

OLÍVIA GOMES MARTINS

**SUBSTRATO EXAURIDO DE COGUMELOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS
FLORESTAIS**

**Botucatu
2022**

OLÍVIA GOMES MARTINS

**SUBSTRATO EXAURIDO DE COGUMELOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS
FLORESTAIS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia – Energia na Agricultura.

Orientadora: Meire Cristina Nogueira de Andrade

Co-orientadora: Magali Ribeiro da Silva

Botucatu

2022

M386s Martins, Olívia Gomes
Substrato exaurido de cogumelos para produção de mudas florestais / Olívia Gomes Martins. -- Botucatu, 2023
76 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Meire Cristina Nogueira de Andrade
Coorientadora: Magali Ribeiro da Silva

1. Eucalipto. 2. Lentinula edodes. 3. Viveiro. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SUBSTRATO EXAURIDO DE COGUMELOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS

AUTORA: OLÍVIA GOMES MARTINS

ORIENTADORA: MEIRE CRISTINA NOGUEIRA DE ANDRADE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Energia na Agricultura), pela Comissão Examinadora:



Prof.ª Dr.ª MEIRE CRISTINA NOGUEIRA DE ANDRADE (Participação Presencial)
Engenharia / Faculdade Gran Tiete



Prof. Dr. EUSTÁQUIO SOUZA DIAS (Participação Virtual)
Biologia / Universidade Federal de Lavras



Prof.ª Dr.ª GISELA FERREIRA (Participação Presencial)
Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA (Participação Presencial)
Pós-Doutorando - Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. THOMAZ FIGUEIREDO LOBO (Participação Presencial)
Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas / Universidade Sagrado Coração

Botucatu, 01 de dezembro de 2022

A minha família,

Dedico

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo amor, apoio e incentivo incondicionais.

À Profa. Dra. Meire Cristina Nogueira de Andrade, pela orientação, amizade, ensinamentos, oportunidades e carinho de sempre.

À Profa. Dra. Magali Ribeiro da Silva, pela co-orientação, ensinamentos, atenção, empatia e acolhimento.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Eustáquio Souza Dias, Profa. Dra. Gisela Ferreira, Prof. Dr. Richardson Barbosa Gomes da Silva e Prof. Dr. Thomaz Figueiredo Lobo, pelas riquíssimas contribuições ao trabalho.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, por proporcionar a infraestrutura, corpo docente e educação durante toda a trajetória da pós-graduação.

Aos funcionários do Viveiro de Pesquisa em Produção de Mudas Florestais, do Departamento de Ciência Florestal da FCA, em especial ao servidor Claudinho, por todo o acolhimento e apoio durante a implantação e desenvolvimento da pesquisa.

À empresa Fungibras, em especial a funcionária e amiga Viviany Viriato de Freitas, pelo fornecimento do substrato utilizado no experimento.

Aos queridos amigos, pelo apoio emocional.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste doutorado e da presente pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

No cultivo de cogumelos comestíveis, como o *Lentinula edodes* (shiitake), diversos resíduos agroindustriais são convertidos em um produto de alto valor agregado, com características nutricionais e medicinais desejáveis. Este cultivo gera um subproduto – o substrato exaurido de cogumelos, ou SMS (*Spent Mushroom Substrate*). Este substrato, rico em nutrientes, possui diversas aplicações, todavia a literatura carece de estudos acerca da utilização deste substrato para o cultivo de mudas florestais, sobretudo de eucalipto. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do SMS de *L. edodes* nas características físicas e químicas do substrato para a produção de mudas seminais de *Eucalyptus grandis*, bem como seu impacto nas características morfológicas das plantas. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado com 4 tratamentos, sendo 4 substratos: T1 (testemunha, 100% Carolina Soil II), T2 (25% SMS + 75% CAC (Casca de arroz carbonizada)), T3 (50% SMS + 50% CAC) e T4 (75% SMS + 25% CAC), e uma espécie florestal (*E. grandis*). Cada tratamento teve 4 parcelas com 12 mudas úteis por parcela, totalizando 48 repetições (unidades experimentais) por tratamento. Foram coletados extratos dos tratamentos (substratos) para caracterização física e química. No início do plantio, foi avaliado o percentual de emergência de plântulas dos tratamentos. Ao final do ciclo de cultivo, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da parte aérea, diâmetro do colo, número de folhas, massa seca da parte aérea, radicular e total, índice de qualidade de Dickson, conformação do sistema radicular, análise do lixiviado e acúmulo nutricional. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a um nível de 5% de significância. Na caracterização física do substrato, o tratamento T4 foi o que mais se aproximou das características do tratamento testemunha, sendo que os demais apresentaram baixa quantidade de microporos. Na caracterização química, observou-se maiores teores de nutrientes nos tratamentos contendo SMS. O SMS afetou negativamente o percentual de emergência de plântulas, sendo que o T1 obteve 96,59%, o T2 60,22%, o T3 36,07% e o T4 65,90%. O SMS não afetou o número de folhas das mudas. Quanto à altura, diâmetro do colo e índice de qualidade de Dickson, o T1 obteve valores estatisticamente superiores aos demais tratamentos, porém todos os tratamentos alcançaram parâmetros considerados aptos para o plantio. O acúmulo de

nutrientes apresentou comportamentos distintos na parte aérea e no sistema radicular, sendo que alguns nutrientes se correlacionaram positiva ou negativamente com as características físicas dos substratos. A análise do lixiviado evidenciou menor perda de água e nutrientes no tratamento testemunha, que possuía maior capacidade de retenção. Conclui-se que os substratos contendo SMS produziram mudas viáveis, porém novos estudos são necessários utilizando diferentes manejos hídricos e adubações para otimização da utilização deste material.

Palavras-chave: eucalipto; *Lentinula edodes*; viveiro.

ABSTRACT

In the cultivation of edible mushrooms, such as *Lentinula edodes* (shiitake), various agro-industrial residues are converted into a product with high added value, with desirable nutritional and medicinal characteristics. This cultivation generates a by-product – the Spent Mushroom Substrate (SMS). This substrate, rich in nutrients, has several applications, however the literature lacks studies on the use of this substrate for the cultivation of forest seedlings, especially eucalyptus. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of *L. edodes* SMS on the physical and chemical characteristics of the substrate for the production of seminal *Eucalyptus grandis* seedlings, as well as its impact on the morphological characteristics of the plants. A completely randomized experimental design was used with 4 treatments, being 4 substrates: T1 (control, 100% Carolina Soil II), T2 (25% SMS + 75% CRH (charred rice husk)), T3 (50% SMS + 50% CRH) and T4 (75% SMS + 25% CRH), and one forest species (*E. grandis*). Each treatment had 4 plots with 12 seedlings per plot, totaling 48 repetitions (experimental units) per treatment. Extracts from treatments were collected for physical and chemical characterization. At the beginning of planting, the percentage of seedling emergence of the treatments was evaluated. At the end of the cultivation cycle, the following variables were evaluated: plant height, stem diameter, number of leaves, aerial, root and total dry mass, Dickson quality index, root system conformation, leachate analysis and nutritional accumulation. Data were submitted to analysis of variance and the means of the treatments were compared by Tukey's test at a 5% significance level. In the physical characterization of the substrate, the treatment T4 was the closest to the characteristics of the control treatment, and the others showed a low amount of micropores. In the chemical characterization, higher nutrient contents were observed on the treatments containing SMS. SMS negatively affected the seedling emergency percentage, with T1 achieving 96.59%, T2 60.22%, T3 36.07% and T4 65.90%. SMS did not affect the number of leaves on the seedlings. As for height, stem diameter and Dickson quality index, T1 obtained statistically higher values than the other treatments, but all treatments reached parameters considered suitable for planting. The accumulation of nutrients showed different behaviors in the aerial part and in the root system, and some nutrients were positively or negatively correlated with the physical characteristics of the substrates. The leachate analysis showed less loss

of water and nutrients in the control treatment, which had a greater retention capacity. It is concluded that the substrates containing SMS produced viable seedlings, but further studies are needed using different water management and fertilization to optimize the use of this material.

