlings. To achieve the proposed objective, searches were carried out in indexed journals available in the CAPES journal portal. After reading and applying selection criteria, 12 articles were included in the analysis. The Southeast region had the highest concentration of studies, and 2020 was the year with the greatest number of publications. The use of sewage sludge and/or biochar was evaluated in *Eucalyptus grandis*, *urograndis*, and *benthamii* species, either in combination with agricultural residues and fertilizers or without any additives. The sludge was used in different conditions, such as raw, composted, biochar, and biosolid forms. It was observed that the lower the proportion of sewage sludge, the lower the availability of Ca and Mg. Additionally, sludge has higher microporosity, which affects the bulk density of compositions and the macroporosity percentages according to the combinations and mixture proportions. Regarding seedling development, height and stem diameter values were higher with the addition of vermiculite, although associations with organic residues, such as raw coffee husk, also presented favorable results, especially when 80% sewage sludge was applied. The use of sludge in biochar form proved to be more favorable for seedling development; however, with increasing doses, a decline in the quality index was observed.

Keywords: Substrate, Sewage sludge, *Eucalyptus*, Seedlings.

Sumário

ABSTRACT.....	7
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 Materiais e Métodos	10
2.1 Acesso ao Portal de Periódicos da CAPES	10
2.2 Escolha e definição das palavras-chave	10
2.3 Pesquisa das publicações e configurações de busca	11
2.4 Leitura e seleção analítica dos artigos	11
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
3.1 Relação dos artigos selecionados	13
3.2 Distribuição geográfica e anual das pesquisas.....	14
3.3 Espécies de <i>Eucalyptus</i> spp., técnicas de propagação, tipo de recipiente e capacidade volumétrica.....	15
3.4 Condições de aproveitamento do lodo de esgoto e formulações testadas	17
3.5 Caracterização físico-química dos substratos	22
3.6 Avaliações e resultados encontrados na produção de mudas	28
4 Considerações finais.....	35
REFERENCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto se caracteriza como um subproduto do tratamento das águas residuais das estações de tratamento, surgindo assim, como um resíduo e uma alternativa viável para utilização no crescimento inicial das mudas, sendo um excelente fornecedor de matéria orgânica, melhorando as propriedades físicas do solo (Caldeira et al., 2014). O uso deste material na composição de substratos, que é rico em fósforo e nitrogênio entre outros nutrientes encontrados em menores concentrações, o torna uma alternativa viável economicamente, além de apresentar benefícios ambientais (Trigueiro; Guerrini, 2003). Desta forma, seu uso como substrato para produção de mudas tem o potencial de minimizar a contaminação ambiental por elementos potencialmente tóxicos (Rocha et al., 2013).

A eficácia do uso de distintas composições de substratos na produção de mudas em viveiros tem sido amplamente estudada, destacando-se a riqueza de nutrientes presentes no lodo como um aspecto frequentemente mencionado (Silva et al., 2018). Os arranjos percentuais dos componentes das misturas devem ser considerados na composição do substrato, pois estes irão resultar em diferentes quantidades de nutrientes, oxigênio e capacidade de retenção hídrica. (Trigueiro; Guerrini, 2003).

A busca por uma formulação de substrato que garanta a produção de mudas de eucalipto em quantidade e qualidade está diretamente ligada à relevância desse gênero na formação de povoamentos florestais. O eucalipto se destaca pelo rápido crescimento e pela excelente adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima, o que possibilita ciclos de corte mais curtos e uma maior produtividade em comparação às espécies florestais nativas (Barreto et al., 2007), sendo também a principal espécie florestal plantada no Brasil e de grande importância econômica para o país. O seu cultivo exige a produção de mudas e os substratos utilizados são geralmente caros e pobres em nutrientes, requerendo adição de fertilizantes.

As mudas devem possuir uma qualidade satisfatória de forma a evitar perdas por mortalidade e o baixo desenvolvimento após plantio, aliado à redução dos tratamentos culturais aplicados na plantação decorrente da matocompetição, determinado pelo elevado crescimento inicial da cultura (Figueiredo et al., 2011). Dito isto, diversos trabalhos tem sido realizados com o intuito de melhorar a qualidade e reduzir os custos de produção, sendo o substrato um dos fatores que influenciam, pois este fornece o suporte às mudas, água e nutrientes necessários para o crescimento das plantas (Hartmann et al., 2011).

O aproveitamento de resíduos regionais, reduz o custo dos substratos, embora este varie de acordo com os materiais disponíveis (Wendling et al., 2007; Melo et al., 2014). Os substratos comerciais, em sua maioria, encontram-se disponíveis em locais específicos do país, contribuindo para o aumento do custo das mudas em função do transporte para regiões mais distantes (Kratz et al., 2013 a).

Nesse contexto, essa revisão sistemática propõe analisar o desenvolvimento de pesquisas voltadas ao aproveitamento do lodo de esgoto na produção de mudas de espécies de *Eucalyptus* spp., apresentando as principais formas e condições de uso, bem como os materiais associados na composição dos substratos e dos resultados obtidos relacionados à qualidade físico-química do solo e à resposta no desenvolvimento das mudas, sendo estes comparados, visando estabelecer uma composição que apresenta um melhor resultado no desenvolvimento de mudas, e as perspectivas para futuras pesquisas.

2 Materiais e Métodos

2.1 Acesso ao Portal de Periódicos da CAPES

Ferramentas de buscas por referências bibliográficas, atuando como plataforma teórica de pesquisa, tornaram-se a evolução dos sistemas de informação, em especial a base de dados correspondente à indexação de periódicos e trabalhos acadêmicos. (Lacerda et al., 2012), facilitando a busca e seleção de material bibliográfico em diferentes áreas científicas. Sendo assim, o portal de periódicos da CAPES foi implementado com o objetivo de facilitar o acesso à base de dados de produção científica, fornecendo textos completos em sites com periódicos de acesso gratuito, ambos de alta qualidade e relevância à comunidade acadêmica (Santana; Peixoto, 2010).

Diante do exposto, as bases de dados escolhidas para viabilizar a pesquisa foram “SCOPUS (Elsevier)” e “Web of Science (Clarivate Analytics)”. O acesso ao Portal de Periódicos da CAPES se deu através do login da Universidade Federal de Sergipe (UFS) na Comunidade Acadêmica Federada (CAFe).

2.2 Escolha e definição das palavras-chave

Tendo como base a fundamentação teórica, a escolha de palavras-chave para a pesquisa percorreu por meio de termos que se associam ou aproximam do objetivo da análise. Foram

escolhidas as palavras, em português “*eucalipto > lodo de esgoto > mudas*”, em inglês “*Eucalyptus > sewage sludge > seedlings*”.

2.3 Pesquisa das publicações e configurações de busca

O acervo do Portal de Periódicos da CAPES foi o meio utilizado para acessar bases de dados sem restrição. Desta forma, redirecionou-se para as principais bases escolhidas e foram inseridas as palavras-chaves nos respectivos campos de busca. Com o intuito de se obter resultados mais significativos, as configurações de preenchimento foram feitas no idioma inglês e português.

Não houve a aplicação de filtros de restrição como assunto, data de criação, base de dados, idioma e título do periódico. A tabela 1, mostra as configurações de preenchimento inseridas de acordo com a interface de cada base de dados, assim como a quantidade de resultados gerados.

Tabela 1. Configurações de preenchimento e resultados da busca.

Base de dados	Idioma das palavras	Configurações adotadas nas buscas	Número de resultados	Artigos selecionados
SCOPUS	Português	TITLE-ABS-KEY Eucalipto AND TITLE-ABS-KEY lodo AND de AND esgoto AND TITLE-ABS-KEY mudas	04	03
	Inglês	TITLE-ABS-KEY Eucalyptus AND TITLE-ABS-KEY sewage AND sludge AND TITLE-ABS-KEY seedlings	28	12
Web of Science	Português	Eucalipto and lodo de esgoto and mudas	0	0
	Inglês	Eucalyptus and Sewage Sludge and Seedlings	26	11
TOTAL DE ARTIGOS CONTEMPLADOS				26

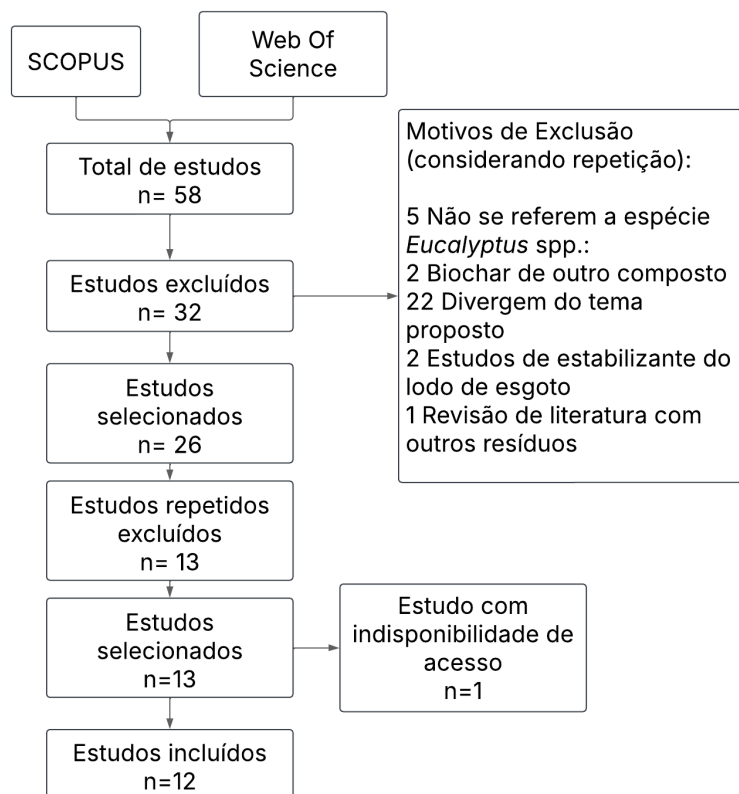
Fonte: Autor (2025). Busca feita em 11/12/2024.

2.4 Leitura e seleção analítica dos artigos

Conforme os resultados obtidos na Tabela 1, apenas 26 artigos foram contemplados, escolhidos de acordo com a temática proposta na revisão, por meio da leitura dos títulos e resumos. Dessa forma, os selecionados foram exportados das bases de dados em formato BibTeX (ferramenta de gerenciamento de bibliografias) para utilização no software R, no qual foi possível remover os artigos duplicados.

O critério de seleção considerado foi a análise dos dados relacionados ao uso de substrato de lodo de esgoto, com ou sem associação a outros materiais, para a produção de mudas de *Eucalyptus* spp. Além disso, verificou-se se esses artigos também apresentavam dados relacionados à morfologia e ao desenvolvimento das mudas em associação com os respectivos substratos, a figura 1 apresenta de forma mais detalhada como ocorreu a seleção do artigos.

Figura 1. Sistematização dos estudos selecionados para a revisão



Fonte: Autor (2025).

Na base SCOPUS, as pesquisas no idioma português retornaram quatro artigos, dos quais apenas três estavam de acordo com os objetivos da pesquisa. No idioma inglês, foram encontrados 28 resultados, mas apenas 12 estavam alinhados à temática proposta.

Na base de dados Web of Science, não foram encontrados artigos na configuração de pesquisa em português. No entanto, ao adotar a configuração em inglês, foram gerados 26 resultados, dos quais 11 eram passíveis de seleção.

Portanto, a revisão sistemática contemplou um total de 26 artigos que, após a verificação de duplicidade no software R, resultou em 13 artigos para integrar o desenvolvimento deste estudo.

Com relação aos artigos desconsiderados nas buscas, um dos principais motivos foi a divergência entre as ideias propostas nos estudos e o tema da revisão. Além disso, alguns artigos foram excluídos por apresentarem dados mais substanciais sobre a qualidade do solo, sem avaliar o desenvolvimento das mudas, ou por tratarem de espécies que não correspondiam àquela definida nesta revisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Relação dos artigos selecionados

A tabela 2 especifica os 13 trabalhos escolhidos, classificando-os em ordem alfabética por autor, bem como seus títulos e periódicos, especificando o artigo o qual não foi possível o acesso ao conteúdo completo.

Tabela 2. Lista dos artigos selecionados para compor a revisão sistemática.

Nº	Autores	Título	Periódico
1	Caldeira et al.(2013)a	Se of sewage sludge and vermiculite for producing eucalyptus seedlings; [lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto]	Pesquisa Agropecuária Tropical
2	Caldeira et al.(2014)b	Growth of seedlings of <i>eucalyptus grandis</i> using sewage sludge, coconut fiber and straw of coffee in natura; [crescimento de mudas de <i>eucalyptus grandis</i> usando lodo de esgoto, fibra de coco e palha de café “in natura”]	Floresta
3	Gabira et al.(2020)	Effects of water management and composted sewage sludge substrates on the growth and quality of clonal eucalyptus seedlings	Floresta
4	Garcia et al.(2010)	Growth of eucalyptus seedlings subjected to the application of biosolids; [crescimento de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de biossólidos]	Revista Ciência Agronômica
5	Higashikawa et al. (2016)	Physico-chemical evaluation of organic wastes compost-based substrates for <i>eucalyptus</i> seedlings growth	Communications in soil science and plant analysis

6	Kratz et al. (2017)	Physic-chemical properties and substrate formulation for <i>eucalyptus</i> seedlings production	Scientia forestalis
7	Manca et al. (2020)	Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as a commercial substrate for <i>eucalyptus urograndis</i> seedling production	Journal of cleaner production
8	Silva et al. (2014)*	<i>Eucalyptus urograndis</i> seedlings production with composted agro-industrial waste and sewage sludge	VII Congreso iberico de agroingenieria y ciencias hortícolas: innovar y producir para el futuro. Innovating and producing for the future
9	Silva et al. (2018)	Sewage sludge derived biochar and its effect on the growth and morphological traits of <i>eucalyptus grandis</i> w.hill ex maiden seedlings	Ciência Florestal
10	Silva et al. (2017)	Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings	Ciência rural
11	Silva et al. (2018)	Agroindustrial waste and sewage sludge as substrate for the eucalyptus urograndis seedling productions	Ciência Florestal
12	Stuep et al. (2020)	Survival and initial growth in the field of eucalyptus seedlings produced in different substrates	Pesquisa Agropecuária Brasileira
13	Zabotto et al. (2020)	Nutrition and physiology of hybrid eucalyptus urograndis in soil fertilized with sewage sludge	Emirates journal of food and agriculture

Fonte: Autor (2025). *Artigo com problema de acesso e desconsiderado.

3.2 Distribuição geográfica e anual das pesquisas

A partir da leitura da metodologia de todos os artigos, foi possível identificar as regiões do Brasil as quais os experimentos foram conduzidos, assim como a quantidade de pesquisas por estado brasileiro.

Conforme demonstrado na tabela 3, houve um predomínio da região sudeste do país, contabilizando um maior número de pesquisas, em especial os estados de Espírito Santo e São Paulo, responsáveis respectivamente por 03 e 04 artigos. Quanto às outras regiões, foram

identificados 02 experimentos realizados na região Sul, enquanto que em 02 artigos não foi possível identificar o local onde foram conduzidos os experimentos.

Tabela 3. Identificação de artigos por Região

Região do Brasil	Nº de pesquisas por Região	Autores
Sudeste	7	Caldeira et al.(2013)a; Caldeira et al. (2014)b;Garcia et al.(2010); Higashikawa et al. (2016);Manca et al.(2020); Silva et al(2018)b; Zabotto et al(2020).
Sul	3	Gabira et al.(2020);Kratz et al.(2017); Stuepp et al (2020)
Não identificado	2	Gonzaga et al.(2018); Silva et al (2017)

Com relação aos anos em que as pesquisas foram publicadas, o gráfico 1 ilustra que, com o passar dos anos, houve um aumento de estudos relacionados à temática e, no ano de 2020, houve 04 publicações, representando o maior número, seguido dos anos de 2017 e 2018 com 02 publicações cada e apenas 01 publicação nos anos de 2010, 2013,2014 e 2016.

Gráfico 1. Quantidade de artigos por Ano.



Fonte: Autor (2025)

3.3 Espécies de *Eucalyptus* spp., técnicas de propagação, tipo de recipiente e capacidade volumétrica

Na presente revisão, foram considerados: as espécies de *Eucalyptus* estudadas, técnicas de propagação, tipo de recipiente utilizado para o acondicionamento dos substratos, mudas e

sua capacidade volumétrica. A tabela 3 elucida essas informações de acordo com os autores.

Tabela 3. Espécies de eucalipto, propagação, recipiente e suas especificações.

Autores	Espécie de Eucalyptus	Técnica de Propagação	Recipiente	Capacidade Volumétrica
Caldeira et al.(2014)	<i>Eucalyptus grandis</i>	Semente	Tubete	280,00 cm ³
Caldeira et al.(2013)	<i>Eucalyptus grandis</i>	Semente	Tubete	280,00 cm ³
Gabira et al.(2020)	<i>Eucalyptus urograndis</i>	Estaquia	Tubete	50 cm ³
Garcia et al.(2010)	<i>Eucalyptus grandis</i>	Semente	Vaso	50 L
Gonzaga et al. (2018)	<i>Eucalyptis grandis</i>	Semente	Vaso	5 L
Higashikawa et al. (2016)	<i>Eucalyptus urograndis</i>	Estaquia	Tubete	180,00 cm ³
Kratz et al. (2017)	<i>Eucalyptus benthamii</i>	Semente	Tubete	55,00 cm ³
Manca et al. (2020)	<i>Eucalyptus urograndis</i>	Estaquia	Tubete	110,00 cm ³
Silva et al. (2017)a	<i>Eucalyptus grandis</i>	Semente	Tubetes	280,00 cm ³
Silva et al. (2018)b	<i>Eucalyptus urograndis</i>	Semente	Tubete	110,00 cm ³
Stuep et al.(2020)	<i>Eucalyptus benthamii</i>	Semente	Tubete	55,00 cm ³
Zabotto et al. (2020)	<i>Eucalyptus urograndis</i>	Estaquia	Vaso	14 L

Fonte: Autor (2025).