Keywords: eucalyptus; *Lentinula edodes*; nursery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo reprodutivo fúngico.....	22
Figura 2 – Os dez maiores países produtores de cogumelos.....	24
Figura 3 – Pré-preparo do substrato à base de SMS de <i>Lentinula edodes</i> . (A) Desfragmentação e secagem dos blocos; (B) Substrato passando por peneira.....	32
Figura 4 – Preparo das diferentes formulações. (A) Homogeneização e umedecimento dos insumos em betoneira; (B) Formulações preparadas..	33
Figura 5 – Aferição do peso encharcado. (A) Imersão dos tubetes; (B) Pesar dos tubetes encharcados.....	34
Figura 6 – Drenagem dos tubetes.....	34
Figura 7 – Preparo das unidades experimentais e semeadura. (A) Enchimento dos tubetes; (B) Semeadura.....	36
Figura 8 – Mensuração da altura da parte aérea.....	38
Figura 9 – Mensuração do diâmetro do colo.....	39
Figura 10 – Análises destrutivas. (A) Seccionamento das plantas; (B) Lavagem dos sistemas radiculares.....	40
Figura 11 – Conformação do sistema radicular. (A) Ótimo; (B) Bom; (C) Ruim..	41
Figura 12 – Moagem das matérias secas das plantas.....	42
Figura 13 – Coleta da solução lixiviada em sacos plásticos.....	43
Figura 14 – Mensuração da solução lixiviada em proveta.....	43
Figura 15 – Efeito dos substratos na altura (cm) das mudas de <i>Eucalyptus grandis</i> . Desvio padrão da média entre parênteses.....	55
Figura 16 – Efeito dos substratos no diâmetro do colo (mm) das mudas de <i>Eucalyptus grandis</i> . Desvio padrão da média entre parênteses.....	57
Figura 17 – Efeito dos substratos no índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de <i>Eucalyptus grandis</i> . Desvio padrão da média entre parênteses.....	60
Figura 18 – Conformação do sistema radicular.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição do cogumelo <i>Lentinula edodes</i> (por 100 g em base seca).....	25
Tabela 2 – Proporções dos insumos nas formulações dos substratos (v:v).....	32
Tabela 3 – Caracterização física dos substratos.....	45
Tabela 4 – Caracterização química dos substratos (macro e micronutrientes) antes do cultivo.....	47
Tabela 5 – Caracterização química dos substratos (macro e micronutrientes) após o cultivo.....	51
Tabela 6 – Percentual de emergência de plântulas de <i>Eucalyptus grandis</i> nos diferentes tratamentos.....	52
Tabela 7 – Massa seca da parte aérea, massa seca radicular e massa seca total de <i>Eucalyptus grandis</i> nos diferentes tratamentos. Desvio padrão da média entre parênteses.....	59
Tabela 8 – Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular de <i>Eucalyptus grandis</i>	64
Tabela 9 – Volume, pH e condutividade elétrica da solução lixiviada após fertirrigação de crescimento em mudas de <i>Eucalyptus grandis</i> nos diferentes tratamentos.....	65
Tabela 10 – Volume, pH e condutividade elétrica da solução lixiviada após fertirrigação de rustificação em mudas de <i>Eucalyptus grandis</i> nos diferentes tratamentos.....	66

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Fungos	21
2.2	Cogumelos comestíveis	23
2.3	Lentinula edodes	25
2.4	Spent mushroom substrate – SMS	27
2.5	<i>Eucalyptus grandis</i>	29
3	MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1	Delineamento experimental	31
3.2	Instalação do experimento	31
3.2.1	Obtenção dos substratos.....	31
3.2.2	Preparo dos substratos	31
3.2.3	Caracterização física dos substratos.....	33
3.3	Preparo das unidades experimentais e semeadura	35
3.4	Condução das mudas	37
3.4.1	Água.....	37
3.4.2	Fertilização	37
3.5	Avaliações.....	38
3.5.1	Percentual de emergência de plântulas	38
3.5.2	Altura da parte aérea e diâmetro do colo	38
3.5.3	Massas secas, número de folhas e índice de qualidade de Dickson ...	39
3.5.4	Conformação do sistema radicular	40
3.5.5	Caracterização química e análise do lixiviado do substrato	41
3.6	Análises Estatísticas	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Avaliação física e química dos substratos	45
4.2	Percentual de emergência de plântulas	52
4.3	Variáveis morfológicas	54
4.4	Acúmulo de nutrientes.....	63
4.5	Análise do lixiviado	65
5	CONCLUSÕES	67
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o cultivo de cogumelos comestíveis se expandiu em mais de 30 vezes (ROYSE et al., 2017), em função do seu sabor, valor nutricional, propriedades medicinais e possibilidade de cultivo rústico (SÁNCHEZ, 2010). Segundo Sun et al. (2020), mais de 200 espécies de cogumelos são comestíveis, e destas destacam-se as espécies *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* e *Lentinula edodes*, sendo as mais cultivadas globalmente.

Os cogumelos estão presentes na alimentação humana há milênios, sendo muito apreciados pelas suas características organolépticas, sendo que nos últimos tempos sua procura vem aumentando em função de ser um alimento rico em proteínas, fibras, vitaminas, minerais, com baixo valor calórico e teor de lipídios (VALVERDE et al., 2015). De acordo com Maity et al. (2021), os cogumelos possuem diversas moléculas bioativas, sobretudo polissacarídeos, com aplicações terapêuticas, tais como antitumorais, antimicrobianas, antioxidantes, antivirais, estimulantes do sistema imunológico, entre outras.

O cultivo de cogumelos pode ser realizado em materiais lignocelulósicos, provenientes da agroindústria, por meio de infraestrutura simples e técnicas rústicas, promovendo a ciclagem de nutrientes destes materiais, convertendo-os em um alimento saudável e de alto valor agregado. Esse cultivo pode ser uma importante fonte de renda para pequenos produtores, de modo que este sistema de produção pode ser considerado sustentável economicamente e ambientalmente (SPINOSA, 2008).

Embora o cultivo de cogumelos comestíveis possua diversas vantagens, há a geração do substrato exaurido de cogumelos, ou substrato gasto/pós-cultivo, conhecido na literatura como SMS¹ – *Spent Mushroom Substrate*. Segundo Ma et al. (2014), para cada quilo de cogumelos frescos, gera-se entre 5 a 6 quilos de SMS. A reutilização do SMS é importante na transição para a economia circular, na qual resíduos agroindustriais são considerados recursos, que devem ser reutilizados em outros processos biotecnológicos, visando a eficiência destes processos e a sustentabilidade (GRIMM; WÖSTEN, 2018).

¹ Será utilizado o termo “SMS” neste trabalho.

Este material, nutricionalmente rico, pode ser utilizado em processos de biorremediação de ar, água e solo, remoção de pesticidas, cultivo de cogumelos, de plantas em ambientes abertos ou estufas, condicionante do solo, alimentação animal e como fonte de energia renovável (RINKER, 2017).

Apesar das utilizações mencionadas, a importância do reaproveitamento do SMS é uma área relativamente nova, de modo que novos estudos avaliando sua utilização devem ser realizados. Nesse contexto, constatou-se a ausência na literatura de pesquisas acerca da utilização deste material para a produção de mudas de *Eucalyptus grandis*, espécie de grande importância econômica e ambiental. Considerando a ampla literatura constatando a eficiência do SMS no cultivo de outras plantas, torna-se relevante estudar o potencial do uso de SMS para produção de mudas florestais, pois este rico material pode tornar-se viável na silvicultura.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do uso do SMS de *L. edodes* nas características físicas e químicas de substratos para o cultivo de mudas de *E. grandis*, bem como seu impacto nas características morfológicas das plantas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

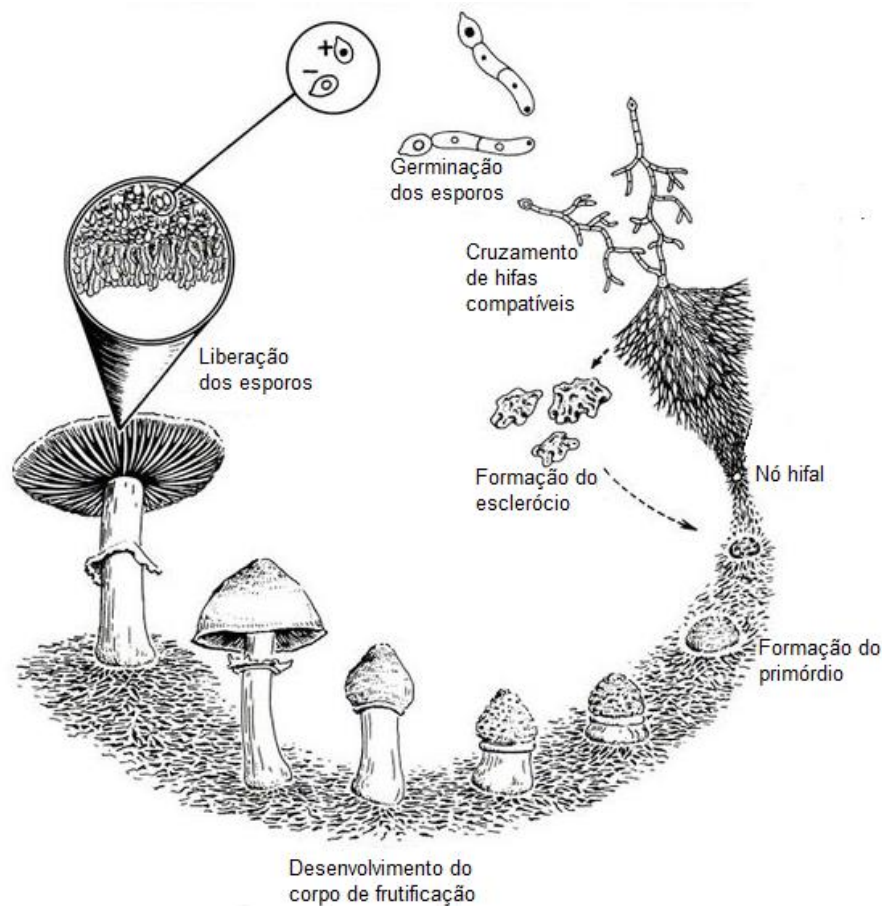
2.1 Fungos

Os fungos são microorganismos eucarióticos pertencentes ao reino fungi. Mais de 100 mil espécies são conhecidas, embora a estimativa é de que existam mais de 1,5 milhão de espécies. São quimio-heterotróficos e, com exceção das leveduras, multicelulares, podendo se reproduzir de forma sexuada ou assexuada (ABREU et al., 2014, TORTORA et al., 2017).