Conforme demonstrado na tabela 3, dos 12 artigos selecionados, 05 artigos utilizaram a espécie *Eucalyptus grandis* e 05 *Eucalyptus urograndis*, sendo estas as espécies mais utilizadas. O *Eucalyptus grandis* é a espécie mais plantada no Brasil (Souza et al., 2004) em razão do seu potencial produtivo e as características intrínsecas da madeira, sendo utilizada para produção de celulose, papel, painéis de fibra e aglomerado, combustível industrial e doméstico e produtos de serraria (Soares et al., 2003).

O *Eucalyptus urograndis* é um híbrido resultante de seleções em cruzamentos naturais ou de hibridações dirigidas entre clones de alto desempenho. Ele combina as características de crescimento acelerado e excelente forma do *E. grandis* com a resistência a enfermidades, tolerância à estiagem e facilidade de rebrota de *E. urophylla* (Filho & Santos, 2013)

O *Eucalyptus Benthami* utilizado por Kratz et al. (2017) e Stuepp et al. (2020), também possui características marcantes, como a tolerância a invernos rigorosos com frequente ocorrência de geadas. É uma espécie que estabeleceu seus primeiros plantios nas regiões de elevadas altitudes no sul do Brasil, devido à sua boa adaptação às condições climáticas regionais e também ao uso diversificado da madeira produzida, embora sua madeira possua predomínio para finalidades energéticas e na obtenção de peças roliças destinadas ao uso geral na propriedade rural (Santos et al., 2020).

O método de propagação mais empregado foi o seminal, sendo que o método de estaquia também foi utilizado na espécie de *Eucalyptus urograndis*.

Quanto ao tipo de recipiente, a escolha do uso de tubetes se apresenta em maior proporção, entretanto não houve um padrão em relação ao volume, apesar de apresentar um maior quantitativo de pesquisas com tubetes de maior volume, como nos estudos de Caldeira et al. (2013)a, Caldeira et al. (2014)b e Silva et al. (2017)a que utilizaram tubetes de 280 cm³. Por outro lado, também foram utilizados vasos para acondicionamento de substrato de maior volume, como nos estudos realizados por Gonzaga et al. (2018) e Zabotto et al. (2020). O recipiente é um fator que influencia a qualidade e os custos de produção. O tipo de recipiente e o volume interferem na quantidade de água e nutrientes ofertados à planta e também na arquitetura do sistema radicular (Gomes & Paiva, 2006)

3.4 Condições de aproveitamento do lodo de esgoto e formulações testadas

Verificou-se a forma de aproveitamento do lodo de esgoto e de seus materiais associados em diferentes proporções e condições físicas. A Tabela 4 apresenta as principais características desse aproveitamento, bem como os materiais associados e seus respectivos autores.

Tabela 4. Associação de materiais e condições de aproveitamento

Autores	Materiais usados em combinação com o lodo de esgoto	Condições de aproveitamento
Caldeira et al. (2014)	Fibra de coco e Palha de café “in natura”	LCN
Caldeira et al. (2013)	Vermiculita	LCN
Gabira et al. (2020)	Bagaço de Cana e Casca de Eucalipto	CLE

Garcia et al. (2010)	Cal Virgem	BIOS
Gonzaga et al. (2018)	Solo Kandiuults grossarênicos argilosos, caulíniticos e térmicos; NPK	BLE
Higashikawa et al. (2016)	Esterco de galinha; Esterco de gado; Casca de café; Casca de pinheiro; Serragem; Turfa; Fibra de Coco	CLE
Kratz et al. (2017)	Casca de arroz carbonizada; carvão com granulometria entre 1-3 mm; carvão com granulometria entre 3-5mm; casca de pinheiro semidecomposta	CLE
Manca et al. (2020)	Bagaço de Cana; 1,5%, 3,0%, 4,5% Superfosfato triplo e 1,5%, 3,0%, 4,5% fosfato reativo	CLE
Silva et al. (2017)a	Solo Kandiuults grossarênicos argilosos, caulíniticos e térmicos; NPK	BLE
Silva et al. (2018)b	Casca de pupunha	CLE
Stuep et al. (2020)	Casca de arroz carbonizada; carvão com granulometria entre 1-3 mm; carvão com granulometria entre 3-5mm; casca de pinheiro semidecomposta	CLE
Zabotto et al. (2020)	Latosolo Vermelho-Amarelo distrófico	CLE

Onde: LCN (Lodo curtume “in natura”), CLE (Lodo de esgoto de esgoto compostado), BLE (Biocarvão de lodo de esgoto/Biochar), BIOS (Biosólido de lodo de esgoto). Fonte: Autor (2025).

Devido ao lodo de esgoto apresentar uma elevada concentração de metais pesados, seu uso possui algumas restrições. Desta forma, a compostagem é utilizada como uma técnica de estabilização e higienização, eliminando patógenos (Aisse; Fernandes; Silva, 2001), visando atender às normas regulamentares do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (Resolução n.375/2006) (Brasil, 2006).

Os trabalhos de Gabira et al. (2020), Higashikawa et al. (2016), Kratz et al (2017), Manca et al. (2020), Silva et al. (2018)b, Stuep et al. (2020) e Zabotto et al. (2020) realizaram a técnica de compostagem, perfazendo 07 artigos abordados neste estudo.

Gonzaga et al. (2018) e Silva et al (2017)b optaram pelo uso do biocarvão de lodo de esgoto, obtido por meio da pirólise, processo que consiste na degradação térmica de materiais orgânicos com ausência de oxigênio, gerando três produtos: um líquido denominado bio - óleo, um material sólido denominado biocarvão e um produto gasoso não condensado, contendo monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano e outros hidrocarbonetos (Mccarl et al., 2009).

Caldeira et al. (2013)a e Caldeira et al. (2014)b optaram pelo lodo curtume “in natura”, que consistiu na disposição do lodo em pleno sol por 30 dias, sendo posteriormente, peneirado para sua homogeneização.

Garcia et al. (2010) utilizou o biosólido/lodo seco, cuja desinfestação foi realizada com cal virgem em uma proporção de 15% do peso seco do lodo, visando atender às normas definidas para sua utilização.

Quanto aos principais materiais associados, houve uma maior proporção de utilização de resíduos agrícolas como bagaço de cana de açúcar, palha de café e casca de arroz carbonizada, ambos perfazendo 02 artigos; bem como o uso de outros resíduos como fibra de coco, casca de pupunha, casca de pinheiro in natura e semidecomposta, casca de eucalipto, esterco de galinha e esterco de gado, sendo que em 06 artigos os autores optaram pela compostagem e em 01 artigo foi utilizado o lodo de curtume in natura.

O bagaço de cana consiste em um resíduo fibroso, oriundo do esmagamento e extração do suco, constituído por celulose, hemicelulose, lignina, cinza e cera. Possui alta relação C/N, sendo um ingrediente ideal no processo de compostagem (Manca et al., 2020).

Manca et al. (2020), além do uso de resíduos de bagaço de cana, acrescentaram outros compostos como superfosfato triplo e fosfato reativo.

A tabela 5, relaciona as proporções das associações testadas e seus respectivos autores.

Tabela 5. Proporções testadas e nomeação dos tratamentos.

Autores	Proporções testadas com Lodo de esgoto	Nomeação original dos tratamentos
Caldeira et al.(2013)a	SS (100%)	T1.a
	SS (80%) + VM (20%)	T2.a
	SS (60%) + VM (40%)	T3.a
	SS (40%) + VM (60%)	T4.a
	SS (20%) + VM (80%)	T5.a
Caldeira et al.(2014)b	SS (100%)	T1.b
	SS (80%) + FC (20%)	T2.b
	SS (60%) + FC (40%)	T3.b
	SS (40%) + FC (60%)	T4.b
	SS (20%)+ FC (80%)	T5.b
	SS (80%) + PCN (20%)	T6.b
	SS (60%) + PCN (40%)	T7.b

Gabira et al.(2020)	SS (40%) + PCN (60%)	T8.b
	SS (20%) + PCN (80%)	T9.b
	SS (75%) + CSB (25%)	SCB
	SS (75%) + EB (25%)	SEB
	SCB (66%) + SEB (33%)	SCB + SEB
Garcia et al.(2010)	25 ton ha SS	25
	50 ton ha SS	50
	75 ton ha SS	75
	100 ton ha SS	100
Gonzaga et al. (2018)	20 t ha SS + NPK	BC 20
	40 t ha SS + NPK	BC 40
	80 t ha SS + NPK	BC 80
	100 t ha SS + NPK	BC 100
Higashikawa et al (2016)	CKM (16,7%) + CTM (8,3%) + CC (12,5%) + CP (8,3%) + SD (4,2%) + SS (16,7%) + TF (8,3%)	OWS 1
	CKM (41,7%) + CTM (8,3%) + CC (8,3%) + CP (4,2%) + SD (4,2%) + SS (8,3%) + TF (8,4%)	OWS 2
	CKM (8,3%) + CTM (8,3%) + CC (21%) + CP (16,7%) + SD (12,5%) + SS (8,3%) + TF (8,3%)	OWS 3
	CKM (33,4%) + CTM (8,3%) + CC (16,7%) + SS (25%)	OWS 4
	CTM (25%) + CC (8,3%) + CP (4,2%) + SD (4,2%) + SS (33,3%) + FC (8,4%)	OWS 5
Kratz et al. (2017)	CRH (90%) + SS (10%)	90CRH/10SS
	CRH (70%) + SS (30%)	70CRH/30SS
	CRH (50%) + SS (50%)	50CRH/50SS
	CRH (30%) + SS (70%)	30CRH/70SS
	CRH (10%) + SS (90%)	10CRH/90SS
	C1 (90%) + SS (10%)	90C1/10SS
	C1 (70%) + SS (30%)	70C1/30SS
	C1 (50%) + SS (50%)	50C1/50SS
	C1 (30%) + SS (70%)	30C1/70SS
	C1 (10%) + SS (90%)	10C1/90SS
	C2 (90%) + SS (10%)	90C2/10SS
	C2 (70%) + SS (30%)	70C2/30SS
	C2 (50%) + SS (50%)	50C2/50SS
	C2 (30%) + SS (70%)	30C2/70SS
	C2 (10%) + SS (90%)	10C2/90SS
	PB (90%) + SS (10%)	90PB/10SS
	PB (70%) + SS (30%)	70PB/30SS
	PB (50%) + SS (50%)	50PB/50SS