Sua importância em processos biotecnológicos é bem documentada. A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é utilizada em processos fermentativos, como na panificação e produção de álcool, o *Penicillium chrysogenum* e o *Acremonium chrysogenum* produzem os antibióticos penicilina e cefalosporina, respectivamente (ABREU et al., 2014). Silva e Malta (2016) reforçam que, além das aplicações industriais, os fungos são importantes organismos na recuperação ambiental, biodegradando resíduos agroindustriais.

Diversas espécies produzem enzimas como amilases, proteases, pectinases, lipases, celulasas, lactases, entre outras, que tem importante papel na indústria alimentícia, na natureza são responsáveis pela ciclagem de nutrientes e proporcionar a absorção de nutrientes por plantas, na forma de micorriza, além da comercialização dos corpos de frutificação de fungos macroscópicos (cogumelos), mercado este que está em expansão, sendo que os principais cogumelos comercializados são o *Agaricus bisporus*, *Pleurotus ostreatus* e *Lentinula edodes* (AZEVEDO; BARATA, 2018).

O ciclo reprodutivo de fungos basidiomicetos, como o *L. edodes*, está representado na Figura 1. Quando um esporo está em condições ambientais favoráveis, ocorre a germinação, na qual a hifa irá se desenvolver a partir de um poro germinal, sendo denominado micélio primário nesta etapa. Quando duas hifas compatíveis se encontram, as paredes celulares entre elas se dissolvem e ocorre a troca de material genético, desenvolvendo um micélio diplóide (2 N), em um processo denominado cariogamia. Esta etapa corresponde à formação de um micélio secundário, cuja velocidade de desenvolvimento é muito superior a de micélios haplóides (STAMETS; CHILTON, 1983).

Figura 1 – Ciclo reprodutivo fúngico

Fonte: Adaptado de STAMETS e CHILTON (1983).

Conforme o micélio se desenvolve por meio de sucessivas divisões mitóticas, se formam esclerócios, massas miceliais contendo reserva energética para assegurar a sobrevivência (CALVO, 2008). Este micélio continua a se multiplicar, desenvolvendo um nó hifal que irá dar origem a um primórdio, que se desenvolverá em corpo de frutificação (cogumelo), processo que pode demorar semanas ou meses. No corpo de frutificação, mais esporos serão liberados a partir das sterigmatas, estruturas presentes no interior das lamelas do píleo, e dispersos pelo ar, iniciando o ciclo novamente. A quantidade de esporos liberada por corpo de frutificação irá variar conforme a espécie. Desde a formação do micélio até a formação do corpo de frutificação, antes da produção e liberação dos esporos, o fungo se encontra em estado vegetativo, enquanto que na produção e liberação de esporos e cruzamento das hifas, corresponde à fase sexuada do ciclo reprodutivo fúngico (STAMETS; CHILTON, 1983).

2.2 Cogumelos comestíveis

Os cogumelos comestíveis estão presentes na alimentação de diversas culturas há séculos, em função de suas propriedades organolépticas e aplicações culinárias, bem como de suas características nutricionais, como baixo valor calórico e teor de lipídios, alto teor de proteínas e fibras (RONCERO-RAMOS; DELGADO-ANDRADE, 2017). São fonte de aminoácidos essenciais e não essenciais, minerais e compostos bioativos, como β -glucanas, peptídeos, terpenos, compostos fenólicos, entre outros, sendo considerados alimentos funcionais (BACH et al., 2017).

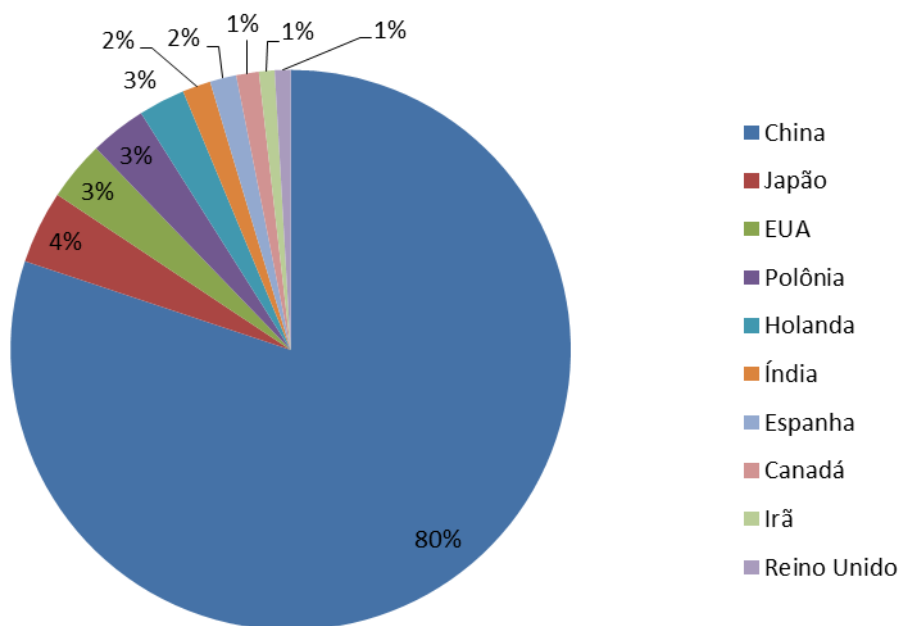
Em função destes compostos bioativos, os cogumelos possuem propriedades medicinais antiinflamatórias, antioxidantes, hepatoprotetoras, antimicrobianas, antivirais, antialérgicas e imunomodulatórias, de modo que este alimento é amplamente estudado na prevenção e tratamento contra diversas doenças, como câncer, obesidade, hiperglicemia, hipercolesterolemia, hipertensão, diabetes e doenças neurodegenerativas (RONCERO-RAMOS; DELGADO-ANDRADE, 2017).

Cerca de 3000 espécies de cogumelos comestíveis e medicinais são conhecidas, porém, destas, apenas 12 são amplamente produzidas de forma comercial, sendo que as principais espécies são *A. bisporus*, *P. ostreatus* e *L. edodes* (FERRARO et al., 2020).

Segundo Royse et al. (2017), os cogumelos comestíveis correspondem a 54% da indústria global de cogumelos, de modo que este segmento é avaliado em aproximadamente 34 bilhões de dólares. Ainda segundo estes autores, o cultivo de cogumelos comestíveis vem aumentando exponencialmente, tendo aumentado de 1 bilhão de kilos produzidos anualmente em 1978 para 34 bilhões em 2013, de modo que o consumo per capita deste alimento aumentou consideravelmente.

De acordo com dados da FAO (2021), a produção global de cogumelos em 2019 foi de 11.898.399 toneladas, sendo que China representa 80% desta produção, seguida do Japão e Estados Unidos (Figura 2).

Figura 2 – Os dez maiores países produtores de cogumelos



Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados da FAO (2021).

No Brasil a produção ainda é baixa, com uma média de 12.050 toneladas/ano, embora a demanda exista, pois o país ainda importa cogumelos (CAPRA; TONIM, 2019). Esta baixa produção pode ser explicada por ser uma cultura nova no país, introduzida somente na primeira metade do século XX, com a chegada de imigrantes Japoneses e Chineses em São Paulo (DIAS, 2010).

Por se tratar de um cultivo com alta razão benefício/custo, que pode ser realizado em áreas pequenas, cujo material base (resíduos lignocelulósicos) pode ser adquirido a baixo ou nenhum custo, e por não ser uma atividade fisicamente onerosa, a fungicultura foi apontada pela FAO como uma importante ferramenta de desenvolvimento rural e segurança alimentar em países em desenvolvimento, sendo uma boa possibilidade de geração de renda para pessoas com deficiência, mulheres e agricultores familiares, contribuindo para o desenvolvimento social (GUPTA et al., 2018).

Ferraro et al. (2020) apontam que, além das qualidades nutricionais e medicinais dos cogumelos, esta cultura também possui aplicação no segmento cosmético, na fortificação de alimentos, biorremediação e bioconstrução, sendo uma cultura de grande importância econômica e ambiental.

2.3 *Lentinula edodes*

O cogumelo *L. edodes*, popularmente conhecido como Shiitake, é amplamente cultivado em função do seu sabor, propriedades nutricionais e medicinais (ABÍLIO et al., 2020). Esta espécie corresponde a aproximadamente 10% da produção mundial de cogumelos, com projeções de aumento da demanda (FERRARO et al., 2020).

O *L. edodes* é um basidiomiceto saprófita lignocelulósico que secreta enzimas que degradam a lignina, celulose e hemicelulose da biomassa vegetal, de modo que esta espécie é capaz de converter resíduos agroindustriais em alimento de alto valor agregado (ABÍLIO et al., 2021).

Esta espécie é cultivada a milhares de anos em várias culturas, sobretudo na Ásia, sendo um importante alimento e ingrediente da medicina oriental, utilizado no tratamento de várias doenças, como infecções virais, tumores, problemas cardiovasculares e respiratórios, diabetes, entre outros (PONNUSAMY et al., 2022). A composição nutricional do *L. edodes* está descrita na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição do cogumelo *Lentinula edodes* (por 100 g em base seca)

Componentes	Concentração
Cinzas	6 g
Carboidratos e fibras	64,4 g
Energia	411 Kcal
Lipídios	2,1 g
Umidade	4,7 g
Proteínas	22,8 g
Cálcio	127 mg
Crômio	140 µg
Cobre	0,9 mg
Ferro	20,1 mg
Magnésio	200 mg
Manganês	5,1 mg
Fósforo	439 mg
Zinco	4,3 mg
Ácido ascórbico	2,1 mg
Ácido fólico	0,03 mg
Niacina	2,6 mg
Ergosterol	679 µg
Riboflavina	20,15 mg
Tiamina	0,05 mg

Fonte: Adaptado de Ponnusamy et al. (2022).

Quanto à sua morfologia, este fungo possui micélio branco, com hifas de 2 a 4 nm, o píleo (“chapéu”) do corpo de frutificação é arredondado, de 5 a 10 cm de diâmetro, com coloração marrom e com ou sem pilosidade, com lamelas curvilíneas e esbranquiçadas, e o estípite (“pé”) é fibroso (FERREIRA NETTO, 2018).

Segundo Finimundy et al. (2014), esta espécie possui moléculas de interesse médico, como polissacarídeos, terpenoides, esteróis e lipídios, que podem ser utilizados no tratamento de diversos problemas de saúde, bem como regular o sistema imunológico. Os autores complementam que, nutricionalmente, trata-se de uma espécie rica em vitaminas do complexo B e minerais, além de ser uma boa fonte de proteínas em países com alto índice de desnutrição. Ainda, os polissacarídeos bioativos obtidos do *L. edodes* possuem ação de sequestro de radicais livres, prevenindo o dano oxidativo destes, de modo que estes polissacarídeos vem sendo estudados como importantes antioxidantes naturais (MUÑOZ-CASTIBLANCO et al., 2022).

O *L. edodes* possui aplicações biotecnológicas, como o biobranqueamento de materiais e biodegradação de poluentes, em função do seu complexo enzimático (LÓPEZ; SILVA; SANTOS, 2017), a produção de bioetanol, controle biológico de fitopatógenos, utilização como bioindicador de poluentes no solo e na água, entre outros, de modo que o estudo das aplicabilidades desta espécie e de seus subprodutos necessita de mais investigação (HADJÚ et al., 2022).

O cultivo desta espécie pode ser realizado de duas formas: em toras ou em substrato (cultivo axênico). No cultivo em toras, mourões de eucalipto são furados, preenchidos com inóculo do fungo, incubados e induzidos à frutificação; no cultivo em substrato, são formados blocos de serragem de eucalipto ou composto à base de gramíneas (técnica Jun-cai), que também são inoculados, incubados e induzidos à frutificação, porém este processo é mais rápido no cultivo axênico (PASCHOLATI et al., 2014). Embora o cultivo axênico tenha se tornado o mais comum, o cultivo artesanal em toras ainda representa 25% da produção mundial de *L. edodes* (KOBAYASHI et al., 2020).

Os substratos à base de biomassa lignocelulósica podem ser suplementados com fontes de nitrogênio, em especial o farelo de trigo, que resulta em crescimento micelial mais rápido e, subsequentemente, reduz os riscos de contaminação do substrato (MAO et al., 2020).

2.4 Spent mushroom substrate – SMS

O substrato exaurido de cogumelos, ou SMS (*spent mushroom substrate*) refere-se à biomassa residual resultante do cultivo de cogumelos, após a colheita destes, sendo um material composto de resíduos de materiais lignocelulósicos e micélio do cogumelo (PHAN; SABARATNAM, 2012). Em função da ampla variedade de substratos utilizados para o cultivo de cogumelos, bem como método de preparo do substrato e espécie fúngica utilizada, a composição exata do SMS pode variar (ATALLAH et al., 2021). De maneira geral, este material é rico em celulose, lignina, vitaminas e outras substâncias bioativas (LI et al., 2020).

Estima-se que para cada quilo de cogumelos frescos, são gerados de 5 a 6 quilos de SMS, de modo que faz-se necessário avaliar alternativas para a reutilização deste material (RINKER, 2017). De acordo com Phan e Sabaratnam (2012), quando não há estratégia para reutilização do SMS, este normalmente é incinerado, enterrado ou disposto em aterros sanitários.

Entre as possíveis utilizações do SMS, destacam-se a biorremediação de ar, água e solos contaminados, remoção de pesticidas, produção de mudas de hortaliças e flores, condicionamento de solos, reutilização no cultivo de cogumelos, alimentação animal, controle de fitopatógenos, produção de energia renovável (RINKER, 2017), produção de enzimas, remoção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, obtenção de compostos fenólicos, remoção de corantes, entre outros (PHAN; SABARATNAM, 2012).

Ribas et al. (2009) avaliaram a utilização de SMS de *A. blazei* e *L. edodes* no enriquecimento do solo para produção de mudas de alface, bem como para a biorremediação in vitro de atrazina. Os autores utilizaram o SMS como suplementação do solo em diferentes proporções (5, 10, 25 e 40%), constatando que o SMS de *A. blazei* constitui uma excelente suplementação do substrato, sendo rico em matéria orgânica e uma boa fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, resultando em mudas com maior massa aérea em comparação com o substrato sem SMS. O SMS de *L. edodes*, em função da alta carga microbiana e sua atividade enzimática, sobretudo de espécies mesofílicas, foi eficiente na biorremediação do solo. Gasecka et al. (2012) também avaliaram o potencial de biorremediação dos SMS de *A. blazei* e *L. edodes*, onde observaram que ambos foram eficientes na remoção de antraceno, fenantreno, fluoranteno e pireno do solo.

Wang et al. (2016) constataram que o SMS de *L. edodes* é eficiente na remoção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em solos, degradando-os por meio das enzimas lignolíticas, bem como da promoção da microbiota do solo.

No controle de fitopatógenos, Kang et al. (2017) observaram uma redução de 65% na contaminação de sementes de pimenta por *Phytophthora capsici* a partir da utilização de extrato de SMS de *L. edodes*. Os autores atribuíram o potencial fitossanitário deste material à presença de ácido oxálico em sua composição, além da indução de genes de defesa na planta. Similarmente, Ferreira et al. (2022) avaliaram a utilização de SMS de *L. edodes* no controle in vitro de nematoides, onde observaram redução de até 77% do número de larvas de *Panagrellus* spp. em comparação com o meio de cultura controle.

Wei et al. (2020) utilizaram o SMS de *Auricularia auricula* e *L. edodes* na alimentação de larvas de *Protaetia brevitarsis*, o que resultou na possibilidade de digestão e utilização da lignocelulose pelo inseto, de modo que este produziu um fertilizante orgânico rico em ácido húmico, com teores de nitrogênio, fósforo e potássio mais altos que o SMS pré-digestão, e não fitotóxico.

Não foram encontrados na literatura estudos acerca da utilização do SMS para o cultivo de mudas florestais, mas sua utilização no cultivo de hortaliças, flores e arbustos é bem documentada. Segundo Hanafi et al. (2018), por ser rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes, bem como melhorar a estrutura do solo, o SMS pode ser utilizado como biofertilizante puro ou em suplementação do substrato tradicional no desenvolvimento de diversas plantas.

Ahlawat e Sagar (2007) reportam que a utilização do SMS é positiva no cultivo de pepino, tomate, brócolis, couve-flor, tulipa, pimenta, espinafre, alface, calêndula, abobrinha, berinjela, milho, milheto, feijão, deutzia-elegante, corniso branco, forsítia verde, danúbio azul, alfeneiro, aspargo, caqui, ervilha, gengibre, cebola, trigo, entre outros.

Vieira et al. (2021), ao avaliar a viabilidade da integração de diferentes cadeias produtivas (fungicultura, produção de azeite e olericultura) em estufa climatizada, reforçam que, especialmente para pequenos produtores, o uso do SMS proporciona um sistema de co-produção sustentável dentro dos parâmetros da economia circular, reduzindo custos de produção.

2.5 *Eucalyptus grandis*

O gênero *Eucalyptus*, originário da Oceania, possui mais de 700 espécies, cujas principais finalidades são a produção de madeira para serraria, papel, celulose e carvão (BARBOSA et al., 2021). Estima-se que tenha sido introduzido no Brasil em 1825, embora estudos com este gênero só tenham se iniciado em 1904, com o objetivo de suprir a demanda de lenha, postes e dormentes da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (PINTO JÚNIOR; SILVEIRA, 2021).