Manca et al. (2020)	PB (30%) + SS (70%)	30PB/70SS
	PB (10%) + SS (90%)	10PB/90SS
	CSB SEM ADIÇÃO DE P	CONTROLE
	CSB + 1,5 % TP	1.5 TP
	CSB + 3,0 % TP	3.0 TP
	CSB + 4,5 % TP	4.5 TP
	CSB + 1,5 % RP	1.5 RP
	CSB + 3,0 % RP	3.0 RP
	CSB + 4,5 % RP	4.5 RP
Silva et al. (2017)a	Biochar 40 ton ha ⁻¹	SS
	Biochar 40 ton ha ⁻¹ + NPK	SS+ NPK
	SS 40 ton ha ⁻¹	SSB
	SS 40 ton ha ⁻¹ + NPK	SSB+NPK
Silva et al. (2018)b	SS (50%) + 50% CPP (50%)	50BIO/50CP
	SS (33%) + CPP (66%)	33BIO/66CP
	SS (25%) + CPP (75%)	25BIO/75CP
Stuep et al.(2020)	SS (90%) + PB (10%)	90SS/10PB
	CRH (10%) + SS (90%)	10CRH/90SS
	SS (50%) + PB (50%)	50SS/50PB
	C1 (50%) + SS (50%)	50C1/50SS
	CRH (50%) + SS (50%)	50CRH/50SS
	C2 (90%) + SS (10%)	90C2/10SS
	C1 (90%) + SS (10%)	90C1/10SS
Zabotto et al. (2020)	30 Mg ha ⁻¹ de lodo de esgoto + Latossolo vermelho-amarelo distrófico	30 SS
	60 Mg ha ⁻¹ de lodo de esgoto + Latossolo vermelho-amarelo distrófico	60 SS
	90 Mg há ⁻¹ de lodo de esgoto + Latossolo vermelho-amarelo distrófico	90 SS

Fonte: Autor (2025). Lodo de esgoto (SS), Fibra de Coco (FC), Palha de Café in natura (PCN), Vermiculita (VM), Bagaço de Cana (CSB), Casca de Eucalyptus (EB), Lodo de esgoto + Bagaço de Cana (SCB), Lodo de esgoto + Casca de Eucalyptus (SEB), Esterco de Galinha (CKM), Esterco de gado (CTM), Casca de café (CC), Casca de pinheiro (CP), Serragem (SD), Turfa (TF), Casca de pupunha (CPP), Casca de arroz carbonizada (CRH), Carvão com granulometria entre 1-3 mm (C1), Carvão com granulometria entre 3-5mm (C2); Casca de pinheiro semidecomposta (PB), Superfosfato triplo (TP), Fosfato reativo (RP), Casca de pupunha (CP).

A partir da compilação de dados trazidos na tabela 5, é possível observar o uso de lodo de esgoto associado a outros materiais, sendo que apenas 05 trabalhos apresentaram o uso de 100% de lodo de esgoto e, desses, apenas 02 trabalhos foram em forma de biochar como em Gonzaga et al. (2018) e Silva et al. (2017) a.

Quanto às formulações testadas, Caldeira et al. (2014) utilizaram as proporções de 20%, 40%, 80% e 100% e Kratz et al. (2017) utilizaram as proporções de 10%, 30%, 50%, 70% e 90%. Estes foram os trabalhos que apresentaram maior quantitativo de tratamentos com lodo de esgoto; enquanto o trabalho de Higashikawa et al. (2016) foi o que apresentou maior variação de materiais por substrato.

3.5 Caracterização físico-química dos substratos

As leituras analíticas em busca das análises das características físicas e químicas dos materiais formulados da associação com o lodo de esgoto apresentaram resultados relevantes. Dez estudos apresentaram dados relacionados aos macros e micro nutrientes, sendo que alguns estudos, como o de Caldeira et al. (2013)a e Caldeira et al. (2014)b, apresentaram dados relacionados aos metais pesados presentes no substrato ou lodo de esgoto, em conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 375/2006.

Os valores de metais pesados encontrados nos estudos realizados por Caldeira et al. (2013)a e Caldeira et al. (2014)b, foram idênticos, tendo em vista que ambos utilizaram lodo de esgoto oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto de Cachoeiro de Itapemirim – ES. Além disso, esses estudos apresentaram uma análise completa sobre as características químicas do lodo de esgoto utilizado. Entretanto, Caldeira et al. (2014)b utilizaram composição com fibra de coco em quatro tratamentos e composição com palha de café “in natura” em outros quatro tratamentos, sendo utilizado 100% de lodo de esgoto, ambos em dois tratamentos.

Caldeira et al. (2013)a utilizaram lodo de esgoto em composição com vermiculita, sendo possível observar que houve redução no quantitativo de nutrientes com a respectiva diminuição na proporção de lodo de esgoto no substrato. Caldeira et al (2014) b afirmaram que, quanto maior a proporção de fibra de coco e palha de café “in natura”, maiores foram os teores de K e, quanto maior a proporção de lodo de esgoto, maiores foram os teores de Ca e Mg; sendo também possível observar que a palha de café “in natura” contribuiu com o aumento de P no substrato.

Tabela 6. Resultados da análise físico-química. Valores de fosforo (P), Potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), potencial hidrogeniônico (pH), macroporosidade (MAC) e Microporosidade (MIC).

Tratamentos	P	K (cmol/dm ³)	Ca	Mg	pH	MAC (%)	MIC
T1.a	204	144	12,5	4,8	4	23	52
T2.a	154	132	17,7	5,8	4	27	52

T3.a	132	125	12,5	4,7	4,1	32	49
T4.a	123	92	10	4,6	4	38	44
T5.a	62	72	5,7	4,3	4,4	40	41
T1.b	204	144	12,5	4,8	4	23	52
T2.b	176	247	12,3	4,6	4	22	54
T3.b	167	526	10,1	3,8	4,1	20	52
T4.b	137	699	6,1	2,9	4,4	19	46
T5.b	145	1105	4,7	2	4,7	17	30
T6.b	198	3230	14,2	3,6	4,4	28	47
T7.b	217	5640	8,7	3,2	4,7	26	47
T8.b	257	7860	6,2	3,3	5	29	44
T9.b	291	10160	3,4	3,2	5,3	31	41

Autor: Adaptado de Caldeira et al.(2013)a e Caldeira et al.(2014)b.

Conforme demonstrado na tabela 6, nos tratamentos T1.a, T2.a e T3.a houve uma alta taxa de microporosidade; entretanto, o resultado mais significativo em termos de disponibilidade de água no substrato foi observado apenas no T1.a, onde foi utilizada a proporção de 100% de lodo de esgoto sem adição de vermiculita.

Nos tratamentos T1.b (LE 100%), T2.b (LE 80% + FC 20%), T3.b (LE 60% + FC 40%) e T4.b (LE 40% + FC 60%) houve uma taxa de microporosidade alta que refletiu de forma significativa na disponibilidade de água.

Garcia et al. (2010) determinaram os quantitativos de Cu, Mn e Zn correspondendo respectivamente a 169, 7 mg kg⁻¹; 41,75 mg kg⁻¹ e 171,2 mg kg⁻¹. Os teores de micronutriente e macronutrientes que constituíram o lodo foram comparados com esterco bovino, esterco de galinha, vinhaça e composto de lixo urbano e apresentando em porcentagem de peso seco. Conforme tabela 7.

Tabela 7. Valores de nitrogênio (N), fósforo (F), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e enxofre (S).

Materiais Orgânicos	N	P	K	Ca	Mg	S
	% em peso seco					
Lodo de Esgoto	2,17	0,5	0,6	17,13	1,88	1,54
Esterco Bovino	1,50	1,20	0,70	2,00	0,60	0,20
Esterco de Galinha	1,40	0,80	2,10	2,30	0,50	0,20
Vinhaça	0,06	0,01	0,30	0,10	0,04	0,05
Composto de lixo urbano	0,60	0,20	0,30	1,10	0,10	0,20

Fonte: Garcia et al. (2020) adaptada pelo autor (2025)

Foi possível observar que em comparativo com outros materiais orgânicos o lodo de esgoto utilizado, possui uma alta taxa de Ca, Mg, S e N, entretanto baixos teores de P e K.