Segundo Cunha et al. (2021), dos 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas no Brasil, 72% são do gênero *Eucalyptus*, com uma produção média de 36 m⁻³ ha⁻¹ por ano. Ainda, segundo estes autores, espera-se crescimento do setor, em função da crescente demanda por madeira.

Dentro deste gênero, a espécie *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, bem como seus híbridos, é uma das principais cultivadas, correspondendo a cerca de 90% da plantação de eucalipto em mais de 90 países (SILVA et al., 2019). Nativa da Austrália, esta espécie é de grande importância econômica para a silvicultura Brasileira, com diversas finalidades e alta adaptabilidade aos diversos climas do país (MIRANDA et al., 2019).

Simões et al. (2012) destacam que um dos principais fatores para a produção de mudas de qualidade de *E. grandis* em viveiros é o tipo e qualidade do substrato, de modo que é necessária a utilização de substrato capaz de proporcionar as características químicas, físicas e biológicas adequadas para o ideal desenvolvimento da planta. Nesse contexto, diversos materiais podem ser utilizados para a formulação do substrato, combinando-se materiais inertes, como vermiculita, casca de arroz carbonizada e moinha de carvão vegetal, com materiais orgânicos, como turfa, fibra de côco, esterco, cascas de árvores e compostos oriundos de resíduos orgânicos (WENDLING et al., 2021).

Fermino et al. (2018) explicam que novas formulações de substratos para o cultivo de mudas de *E. grandis* são constantemente testadas, sobretudo resíduos agroindustriais, no intuito de mitigar o impacto ambiental do descarte incorreto destes materiais, bem como diminuir o custo de produção de mudas em viveiros. Ainda, segundo estes autores, há a limitação de espaço para o crescimento radicular das mudas em recipientes, portanto o substrato a ser utilizado precisa ser capaz de

fornecer quantidade adequada de água às plantas, sem comprometer o fornecimento de oxigênio, bem como possuir boa estrutura e consistência.

Quanto à determinação da qualidade da muda de eucalipto, são avaliadas características morfológicas, como altura, diâmetro do colo, número de folhas (LIMA et al., 2018) e qualidade da raiz, sendo que essas características se correlacionam com a sobrevivência no campo após o plantio (FIGUEIREDO et al., 2019). Ademais, utiliza-se o índice de qualidade de Dickson (IQD), que incorpora tanto as variáveis de altura e diâmetro quanto as variáveis de biomassa radicular, da parte aérea e total (MEDEIROS et al., 2018).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi executado no Viveiro de Produção de Mudanças Florestais da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da UNESP, no município de Botucatu – SP (localização geográfica: Latitude 22°51'17.9"S Longitude 48°25'58.2"W), de Agosto de 2021 a Setembro de 2022.

3.1 Delineamento experimental

Foi utilizado delineamento experimental inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos (formulações diferentes de substrato) para o cultivo de *Eucalyptus grandis*. Para cada tratamento, foram preparados 352 tubetes. Posteriormente, foram montadas quatro parcelas por tratamento com 12 mudas centrais úteis para avaliação, totalizando 48 unidades experimentais (mudas úteis) por tratamento.

3.2 Instalação do experimento

3.2.1 Obtenção dos substratos

O substrato convencional (Carolina Soil – testemunha) e a casca de arroz carbonizada foram adquiridos no comércio de Botucatu – SP. O SMS de *L. edodes* foi fornecido pela empresa Fungibras de Botucatu – SP.

3.2.2 Preparo dos substratos

Os blocos de SMS de *L. edodes* foram secos ao sol por 48 horas, manualmente desfragmentados e peneirados em peneira de aço com malha de 2 mm (Figura 3).

Figura 3 – Pré-preparo do substrato à base de SMS de *Lentinula edodes*. (A) Desfragmentação e secagem dos blocos; (B) Substrato passando por peneira



Em seguida, foram preparadas 4 formulações (Tabela 2), com a utilização de betoneira para homogeneização (Figura 4). As formulações foram acrescidas de água manualmente até atingir uma umidade média de 60%.

Tabela 2 – Proporções dos insumos nas formulações dos substratos (v:v)

	Carolina Soil II	SMS de <i>L. edodes</i>	Casca de arroz carbonizada
Formulação 1	100%	—	—
Formulação 2	—	25%	75%
Formulação 3	—	50%	50%
Formulação 4	—	75%	25%

SMS – Spent Mushroom Substrate.

Figura 4 – Preparo das diferentes formulações. (A) Homogeneização e umedecimento dos insumos em betoneira; (B) Formulações preparadas



As formulações foram submetidas à caracterização física, descrita a seguir.

3.2.3 Caracterização física dos substratos

As formulações descritas anteriormente foram submetidas à caracterização física do substrato de acordo com Silva (1998), para determinação da porosidade total, macroporos, microporos, retenção, densidade compactada, pH e condutividade elétrica.

Para cada formulação, 12 tubetes cilíndricos, previamente pesados e numerados, com capacidade de 50 cm³ foram preenchidos com o substrato, acondicionados em caixa d'água com tela vazada por uma hora e pesados em balança analítica para aferição do peso encharcado (Figura 5).

Figura 5 – Aferição do peso encharcado. (A) Imersão dos tubetes; (B) Pesagem dos tubetes encharcados

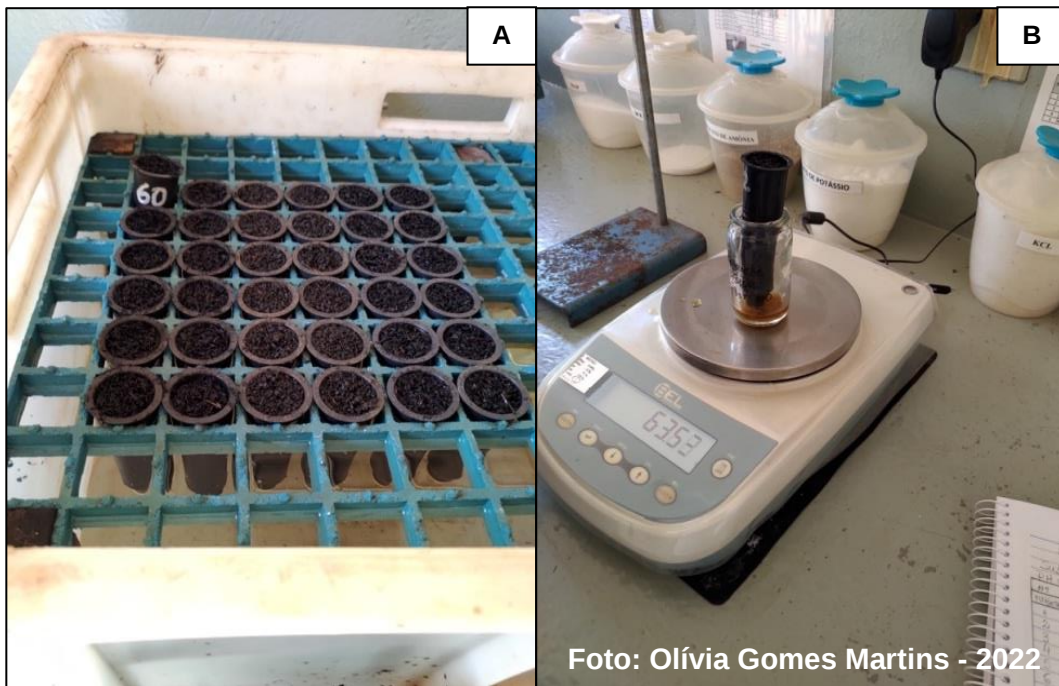


Foto: Olívia Gomes Martins - 2022

Posteriormente, os tubetes foram suspensos em estrutura de madeira com tela vazada por uma hora, adicionou-se uma espuma de 2 cm de espessura e 4 folhas de jornal, para drenagem, com duração de 12 horas (Figura 6).

Figura 6 – Drenagem dos tubetes



Foto: Olívia Gomes Martins - 2022

Os tubetes foram novamente pesados para aferição do peso drenado. Cada tubete teve seu conteúdo transferido para cápsulas de metal previamente pesadas, que foram levadas à estufa de secagem à 105 °C por 24 horas e novamente pesadas, para aferição do peso seco.

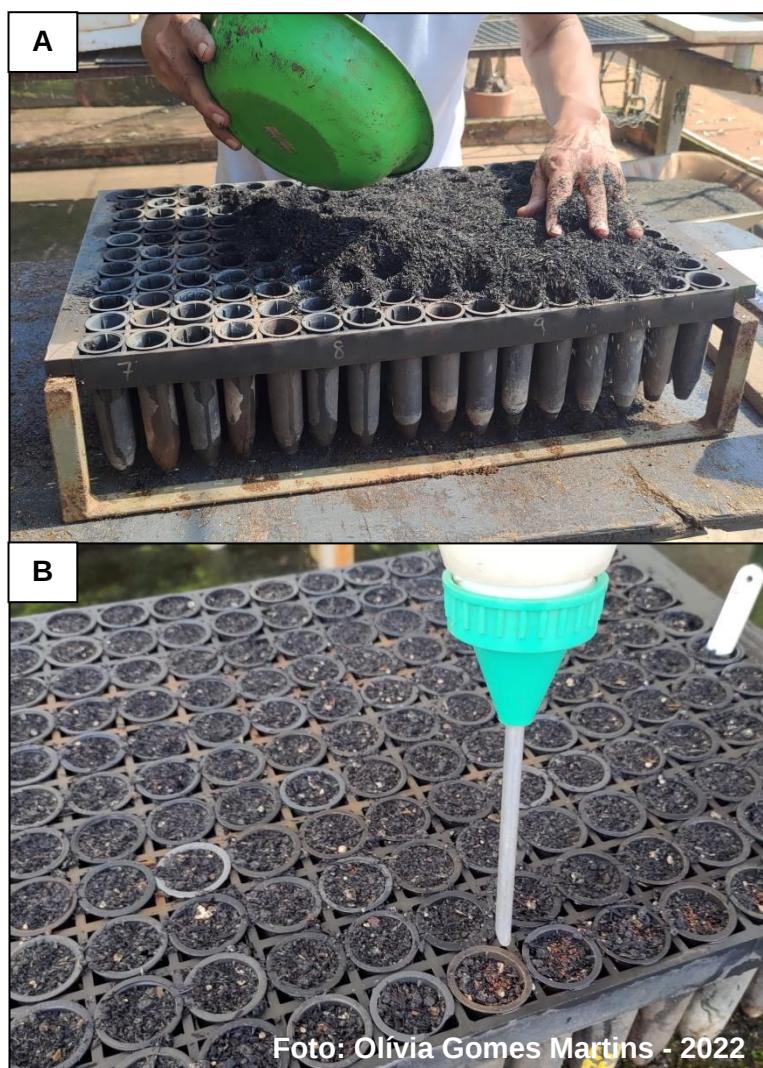
Para aferição da densidade compactada, foi utilizado um recipiente cilíndrico, previamente pesado, com capacidade de 1,3 L. O recipiente foi preenchido com o substrato e posicionado em estrutura para compactação, compactado, preenchido novamente e pesado, subtraindo-se a tara do recipiente. A massa foi dividida pelo volume do recipiente.

A aferição do pH e da condutividade elétrica seguiu o método holandês 1:15 (v:v) (SONNEVELD et al., 1974; SONNEVELD, 1988).

3.3 Preparo das unidades experimentais e semeadura

Para cada formulação, foram preparados 352 tubetes, os quais foram preenchidos com os substratos e compactados (Figura 7A). Para a semeadura, foram utilizadas sementes de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, cultivar LCFA001, provenientes do IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba - SP. A semeadura foi realizada de forma manual, utilizando bisnaga com injetor (Figura 7B). As bandejas foram cobertas com fina camada de substrato e irrigadas.

Figura 7 – Preparo das unidades experimentais e semeadura. (A) Enchimento dos tubetes; (B) Semeadura



As bandejas foram alocadas em casa de sombra, com sistema de irrigação por microaspersão, com vazão por bocal de 200 L h^{-1} , acionados automaticamente por painel elétrico durante 20 segundos a cada 30 minutos, das 9 às 16 horas. Após a germinação, as bandejas foram levadas para estufa tipo minitúnel, onde tiveram seu espaçamento alterado para 25% de ocupação na bandeja. Após o crescimento inicial das mudas, foi feito o desbaste deixando somente uma muda por tubete, priorizando as de maior vigor e melhor posicionamento no tubete.

Antes de serem levadas para a área de pleno sol, 48 mudas de cada tratamento (4 parcelas com 12 mudas cada) foram selecionadas quanto à altura para assegurar

que todas as repetições, dentro de um mesmo substrato, tivessem a mesma média dessa variável.

3.4 Condução das mudas

3.4.1 Água

A água de irrigação do viveiro é proveniente da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), com pH de aproximadamente 7,0 e condutividade elétrica média de $0,047 \text{ mS m}^{-1}$. Foi utilizada lâmina d'água de 17 mm, devido à alta temperatura e exposição solar das plantas durante o experimento.

3.4.2 Fertilização

Foram realizadas adubações padrão para todos os indivíduos via fertirrigação três vezes por semana. Para a solução de macronutrientes, foram utilizados os fertilizantes nitrato de cálcio, monoamoniofosfato (MAP) purificado, cloreto de potássio, sulfato de amônio, uréia, sulfato de magnésio e ferro 13% nas concentrações de 0,87, 0,12, 0,40, 0,15, 0,54, 0,52 e $0,03 \text{ g L}^{-1}$ respectivamente. A solução de micronutrientes foi composta de ácido bórico, sulfato de manganês, sulfato de zinco, sulfato de cobre e molibdato de sódio nas concentrações de 6,0, 6,0, 1,4, 0,6 e $0,16 \text{ mg L}^{-1}$ respectivamente. A condutividade elétrica da solução foi de $3,04 \text{ mS}$ e o pH 5,93.

Durante o período de rustificação das mudas, a solução nutritiva consistiu apenas de cloreto de potássio em concentração de 600 mg L^{-1} de K. A rustificação foi feita por fertirrigação e teve duração de duas semanas.

3.5 Avaliações

3.5.1 Percentual de emergência de plântulas

O percentual de emergência de plântulas foi avaliado antes da montagem das parcelas. Dos 352 tubetes preparados para cada tratamento, foi contabilizada a quantidade de mudas que se desenvolveram para cálculo do percentual de emergência de plântulas.

3.5.2 Altura da parte aérea e diâmetro do colo

As variáveis altura da parte aérea (cm) e diâmetro do colo (mm) foram avaliadas nas 12 mudas úteis de cada parcela, periodicamente, durante o ciclo de produção, que teve duração de 120 dias. A altura da parte aérea foi medida com régua milimetrada, a partir da borda do tubete até a gema apical que deu origem à última folha (Figura 8).

Figura 8 – Mensuração da altura da parte aérea



Foto: Olívia Gomes Martins - 2022

O diâmetro do colo (mm) foi avaliado nas 12 mudas úteis de cada parcela, sendo medido rente à borda do tubete com paquímetro digital (Figura 9).

Figura 9 – Mensuração do diâmetro do colo



3.5.3 Massas secas, número de folhas e índice de qualidade de Dickson

Para medir a massa seca aérea (g) e radicular das mudas (g), foi realizado o seccionamento do caule próximo ao substrato, dividindo-as em duas partes (Figura 10A). O número de folhas de cada muda foi contabilizado. Os sistemas radiculares foram lavados em água corrente sobre peneira (Figura 10B). Estes procedimentos foram realizados ao final do ciclo de cultivo (120 dias), nas 48 unidades experimentais de cada tratamento.

Figura 10 – Análises destrutivas. (A) Seccionamento das plantas; (B) Lavagem dos sistemas radiculares



Em seguida, as partes aéreas e radiculares foram, separadamente, colocadas em sacos de papel e levadas à estufa a 70 °C até atingirem massa constante, as quais foram medidas em balança eletrônica de precisão de duas casas.

A partir da soma da massa seca aérea com a radicular, foi determinada a massa seca total (g) e, em seguida, o índice de qualidade de Dickson (IQD), conforme a fórmula:

$$IQD = \frac{Massa\ seca\ total}{\left(\frac{Altura\ da\ parte\ aérea}{Diâmetro\ do\ colo}\right) + \left(\frac{Massa\ seca\ da\ parte\ aérea}{Massa\ seca\ radicular}\right)}$$

3.5.4 Conformação do sistema radicular

A conformação do sistema radicular de todas as mudas foi avaliada ao final do ciclo de cultivo (120 dias) de acordo com Simões et al. (2012). Nesta avaliação, atribuiu-se os conceitos qualitativos “apto e inapto para o plantio”. O conceito “apto

para o plantio” (%) foi atribuído ao sistema radicular formado por torrão com nenhuma ou pouca flexibilidade (qualificação “ótimo” e “bom”, respectivamente - Figura 11A e 11B) e com presença de raízes novas. O conceito “inapto para o plantio” (%) foi atribuído ao sistema radicular desagregado e com ausência de raízes novas (qualificação “ruim” - Figura 11C).

Figura 11 – Conformação do sistema radicular. (A) Ótimo; (B) Bom; (C) Ruim



3.5.5 Caracterização química e análise do lixiviado do substrato

Para caracterização química dos substratos, antes e após o cultivo, foram obtidos filtrados seguindo o método holandês 1:1,5 (v:v) (SONNEVELD et al., 1974, SONNEVELD, 1988). Neste método, para cada tratamento, 100 mL do substrato foi acrescido à 150 mL de água destilada e filtrado. Foram obtidos 50 mL de filtrado de cada tratamento, que foi utilizado para caracterização química do substrato.

Para caracterização química de nutrientes na planta, a matéria seca das partes aérea e radicular de todas as mudas de cada tratamento foram separadamente moídas em moinho tipo Wiley (Figura 12).