Dentre os 06 estudos que utilizaram compostagem, Gabira et al. (2020) e Manca et al. (2020) foram os que apresentaram associação com bagaço de cana, onde foi possível comparar o pH do solo de cada experimento, apresentados na tabela 8, onde o tratamento 3.0 RP apresentou pH neutro, o tratamento 4.5 RP apresentou pH alcalino, enquanto os outros tratamentos apresentam pH ácido.

Tabela 8. Valores de potencial hidrogeniônico (pH) das associações de lodo de esgoto com bagaço de cana

Tratamentos	pH
SCB	4,93
SCB+ SEB	5,37
CONTROL	5,9
1.5 TP	6,1
3.0 TP	5,7
4.5 TP	5,2
1.5 RP	6,6
3.0 RP	7
4.5 RP	7,3

Fonte: Gabira et al. (2020) e Manca et al. (2020) adaptada pelo autor (2025). Lodo de esgoto + Bagaço de Cana (SCB); Lodo de esgoto + Casca de Eucalyptus (SEB).

O pH do solo é um dos fatores que determina a disponibilidade de nutrientes, este determina a concentração de íons de hidrogênio na solução do solo. Portanto, solos excessivamente ácidos reduzem a disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e molibdênio e aumentam a solubilidade de zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio que, a depender do manejo e adubação, podem atingir níveis tóxicos às plantas (Veloso et al. 2020).

Quanto aos dados de micro e macroporosidade presentes no estudo de Gabira et al. (2020), foi possível comparar o SCB e o SEB separadamente e associados, conforme tabela 9, onde o SCB apresentou maior macroporosidade e, conseqüentemente, menor capacidade de retenção de água; enquanto SEB e SCB+SEB apresentaram valores próximos e maiores de microporosidade e capacidade de retenção de água.

Tabela 9. Resultados da análise físico-química, macroporosidade(MAC), microporosidade (MIC), Densidade aparente (DA) e capacidade de retenção de água.

Tratamentos	MAC	MIC	DA	Capacidade de retenção de Água
	(%)		(g cm ³)	(mL 55 cm ³)
SCB	59,9	26,9	0,10	14
SEB	32,3	42,7	0,19	22,2
SCB+SEB	37,4	40,3	0,15	21,2

Fonte: Adaptado de Gabira et al. (2020) Lodo de esgoto + Bagaço de Cana (SCB); Lodo de esgoto + Casca de Eucalyptus (SEB).

Os estudos de Kratz et al (2017) e Stuep et al. (2020) apresentaram as mesmas associações de materiais, sendo estes Casca de arroz carbonizada (CRH), Carvão com granulometria entre 1-3 mm (C1), Carvão com granulometria entre 3-5mm (C2) e Casca de pinheiro semidecomposta (PB), todo associados ao lodo de esgoto (SS) em diferentes proporções, conforme tabela 10.

Tabela 10. Resultados da análise físico-química. Densidade aparente (AD), porosidade total (TP), microporosidade (MIC), macroporosidade (MAC), potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (EC).

Tratamentos	AD (kg m ³)	MIC (%)	MAC (%)	TP (%)	pH	EC (mS cm ¹)
90 CRH/10 SS	120,59	16,93	55,5	72,43	9,15	0,09
70 CRH/30 SS	156,68	26	46,76	72,76	9,16	0,2
50 CRH/50 SS	208,29	37,41	34,75	72,16	9,12	0,32
30 CRH/70 SS	244,79	44,55	28,24	72,79	9,11	0,52
10 CRH/90 SS	282,24	50,78	23,42	74,2	9,09	0,57
90 C1/10 SS	322,84	28,16	29,13	57,29	9,18	1,99
70 C1/30 SS	386,7	34,02	20,8	54,82	9,26	2,54
50 C1/50 SS	492,7	43,67	18,07	61,74	9,22	2,88
30 C1/70 SS	539,06	47,92	16,75	64,67	8,98	3,55
10 C1/90 SS	594,71	55,26	10,8	66,06	9,04	3,78
90 C2/10 SS	349,37	28,42	16,53	44,95	9,32	0,94
70 C2/ 30 SS	432,97	36,69	17,19	53,88	9,13	2,75
50 C2/50 SS	463,62	40,73	15,54	56,27	9,13	2,45
30 C2/70 SS	513,83	43,06	14,95	58,01	9,07	3,57
10 C2/90 SS	572,91	49,08	17,73	66,81	9,05	4,06
90 PB/10 SS	376,58	42,13	34,17	76,3	8,11	1,37
70 PB/30 SS	414,39	41,87	29,89	71,76	8,53	2,63
50 PB/50 SS	470,84	48,99	22,6	71,59	8,77	3,38

30 PB/70 SS	518,67	51,09	19,83	70,92	8,9	3,51
10 PB/90 SS	547,31	52,47	18,91	71,38	9	4,08

Fonte: Adaptado de Kratz et al (2017) e Stuep et al. (2020).

Ainda de acordo com a tabela 10, os tratamentos de Kratz et al. (2017) e Stuep et al. (2020), apresentaram um pH acima de 7, considerado assim como alcalino, a condutividade elétrica se apresentou baixa nas associações com casca de arroz carbonizada e em 90 C2/10 SS o que significa dizer que há uma baixa concentração de nutrientes, a densidade aparente aumentou com o aumento da proporção de lodo de esgoto em todas as combinações.

SS apresenta alta micro porosidade e densidade aparente, onde quanto maior a adição de CRH ocorreu a diminuição da densidade aparente e micro porosidade e consequentemente aumento da macro porosidade que também refletiu no aumento da porosidade total, as diferentes granulometrias de carvão vegetal associadas ao lodo de esgoto proporcionou uma redução na densidade, porosidade e micro porosidade, a condutividade elétrica apresentou maiores valores nas associações com PB e C1, onde as formulações 10C2/90SS e 10PB/90SS obtiveram os maiores valores de condutividade elétrica.

Gonzaga et al. (2018) e Silva et al. (2017) a também foram estudos que utilizaram do mesmo composto de lodo esgoto, sendo os 02 únicos trabalhos que se utilizaram em forma de Biocarvão/Biochar, O lodo de esgoto apresentou a seguinte composição média 91% de umidade e 6,8 unidades de pH , contendo a seguinte composição elementar de valores médios total: 5,7% N, 1,3% P, 0,2% K, 940 mg kg⁻¹ Cu, 888 mg kg⁻¹ Zinco, 18 mg kg⁻¹ Mo, 4,0 mg kg⁻¹ As, 0,80 mg kg⁻¹ Cd, 20 mg kg⁻¹ Pb e 3,6 mg kg⁻¹ Ni. Quanto as características do biocarvão/biochar podem ser observados conforme tabela 11.

Tabela 11. Características do Biocarvão de lodo de esgoto; Carbono (C); Nitrogênio (N); Hidrogênio (H); Condutividade elétrica (EC) e potencial hidrogeniônico (pH).

Biocarvão do lodo de esgoto	C	N	H	EC	pH
		%		dS m ⁻¹	
	45,5	7,43	4,85	7,29	7,5

Fonte: Adaptado de Gonzaga et al. (2018) e Silva et al. (2017).

Os dados apresentados por Gonzaga et al. (2018) e Silva et al. (2017), demonstraram que o Biocarvão possui uma alta condutividade elétrica, fator esse indicador de disponibilidade de nutriente, proporcionando uma maior capacidade de retenção e fornecimento de nutrientes as plantas, além disso o alto teor de carbono o que influencia na qualidade do solo.

Zaboto et al. (2020) não apresentaram dados de micro e macro porosidade do substrato, entretanto apresentaram dados relativos à composição química do solo utilizado e do lodo de esgoto. Os resultados apresentados nesse estudo evidenciaram o acréscimo de 59% no teor de matéria orgânica com a aplicação de 30, 60 ou 90 Mg ha⁻¹ do lodo de esgoto, conforme pode ser observado na tabela 12. O ocorrido deve-se ao fato da lama de depuração ser rica em matéria orgânica e fonte de N, P, K, macro nutrientes fundamentais para o desenvolvimento da planta (Cunha et al., 2016). Nos resultados observados após 150 dias de experimentação, houve um aumento significativo da CTC, entretanto sem grandes alterações no pH do solo, permanecendo este em uma faixa adequada ao desenvolvimento da planta.

Tabela 12. Resultados da análise físico-química. Valores de potencial hidrogeniônico (pH), matéria orgânica (OM) e capacidade de troca catiônica (CTC) em composto de lodo de esgoto com solo distrófico Latossolo Vermelho-Amarelo.

Tratamentos	pH (CaCl ₂)	OM (g dm ³)	CTC mmol dm ³ (%)
30	4,1	19	91
60	3,9	19	110
90	4,1	19	138

Autor: Adaptado de Zaboto et al. (2020)

Cada tratamento refere-se à aplicação de 30,60 e 90 Mg por há⁻¹ de lodo de esgoto misturado a um Latossolo vermelho amarelo distrófico.