Figura 12 – Moagem das matérias secas das plantas



As caracterizações químicas foram feitas no Laboratório de Análise Química de Fertilizantes e Corretivos, pertencente ao Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente – FCA/ UNESP, Botucatu, SP, localização geográfica 22°85'04.54"S e 48°43'16.41"). Foram determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, e S), micronutrientes (Na, B, Cu, Fe, Mn, Zn), pH e condutividade elétrica. Com os valores de teor e massa seca, foi calculado o acúmulo de cada nutriente na planta.

Para coletar as soluções lixiviadas, sacos plásticos foram presos com elástico, antes da primeira fertiirrigação de crescimento do dia, em 10 mudas de cada tratamento (Figura 13).

Figura 13 – Coleta da solução lixiviada em sacos plásticos



Foto: Olívia Gomes Martins - 2022

Após a fertirrigação, o pH e a condutividade elétrica das soluções coletadas foram mensuradas. Este procedimento foi realizado três vezes ao longo do cultivo e novamente com a fertirrigação de rustificação. O volume da solução lixiviada destas etapas foi mensurado em proveta (Figura 14).

Figura 14 – Mensuração da solução lixiviada em proveta



Foto: Olívia Gomes Martins - 2022

3.6 Análises Estatísticas

Para comparação entre tratamentos das variáveis altura, diâmetro, número de folhas, massas secas e IQD, foi utilizado o programa estatístico Sisvar, onde as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a um nível de 5% de significância.

Os boxplots para visualização dos dados foram gerados utilizando a linguagem de programação Python, versão 3.10, com as bibliotecas numpy, pandas e matplotlib, no ambiente de desenvolvimento integrado Google Colab.

Para comparar o efeito das características físicas e químicas dos substratos sobre o acúmulo de nutrientes nas plantas, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação física e química dos substratos

O resultado da caracterização física dos substratos está na Tabela 3, onde é possível observar diferenças nestes parâmetros entre os substratos.

Tabela 3 – Caracterização física dos substratos

	T1	T2	T3	T4
Porosidade total (%)	80,29	85,18	85,26	83,92
Macroporos (%)	25,32	54,42	51,47	42,74
Microporos (%)	54,97	30,76	33,79	41,18
Retenção (mL 55 cm³)	28,02	15,70	17,23	21,07
Densidade (Kg m³)	182,50	296,71	343,83	452,23
pH	6,27	5,79	5,67	5,57
EC (mS cm⁻¹)	0,66	0,61	1,04	1,18

T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada; EC= condutividade elétrica. Média de 12 repetições.

Observa-se que a porosidade total dos tratamentos à base de SMS + CAC foi maior do que a porosidade do tratamento testemunha (T1 – Carolina Soil). Além da maior porosidade total, estes tratamentos também apresentaram maior quantidade de macroporos em relação ao tratamento testemunha. Estes resultados são corroborados por Guerrini e Trigueiro (2004), que explicam que a casca de arroz carbonizada é um material leve e inerte à hidratação, aumentando a porosidade do substrato conforme se eleva a quantidade deste material na mistura. Segundo Gonçalves e Poggiani (1996), o valor recomendado de porosidade total é de 75-85%, de modo que todos os tratamentos obtiveram valores adequados neste parâmetro. Ainda de acordo com os mesmos autores, a macroporosidade deve estar entre 35-45%, valor atingido apenas pelo substrato T4.

Em relação ao percentual de microporos e retenção, observa-se relação inversamente proporcional entre a quantidade de CAC utilizada e os valores obtidos

nestes parâmetros, e que o tratamento testemunha obteve valores superiores aos demais tratamentos. Segundo Guerrini e Trigueiro (2004), a adição da CAC resulta em aumento da macroporosidade, porém diminuição da microporosidade. Os autores complementam que há relação direta entre a microporosidade e a capacidade de retenção do substrato. A literatura recomenda que os valores de microporosidade estejam entre 45-55% (GONÇALVES; POGGIANI, 1996), o que só foi obtido pelo tratamento testemunha. Já a retenção deve estar entre 20-30 mL 50cm³ (DELARMELINA et al., 2014), alcançado pelos tratamentos T1 e T4.

A literatura recomenda que a densidade do substrato esteja entre 250 a 500 Kg m³ (Kratz et al., 2013), de modo que os tratamentos à base de SMS + CAC obtiveram valores dentro da faixa recomendada, diferentemente do tratamento testemunha, que obteve valores mais baixos. Segundo Jesus (2016), substratos com baixa densidade não oferecem o suporte adequado à planta. Todavia, Lopes et al. (2008), ao avaliar o impacto dos atributos físicos de dois diferentes substratos na produção de mudas de eucalipto, também obtiveram valores mais baixos do que o recomendado, o que não afetou o desenvolvimento das mudas.

Embora alguns substratos não tenham atingido os valores recomendados pela literatura em diferentes parâmetros físicos, Silva et al. (2021), ao avaliar o efeito das propriedades físicas de diferentes substratos na qualidade de mudas clonais de eucalipto, também obtiveram valores destoantes do recomendado. Os autores explicam que os valores recomendados não se aplicam a todas as espécies, tipos de recipientes, formas de propagação, manejo hídrico, nutricional e materiais utilizados na formulação do substrato, portanto valores diferentes do recomendado pela literatura ainda podem ser adequados.

Quanto ao pH, observa-se que, quanto maior a quantidade de SMS presente no substrato, menor o pH. Foram obtidos valores entre 5,57 a 6,27, de modo que todos os valores estão dentro do recomendado (5,0 a 6,5) por Kratz et al. (2013). Lacerda et al. (2006) reforçam que a importância do pH adequado se deve à influência deste na disponibilidade de nutrientes para a planta, bem como em desequilíbrios fisiológicos.

Em relação à condutividade elétrica, Kratz e Wendling (2013) recomendam níveis ótimos de 1,5 a 3,0 mS cm⁻¹ para substratos para o cultivo de espécies florestais. Na caracterização inicial, todos os substratos obtiveram valores mais baixos do que o recomendado por estes autores. Entretanto, Santos et al. (2014)

recomendam o valor de até 1,0 mS cm⁻¹, de modo que apenas os tratamentos T3 e T4 estavam ligeiramente acima do recomendado por este autor. É importante ressaltar que os substratos receberam nutrição por fertirrigação durante o cultivo, e que altos valores de EC indicam altos níveis de salinidade, o que pode danificar as raízes, prejudicando a absorção de água e nutrientes, afetando a atividade fisiológica e favorecendo a ocorrência e severidade de patógenos (KRATZ; WENDLING, 2013).

A Tabela 4 contém a caracterização química dos diferentes tratamentos antes do cultivo, bem como do SMS e casca de arroz carbonizada individualmente, para comparação. Nas amostras contendo SMS, puro ou em diferentes combinações, não foi possível obter os teores de fósforo, enxofre e boro.

Tabela 4 – Caracterização química dos substratos (macro e micronutrientes) antes do cultivo

Nutrientes (mg L ⁻¹)	Substratos					
	T1	T2	T3	T4	SMS	CAC
N	20,00	24,00	28,00	27,00	20,00	14,00
P	29,00	-	-	-	-	39,00
K	104,00	186,00	157,00	149,00	333,00	138,00
Ca	34,00	154,00	136,00	212,00	364,00	39,00
Mg	47,00	132,00	157,00	186,00	610,00	35,00
S	66,60	-	-	-	-	15,10
Na	12,50	14,40	19,20	19,20	38,80	6,80
B	0,08	-	-	-	-	0,05
Cu	0,09	0,09	0,07	0,08	0,13	0,06
Fe	0,60	1,60	0,75	2,24	1,19	0,05
Mn	0,37	5,71	1,72	5,46	2,43	0,16
Zn	0,16	0,25	0,07	0,27	0,20	0,02

T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada, SMS= 100% substrato gasto de *L. edodes*, CAC= 100% casca de arroz carbonizada.

Observa-se na caracterização química que, nos tratamentos com SMS na composição, o teor de nitrogênio foi superior ao tratamento testemunha. Segundo Rosa et al. (2009), o nitrogênio está ligado à todas as rotas metabólicas da planta, de

forma direta ou indireta, afetando, principalmente, a atividade fotossintética e acúmulo de biomassa. Santos et al. (2014), ao avaliar as características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais, constataram aumento do teor de N nos substratos contendo lodo de esgoto, obtendo médias de até 21,1 mg L⁻¹. Antônio et al. (2010) avaliaram a viabilidade da utilização de bio sólido de cervejaria como substrato para a produção de eucalipto, também observando aumento no teor de nitrogênio do substrato em função do aumento do bio sólido. Os autores relatam que o maior teor de nutrientes nos substratos resultou em plantas com altura estatisticamente superiores às plantas cultivadas em substrato testemunha. Similarmente, D'Ávila (2008) constatou melhores resultados em características morfológicas de mudas de eucalipto em substratos acrescidos de nitrogênio.