Silva et al (2017) a que utilizaram a combinação LE e CPP, encontraram acréscimo de pH e CTC à medida que reduziram a concentração de lodo de esgoto; bem como redução na densidade e aumento de macro porosidade. De acordo com Gonçalves e Poggiani (1996), substratos mais leves elevam a macro porosidade, consequentemente, reduzem a retenção de água no substrato, apresentando assim uma combinação não muito satisfatória, como no caso da formulação 33% de bióssólido com 66 de casca de pupunha (33BIO/66CP) conforme pode ser observado na tabela 12.

Tabela 12. Resultados da análise físico-química. Valores de hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), capacidade de troca catiônica (CTC), macroporosidade (MAC) e microporosidade (MIC) e densidade aparentes (DA) do composto lodo de esgoto e casca de pupunha.

Tratamentos	pH	CE	CTC	MAC	MIC	DA
-------------	----	----	-----	-----	-----	----

			mmol kg- 1	(%)	(%)	g cm ³
50BIO/50CP	5,8	1,0	405	22,5	46,7	0,25
33BIO/66CP	6,0	1,0	430	26,9	43,4	0,21
25BIO/75CP	6,1	1,2	480	25,8	46,6	0,19

Autor: Adaptado de Silva et al. (2017)a.

Os tratamentos formulados nas proporções de 50,33 e 25 % de lodo de esgoto e 50,66 e 75 % respectivamente de casca de pupunha.

No estudo desenvolvido por Higashikawa et al (2016), o tratamento OWS 4, relacionado na tabela 13 com formulação 33,4 % esterco de galinha, 8,3% esterco de gado, 16,7% casca de café e 25% lodo de esgoto, apresentou maior valor de CE (condutividade elétrica), bem como maiores valores de macronutrientes e micronutrientes, sendo o esterco de galinha a substância que influenciou esses valores por possuir alto teor de nitrogênio e outros nutrientes.

Tabela 13. Resultados da análise físico-química. Valores de hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), fosforo (P), Potássio (K), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).

Tratamentos	pH	CE (dS m ⁻¹)	P	K	Ca (mg L ⁻¹)	Mg
OWS 1	5	13,3	2575	8440	920	1073
OWS 2	5,6	15,3	2951	8600	449	716
OWS 3	5,6	7,9	1295	3720	368	366
OWS 4	5,5	21,6	2594	12040	894	1073
OWS 5	5,1	9,8	282	5712	868	890

Autor: Adaptado de Higashikawa et al (2016).

3.6 Avaliações e resultados encontrados na produção de mudas

Dos doze trabalhos analisados, sete apresentaram dados como diâmetro do coleto, altura, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e massa seca total; os demais trabalhos analisados apresentaram dados isolados como biomassa e ou área foliar e dados complementares como teor de clorofila e concentração de nutrientes na parte aérea.

Caldeira et al. (2013) a e Caldeira et al (2014) b, além de apresentarem dados referente ao desenvolvimento da planta, utilizaram índice de qualidade de Dickson, sendo ambos os dados coletados após 90 dias de semeadura.

Tabela 14. Valores de altura (H), diâmetro do coleto (D), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e massa seca total.

Tratamentos	H (cm)	D (mm)	MSPA	MSR (g)	MST
T1.a	25,6	2,6	0,94	0,26	1,2
T2.a	22,8	2,6	1,31	0,43	1,74
T3.a	32,4	3,1	2,0	0,82	2,83
T4.a	34	3,2	1,79	0,62	2,42
T5.a	35,6	2,9	2,29	1,15	3,44
T1.b	26,12	2,58	0,941	0,262	1,203
T2.b	24,79	2,51	0,749	0,194	0,944
T3.b	26,35	2,66	0,836	0,174	1,011
T4.b	16,65	1,86	0,364	0,141	0,506
T5.b	13,4	1,51	0,553	0,309	0,862
T6.b	30,84	3,07	1,891	0,844	2,736
T7.b	19,99	2,25	1,019	0,444	1,463
T8.b	27,4	2,86	1,291	0,538	1,829
T9.b	21,93	2,48	0,992	0,427	1,42

Fonte: Adaptado de Caldeira et al. (2013) e Caldeira et al (2014).

Os tratamentos T1.a e T1.b utilizaram exclusivamente lodo de esgoto (100%), enquanto T2.a, T3.a, T4.a e T5.a referem-se a formulações compostas por lodo de esgoto e vermiculita. As maiores médias de altura foram observadas nos tratamentos T3.a (60% de lodo de esgoto – SS), T4.a (40% SS) e T5.a (20% SS). Os tratamentos T2.b, T3.b, T4.b e T5.b correspondem às formulações com lodo de esgoto e fibra de coco, enquanto T6.b, T7.b, T8.b e T9.b foram formulados com lodo de esgoto e palha de café “in natura”. Entre esses, o tratamento T6.b (80% SS) apresentou a maior média de altura.

Quanto ao diâmetro do coleto, apenas os tratamentos T4.b (40% SS) e T5.b (20% SS) apresentaram valores inferiores a 2,0 mm, não atingindo o mínimo ideal para o transplante das mudas para o campo. De acordo com Wendling & Dutra (2010), o diâmetro ideal é de 2,0 mm.

Lopes et al. (2007) verificou que, para *Eucalyptus grandis*, a média ideal seria de 2,5 mm. Dessa forma, o tratamento T7.b (60% SS) também não atingiu o diâmetro mínimo recomendado para o transplante.

No que se refere à massa seca da parte aérea (MSPA), as maiores médias se estabeleceram nas associações do lodo de esgoto com vermiculita e palha de café “in natura”. Em relação a massa seca da raiz (MSR), apenas os tratamentos T5.a e T6.b apresentaram valores elevados. Por outro lado, no somatório dos valores de massa seca da parte aérea e massa seca da raiz, apenas os tratamentos T3.a, T4.a, T5.a e T6.b apresentaram valores superiores.

Em Gabira et al. (2020), os valores de altura, diâmetro do colo, massa seca aérea, massa seca radicular, massa seca total e índice de qualidade de Dickson foram medidos em função de diferentes profundidades de irrigação. Desta forma, a lâmina de irrigação de 11 mm favoreceu o crescimento das mudas em todas as variáveis medidas no substrato lodo de esgoto, bagaço de cana de açúcar associado ao lodo de esgoto e casca de *Eucalyptus*, para o lodo de esgoto e casca de *Eucalyptus* em 14 mm, enquanto lodo de esgoto com bagaço de cana foi favorecido na lâmina de irrigação de profundidade de 17 mm. Quanto ao sistema radicular os substratos lodo de esgoto e casca de *Eucalyptus* apresentaram 100% de adequação do sistema radicular na lâmina de profundidade de 11 mm, enquanto o lodo de esgoto com bagaço de cana, apresentou 94% na lâmina de 11 mm e 92% em 14 mm, sendo a 17 a menor porcentagem de raiz adequada apresentando o valor de 84%.

Manca et al. (2020), que também estudaram a da associação do lodo de esgoto com bagaço de cana de açúcar com acréscimo de superfosfato triplo e fosfato reativo, os maiores valores de altura foram apresentando na mistura lodo de esgoto, bagaço de cana e 3,0% de superfosfato triplo, influenciado pelo comportamento de B e K no substrato. O boro (B) nas plantas está principalmente associado às moléculas de ramnogalacturonano II da pectina, um componente essencial da parede celular primária (O'Neil et al., 2004). A deficiência desse elemento pode comprometer o funcionamento dos estômatos e a absorção de potássio (K), intensificando o estresse causado pela seca (Wimmer e Eichert, 2013).

Em todos os tratamentos com fosfato reativo foi observado valores baixos de altura, diâmetro do colo e biomassa total, quanto a intensidade da cor verde está apresentou maiores valores em lodo de esgoto, bagaço de cana e 1,5% superfosfato triplo, possivelmente

influenciado pelos altos teores de N, P e Mg encontrados na avaliação morfológica das raízes.

Garcia et al. (2010), determinaram a relação entre as doses de biosólido ao período de aplicação, encontrando o valor máximo de área foliar, massa seca total e razão de área foliar. Onde foi aplicado as doses de 25; 50; 75 e 100 ton ha em 20; 40; 60 e 80 dias, apresentando um aumento nas variáveis observadas quando próximo a dose de 75 ton ha. O aumento na área foliar influencia na área fotossinteticamente ativa das plantas, desta forma, na assimilação de substâncias fotossintetizadas (Garcia et al., 2010).

Gonzaga et al. (2018) e Silva et al. (2017) utilizou do lodo de esgoto em forma de biochar, apresentando resultados como teor de clorofila, altura da planta e diâmetro do caule, a os valores de teor de clorofila estão relacionados a concentração de N nas folhas, entretanto, o N parece não se encontrar disponível na forma de Biochar, porém, após a aplicação em 30 e 60 dias o teor de clorofila aumentou, em 30 dias houve uma redução significativa nas doses de 80t e 100t ha, em 60 dias diâmetro do caule aumentou em 31,3, 23,6, 12,2 e 9,7% com o aumento das doses de biochar sendo respectivamente (20, 40, 80 e 100 t ha⁻¹), a altura da planta aumentou significativamente (16,8, 23,1, 32, 35%). O biochar melhorou significativamente a biomassa da parte aérea em 97,8% (20 t ha⁻¹), 65,0% (40 t ha⁻¹), 31,0% (80 t ha⁻¹) e 19,5% (100 t ha⁻¹), as melhores mudas de eucalipto foram obtidas com 20 e 40 t ha⁻¹ de biochar.

Em Kratz et al.(2017) e Stuepp et al. (2020) apresentaram a mesma associação de materiais; entretanto, Kratz et al. (2017) também apresentaram a tabela de custos e os dados de altura obtidos por Regressão polinomial. Por outro lado, Stuepp et al.(2020) apresentaram dados de Incremento em diâmetro (DI), incremento em altura (HI), área transversal (AT) e área basal (AB) aos 24 meses após o plantio no campo, os quais encontram demonstrados na tabela 15, sendo selecionadas apenas algumas associações.

Tabela 15. Incremento em diâmetro (DI), incremento em altura (HI), área transversal (AT) e área basal (AB) aos 24 meses após o plantio no campo de mudas de *Eucalipto benthamii*.

Tratamentos	H (m)	DI (mm)	Área Transversal (m ²)	Área Basal (m ² ha)
50 CRH/50 SS	4,5	51,7	0,0024	401,9
10 CRH/90 SS	4,6	50,1	0,0021	453,5
90 C2/10 SS	4,3	42,5	0,0016	356,6
10 PB/ 90 SS	4,2	39,8	0,0015	363,8
50 PB/50 SS	4,3	38,1	0,0013	253,8
50 C1/ 50 SS	4	35,9	0,0012	237,4

90 C1/ 10 SS	3,1	25,9	0,0006	120,4
--------------	-----	------	--------	-------

Casca de arroz carbonizada (CRH), Carvão com granulometria entre 1-3 mm (C1), Carvão com granulometria entre 3-5mm (C2); Casca de pinheiro semidecomposta (PB); Lodo de esgoto (SS). Fonte: Adaptado de Stuepp et al. (2020).

É possível observar que não ocorreu mudanças significativas na altura das plantas, sendo identificado valor inferior apenas quando associado a C1. Quanto ao diâmetro os melhores resultados foram encontrados associação com CRH, demonstrando que essa associação de materiais se apresenta mais satisfatória para o desenvolvimento das mudas de *E. benthamii*. Dessa forma, observou-se que o uso de carvão vegetal residual se mostrou inadequado como componente de substratos, independentemente do elemento associado, em função da redução no crescimento das mudas.

Foi observada sobrevivência de 100% das mudas cultivadas em 10PB/90SS. Portanto, a taxa de sobrevivência foi maior para mudas produzidas em substratos com maior microporosidade, provavelmente devido à maior capacidade de retenção de água do substrato nos primeiros dias após o plantio, entretanto, como pode ser observado na tabela 15, os maiores valores de altura e diâmetro foram encontrados na associação com CRH (casca de arroz carbonizada).

Silva et al. (2018) b. avaliaram mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas em diferentes substratos e com diferentes doses de fertilizante onde se utilizou quatro doses (0; 2,0; 4,0 e 6,0 g/dm³) de fertilizante granulado (N, P₂O₅, K₂O; 15-9-12), os resultado da avaliação morfológica da muda foram obtidos após 110 dias da semeadura. Na ausência de fertilizante granulado, utilizada para verificar se o composto é capaz de suprir às demandas da muda sem a necessidade de adubação, os maiores valores foram registrados nos substratos 50BIO/50CP e 25BIO/75CP, em comparação com o substrato 33BIO/66CP. Um possível fator para esse resultado foi a menor Capacidade de Retenção de Água (CRA) do substrato 33BIO/66CP em relação aos demais analisados. Em todos os substratos testados, houve um crescimento contínuo na altura das plantas, acompanhado pelo aumento das doses do fertilizante aplicado. Além disso, o acréscimo nas doses do fertilizante granulado resultou em elevação linear da altura das plantas nos três substratos estudados, conforme observado na tabela 16.

Tabela 16. Valores de Altura (H) e Diâmetro (D) de mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 110 dias após a semeadura.

Fertiliz.	50 BIO/ 50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP	50 BIO/50CP	33BIO/66CP	25BIO/75CP
-----------	-----------------	------------	------------	----------------	------------	------------

g.dm	H(cm)			D(mm)		
0	26,6 b	19,3 b	25 b	2,7 a	2,5 a	2,8 a
2	31,4 a	24,3 b	28,5 b	2,7 a	2,5 a	2,8 a
4	32,2 a	32,4 a	34,5 a	2,9 a	2,1 a	2,9 a
6	34,8 a	33,4 a	36,3 a	3 a	2,8 a	3 a

Fonte: Adaptado Silva et al. (2018) b. Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferenças significativas, conforme o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável.

Os valores de Altura aumentaram com o aumento das doses de fertilizantes, o diâmetro teve um maior aumento nas doses 6 g.dm³ de fertilizante. Carneiro (1995) sugere que a relação altura/diâmetro (H/D) deve variar entre 5,4 a 8,1 independente da fase de desenvolvimento das mudas. No entanto, Caldeira et al. (2013) afirmam que os índices de H/D recomendados para as outras espécies podem não ser adequados para o eucalipto, pois, neste estudo, as mudas com maior H/D apresentaram as melhores condições para serem transplantadas para o campo. Mais recentemente, Toledo et al. (2015), recomendam como adequados valores de H/D entre 10 e 15, logo todos os substratos avaliados alcançaram valores de H/D dentro da faixa considerada adequada, como pode ser observado na tabela 17, os valores de razão altura diâmetro foram maiores nas doses de 4 g.dm³ e 6 g.dm³, entretanto a diferença das razões foi de aproximadamente um a cada acréscimo de fertilizante.

Tabela 17. Valores de Razão altura diâmetro (H/D) de mudas de *Eucalyptus urograndis* aos 110 dias após a semeadura

Fertiliz. g.dm	50 BIO/50CP	33BIO/66CP H/D	25BIO/75CP
0	7,4 b	8,7 b	7,4 b
2	9,3 c	9,9 b	9,3 c
4	11,1 a	11,6 a	11,1 a
6	11,8 a	11,9 a	11,8 a

Fonte: Adaptado Silva et al.(2018)b. Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferenças significativas, conforme o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável.

Higashikawa et al. (2016), avaliaram a produção de biomassa de mudas de *Eucalyptus urograndis*, a qual variou de acordo com o cultivo. A menor produção de biomassa foi observada nos tratamentos OWS 1 e OWS 5, sendo que o último foi composto pela mistura de diferentes materiais vegetais e apresentou o maior quantitativo de lodo de esgoto e esterco bovino em substituição ao esterco de galinha. Dentre todas as misturas, o tratamento OWS 4 foi o que apresentou o maior valor de biomassa, sendo composto por uma alta proporção de

lodo de esgoto e esterco de galinha. Foi possível concluir nesse estudo que deve-se optar pela redução das proporções de resíduos animais e incrementar as proporções de resíduos vegetais, como por exemplo a casca de café, para obter maior ganho em biomassa.

Zaboto et al. (2020) observaram que os resultados de biomassa, altura e diâmetro do caule do híbrido *Eucalyptus urograndis* estão diretamente associados à análise química do solo e das folhas, evidenciando o efeito nutricional do lodo de esgoto. A aplicação do lodo resultou em aumento dos teores de macro e micronutrientes no solo, refletindo em maior absorção pelas plantas. No entanto, plantas tratadas com 30 Mg ha⁻¹ de lodo apresentaram maior massa de raízes frescas e secas em comparação com os tratamentos com 60 e 90 Mg ha⁻¹. Isso sugere que doses mais elevadas de lodo podem inibir o crescimento radicular, possivelmente devido aos elevados níveis de metais pesados presentes no material.

Os resultados indicaram que o lodo de esgoto contribui para o aumento da fertilidade do solo, elevando os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), matéria orgânica (OM) e a capacidade de troca catiônica (CTC). A aplicação de 60 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto resultou nos maiores valores para as variáveis de crescimento e desenvolvimento, além de impactar positivamente as variáveis fisiológicas analisadas em híbridos de *Eucalyptus urograndis*.

Tabela 18. Valores de Altura (H) e Diâmetro do caule (DI).

Tratamentos	H (m)	DI (mm)
30 SS	1,21 a	11,55 a
60 SS	1,15 a	10,22 b
90 SS	1,19 a	10,19 b

Fonte: Adaptado de Zaboto et al. (2020). Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferenças significativas, conforme o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável.

É possível observar que com o aumento da dosagem de lodo de esgoto ocorreu um declínio na altura e no diâmetro do caule, mostrando assim que a dosagem de 30 Mg ha⁻¹ é a medida mais conveniente para o desenvolvimento das mudas em altura e diâmetro.

Tabela 19. Valores de Massa foliar fresca (FLM), massa fresca do caule (FSM), massa fresca das raízes (FRM), massa fresca total (TFM), massa foliar seca (DLM), massa seca do caule (DSM), massa seca das raízes (DRM), massa seca total (TDM)

Tratamentos	FLM	FSM	FRM	TFM	DLM	DSM	DRM	TDM
-------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

(g)								
30 SS	119,81 a	126,32 a	62,41 a	308,55 a	38,42 a	42,6 a	20,01 a	101,04 a
60 SS	123,4 a	120 a	54,59 _{bc}	298 a	37,55 a	40,61 a	17,23 ab	95,4 a
90 SS	121,96 a	117,62 a	46,39 a	285,97 a	38,03 a	39,46 a	13,39 b	90,89 a

Fonte: Adaptado de Zaboto et al. (2020). Médias acompanhadas da mesma letra minúscula na coluna não apresentam diferenças significativas, conforme o teste de Tukey a 5 % de probabilidade, dentro de uma mesma variável.

Os valores que apresentaram como mudanças significativas foram o da massa seca da raiz, apresentando um decréscimo com o aumento das doses de lodo de esgoto e a massa seca do caule que também passou a apresentar uma queda com o aumento de dose a partir de 60 Mg ha⁻¹.

4 Considerações finais

A revisão sistemática revelou que a maioria das pesquisas está concentrada na região Sudeste do país. Quanto às condições de aproveitamento, a compostagem foi a opção mais utilizada, frequentemente associada a diversos materiais provenientes de resíduos da indústria agrícola.

As composições com os resultados mais expressivos foram aquelas com maior microporosidade, fator determinante para a retenção de água no substrato e o desenvolvimento das mudas. Embora essa característica não tenha sido analisada em todos os estudos revisados, aqueles que utilizaram maiores proporções de lodo de esgoto demonstraram maior eficácia, especialmente quando submetidos ao processo de compostagem.

Além disso, alguns estudos indicam que há um limite a partir do qual o crescimento das mudas deixa de responder de forma positiva, passando a apresentar declínio. Isso sugere que a proporção de lodo de esgoto deve ser ajustada de acordo com o material associado, a fim de otimizar seu aproveitamento.

O carvão vegetal não demonstrou ser a melhor opção de associação. Por outro lado, o arroz carbonizado e a palha de café “in natura” se apresentaram como um dos melhores resíduos para serem utilizados na composição do substrato.

Quanto às características morfológicas da planta, foi possível observar que o lodo de esgoto melhoras aspectos como área foliar e teor de clorofila.

Apenas dois estudos apresentaram o uso do lodo de esgoto na forma de biochar, com bons resultados de crescimento e características morfológicas das mudas de eucalipto. Em relação ao Índice de Qualidade de Dickson (IQD), as melhores mudas de eucalipto foram obtidas com 20 e 40 t ha⁻¹ de biochar adicionadas ao substrato.

É possível também observar que cada espécie de mudas de *Eucalyptus* possui sua especificidade o que pode influenciar nas doses de lodo de esgoto, quanto aos recipientes utilizados, nenhum trabalho apresentou algum tipo de comparação ou avaliação, podendo ser um objeto de estudos futuros.

REFERENCIAS

- AISSE, M. M.; FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. Aspectos tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba: **SANEPAR; Finep**, p. 59-69. 2001.
- BARRETTO, V. C. de M. et al. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 76, n. 1, p. 21-33, 2007.
- BRASIL, E.C. CRAVO, M da S. VIÉGAS, I de J.M. Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. IN: VELOSO, C.A.C. BOTELHO, S.M. RODRIGUES, J.E.L.F. SILVA, A.R. Correção da acidez do solo. **Embrapa**. Brasília. 2020.
- BRASIL. RESOLUÇÃO No 375, DE 29 DE AGOSTO DE 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso benéfico, em solos, de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário e dá outras providências. **Ministério Do Meio Ambiente. Conselho Nacional Do Meio Ambiente**. 29 AGO. DE 2006.
- CALDEIRA, M.V. DELARMELINA, W.M. PERONI, L. GONÇALVES, E de O. SILVA, A.G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, abr./jun. 2013.
- CALDEIRA, M.V.W. GONÇALVES, E. de O. TRAZZI, P.A. DELARMELINA, W.M. ROCHA, R.L.F. CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Eucalyptus grandis* UTILIZANDO LODO DE ESGOTO, FIBRA DE COCO E PALHA DE CAFÉ IN NATURA. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 195 – 20, 2014.
- COSTA, M.C.G. TONINI, H. SCHWENGBER, J.A.M. Aspectos Sobre Nutrição e Adubação do Eucalipto - Fundamentos Para Pesquisas em Roraima. **Embrapa**. Boa Vista, RR. 2008.
- FILHO, E.P.SANTOS, P.E.T dos. Comunicado técnico: Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso. Colombo, 2013.
- FIGUEIREDO, F. A. M. M; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; BARROSO, D. G.; DAHER, R. F. Efeito das variações biométricas de mudas clonais de eucalipto sobre o crescimento no campo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n. 1, p.1-11, 2011.
- GABIRA, M.M. SILVA, R.B.G da. MATEUS, C de M. D'A. BOAS, R.L.V. SILVA, R da S. EFFECTS OF WATER MANAGEMENT AND COMPOSTED SEWAGE SLUDGE SUBSTRATES ON THE GROWTH AND QUALITY OF CLONAL EUCALYPTUS SEEDLINGS. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 50, n. 2, p. 1307 - 1314, abr/jun 2020
- GARCIA, G de O. GONÇALVES, I.V. MADALÃO, J.C. NAZÁRIO, A.A. REIS, E.F dos. Crescimento de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de biossólidos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 87-94, jan-mar, 2010.
- GONZAGA, M.I.S. MACKOWIAK, C. ALMEIDA, A.Q de. JÚNIOR, J.I.T de. SEWAGE SLUDGE DERIVED BIOCHAR AND ITS EFFECT ON THE GROWTH AND MORPHOLOGICAL TRAITS OF *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden SEEDLINGS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 687-695, abr- jun., 2018.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JR, F. T.; GENEVE, R. **Plant propagation: principles and practices**. 8 ed. Boston: Prentice-Hall, 915 p.2011.

HIGASHIKAWA, F.S. SILVA, C.A. NUNES, C.A. BETTIOL, W. GUERREIRO, M.C. Physico-Chemical Evaluation of Organic Wastes Compost-Based Substrates for *Eucalyptus* Seedlings Growth. **Communications in soil science and plant analysis**. VOL. 47, NO. 5, 581–592. 2016.

KRATZ, D. WENDLING, I. NOGUEIRA, A. C. SOUZA, P. V. D. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013.

KRATZ, D. NOGUEIRA, A.C, WENDLING, I. MELLEK, J.E. Propriedades físico-químicas e formulação de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus*. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 45, n. 113, p. 63-76, mar. 2017.

LACERDA, R. T. DE O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

MANCA, A. SILVA, M. R da. GUERRINI, I.A, FERNANDES, D.M. BOAS, R.L.V. SILVA, L.C da. FONSECA, A.C da. RUGGIU, M.C. CRUZ, C.V. SIVISACA, D.C.L. MATEUS, C de. M. D'A. MURGIA, I. GRILLI, E. GANGA, A. CAPRA, G.F. Composted sewage sludge with sugarcane bagasse as a commercial substrate for *Eucalyptus urograndis* seedling production. **Journal of Cleaner Production**, v. 269. 2020.

MCCARL, B. A. et al. Economics of biochar production, utilization and gas offsets. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed). *Biochar for environmental management: science and technology* . London: Earthscan. p. 341-356. 2009.

MELO, L. A.; PEREIRA, G. A.; MOREIRA, E. J. C.; DAVIDE, A. C.; SILVA, E. V.; TEIXEIRA, L. A. F. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eremanthus erythropappus* sob diferentes formulações de substrato. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 234-242, 2014.

O'Neil, M.A., Ishii, T., Albersheim, P., Darvill, A.G., 2004. Rhamnogalacturonan II: structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. **Annu. Rev. Plant Biol.** 55, 109 e 139.

SANTANA, O. A.; PEIXOTO, L. R. T. O impacto do Portal Capes nas referências de artigos científicos sobre Ciências Biológicas e Saúde na Universidade de Brasília. **RBPG**, Brasília, v. 7, n. 13, p. 352 - 362, 2010.

SILVA, M.I. MACKOWIAK, C. MINOQUE, P. REIS, A.F. MOLINE, E.F da V. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.47, 2017.

SILVA, F.A de M. NUNES, G.M. ZANON, J.A. GUERRINI, I.A. SILVA, R.D da. RESÍDUO AGROINDUSTRIAL E LODO DE ESGOTO COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 827-828, abr.- jun., 2018.

SOARES, T.S. CARVALHO, R.M.M.A. VALE, A.B. Avaliação econômica de um povoamento de *Eucalyptus grandis* destinado a multiprodutos. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.689-694, 2003.

SOUZA, C.R. et al. Comportamento da *Acacia mangium* e de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em plantios experimentais na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, n.65, p.95-101, 2004.

STUEPP, C.A. KRATZ, D. GABIRA, M.M. WENDLING, I. Survival and initial growth in the field of *eucalyptus* seedlings produced in different substrates. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.55, 2020.

Wimmer, M.A., Eichert, T., 2013. Review: mechanisms for boron deficiency mediated changes in plant water relations. **Plant Sci.** 203 e 204, 25 e 32.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 272 p.

ZABOTTO, A.R. GOMES, L.D.L. MATEUS, C. de.M. D'A. BOAS, R.L.V. KANASHIRO, S. TAVARES, A.R. Nutrition and physiology of hybrid *Eucalyptus urograndis* in soil fertilized with sewage sludge. **Emirates Journal of Food and Agriculture**. V. 32, p. 19-24. 2020.