Quanto ao teor de fósforo, não foi possível obter o teor deste nutriente nos tratamentos à base de SMS. No tratamento testemunha, obteve-se um valor de 29 mg L⁻¹, acima do recomendado por Lopes et al. (2008), de 6 a 10 mg L⁻¹. De acordo com Rocha et al. (2013), o fósforo é um nutriente essencial na produção de mudas de eucalipto, sobretudo na fase inicial de produção, participando dos compostos ricos de energia como o trifosfato de adenosina (ATP), sendo importante na divisão celular, reprodução, fotossíntese, respiração e síntese de substâncias orgânicas. Ainda, segundo os mesmos autores, a falta desse nutriente nas fases de indução e formação de raízes reduz o comprimento destas, afetando negativamente a qualidade das mudas.

Foram obtidos valores de potássio entre 104 a 186 mg L⁻¹, sendo o valor mais baixo no tratamento testemunha, e o valor mais alto no substrato T2. Silva et al. (2014), ao avaliar a produção de *E. grandis* em substratos orgânicos alternativos, obtiveram valores de K entre 120 a 310 mg L⁻¹, próximos aos encontrados no presente estudo. Segundo D'Ávila et al. (2011), o potássio não faz parte de nenhum composto orgânico e não desempenha função estrutural na planta, porém atua na ativação de enzimas, além de ser importante para a manutenção do turgor, sobretudo em situações de estresse hídrico. Os autores complementam que a nutrição com potássio resulta em plantas mais resistentes à secas e geadas devido à maior retenção de água, sendo utilizado na fase de rustificação de mudas.

Em relação ao cálcio, o tratamento testemunha obteve o valor de 34 mg L⁻¹, enquanto que os demais tratamentos obtiveram valores entre 136 a 212 mg L⁻¹. Lopes et al. (2008) recomendam que os valores de cálcio nos substratos para cultivo de

plantas esteja entre 150 a 249 mg L⁻¹, portanto os tratamentos contendo SMS, com exceção do T3, estão dentro do recomendado segundo estes autores. Barros Filho (2014) explica que o cálcio tem importante papel na mitigação dos efeitos da restrição hídrica, reduzindo a seca de ponteiros em eucalipto.

O tratamento testemunha obteve o valor de magnésio, 47 mg L⁻¹. A adição de SMS resultou em aumento gradativo deste macronutriente nos substratos, com valores entre 132 a 186 mg L⁻¹. Todavia, todos os tratamentos ainda estão abaixo do recomendado por Lopes et al. (2008), de acima de 200 mg L⁻¹. Barbosa et al. (2019) explicam que o magnésio é necessário em diversos processos metabólicos da planta, como fotofosforilação, fixação do dióxido de carbono na fotossíntese e síntese de proteínas e de clorofila, e que sua deficiência restringe o crescimento radicular.

Quanto ao enxofre, também não foi possível obter o teor deste nutriente nos tratamentos à base de SMS. No tratamento testemunha, obteve-se um valor de 66,6 mg L⁻¹. Segundo Rocha et al. (2015), o enxofre tem diversas funções nas plantas, como síntese de aminoácidos essenciais, de vitaminas, ativação de enzimas, formação de lipídios, síntese da clorofila, fixação simbiótica do nitrogênio, entre outras, porém os autores relatam que este nutriente é pouco estudado devido à baixa ou falta de resposta dos cultivos à sua aplicação.

A adição do SMS ao substrato também resultou em maiores teores de sódio, sobretudo nos tratamentos T3 e T4. Bitencourt et al. (2022) avaliaram a utilização do lodo de curtume na produção de mudas de eucalipto, e constataram que a adição deste material resultou em aumento do sódio no substrato, levando ao aumento da condutividade elétrica e situação de estresse salino, o que impactou negativamente na altura das plantas, comprimento da raiz e massa seca da raiz. Os autores explicam que a presença de sódio dificulta a absorção do magnésio e a disponibilidade de ferro, manganês, cobre e zinco.

O teor de boro no tratamento testemunha foi de 0,08 mg L⁻¹, e também não foi possível obter os valores deste nutriente nos demais tratamentos. O valor está dentro do recomendado por Lopes et al. (2008), de 0,005 a 0,5 mg L⁻¹. De acordo com Barros Filho (2014), o boro é importante na estabilidade da parede celular, e seu suprimento adequado reduz a seca de ponteiros de eucalipto em situações de estresse hídrico.

Os valores de cobre foram semelhantes em todos os substratos, de 0,07 a 0,09 mg L⁻¹. Lopes et al. (2008) sugerem valores de cobre entre 0,001 a 0,5, de modo que todos os substratos estão dentro do recomendado pela literatura. Segundo Rodrigues

et al. (2010), a deficiência de cobre causa danos físicos às plantas, resultando em galhos alongados e frágeis.

Lopes et al. (2008) recomendam que os valores de ferro estejam acima de 70 mg L⁻¹, o que não foi atingido por nenhum dos substratos. O ferro é importante na transferência de elétrons durante a fotossíntese e na biossíntese de metalporfirina, que impacta na formação da clorofila e algumas enzimas, portanto sua deficiência resulta em lentidão no crescimento das plantas e queda de produtividade (NAVAS et al., 2016).

Quanto ao manganês, a literatura sugere teores entre 0,3 a 3,0 mg L⁻¹ (LOPES et al., 2008), o que foi atingido nos tratamentos T1 e T3, sendo que os tratamentos T2 e T4 ficaram acima do recomendado. O excesso de manganês é potencialmente fitotóxico, limitando o crescimento da planta, distorcendo a lâmina foliar, induzindo necrose nas folhas e no caule e causando queima das pontas das folhas (MAIA, 2019).

Em relação ao zinco, Lopes et al. (2008) recomenda valores entre 0,3 a 3,0 mg L⁻¹, não atingido por nenhum dos tratamentos, embora os tratamentos T2 e T4 tenham ficado próximos (0,25 e 0,27 mg L⁻¹, respectivamente). Segundo Silva et al. (2012), o zinco tem papel na formação de ácidos nucleicos, compondo fatores de transcrição e enzimas. Ademais, a deficiência deste nutriente resulta em plantas menores, com entrenós mais curtos e folhas pequenas (RODRIGUES, 2009).

A Tabela 5 contém a caracterização química dos diferentes tratamentos após o cultivo.

Tabela 5 – Caracterização química dos substratos (macro e micronutrientes) após o cultivo

Nutrientes (mg L ⁻¹)	Substratos			
	T1	T2	T3	T4
N	10,50	12,95	15,40	6,65
P	1,08	1,18	3,78	15,56
K	11,00	16,25	21,00	15,25
Ca	18,00	11,75	21,50	21,50
Mg	10,75	1,75	5,25	2,50
S	13,25	8,20	9,18	9,93
Na	3,78	3,78	6,25	4,95
B	0,00	0,02	0,02	0,04
Cu	0,01	0,01	0,01	0,01
Fe	0,16	0,04	0,05	0,07
Mn	0,02	0,29	0,10	0,24
Zn	0,04	0,04	0,07	0,10

T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada.

Observa-se comportamento semelhante na utilização do nitrogênio pelos tratamentos, exceto o tratamento T4, que apresentou níveis finais de N mais baixos que os demais tratamentos. Quanto ao fósforo, o comportamento é o oposto, sendo que o tratamento T4 apresentou valores superiores aos demais tratamentos. Todavia, os valores de P não estavam disponíveis nos tratamentos com SMS na caracterização química inicial.

Quanto ao teor de potássio, todos os tratamentos apresentaram queda semelhante nos valores em comparação com os valores iniciais. Em relação aos teores de cálcio e magnésio, os tratamentos com SMS apresentaram queda acentuada destes nutrientes, diferentemente do tratamento testemunha.

Não foi possível obter os valores iniciais de enxofre e de boro nos tratamentos com SMS, portanto a comparação é inviável. Observam-se valores maiores de enxofre

no tratamento testemunha do que nos demais tratamentos, enquanto que o teor de boro do tratamento testemunha foi 0,00 mg L⁻¹, com pequenas quantidades nos demais tratamentos. Quanto ao teor de sódio, os tratamentos T3 e T4 apresentaram valores iniciais iguais, porém os valores finais diferem.

Embora os valores iniciais de cobre tenham diferido nos tratamentos, todos obtiveram o valor final de 0,01 mg L⁻¹. Em relação ao ferro, embora o tratamento testemunha tenha iniciado com a menor quantia, este apresentou o maior valor ao final do cultivo, em comparação com os demais tratamentos.

Os tratamentos T2 e T4 obtiveram os maiores teores iniciais e finais de manganês. Quanto ao zinco, foi observada diminuição no teor destes nutrientes em todos os tratamentos, exceto o T3, que manteve a quantia inicial de 0,07 mg L⁻¹. Os resultados evidenciam diferentes comportamentos dos tratamentos quanto à utilização dos nutrientes.

4.2 Percentual de emergência de plântulas

A Tabela 6 contém o percentual de emergência de plântulas de *E. grandis* nos diferentes tratamentos.

Tabela 6 – Percentual de emergência de plântulas de *Eucalyptus grandis* nos diferentes tratamentos

Tratamento	% de emergência
T1	96,59
T2	60,22
T3	36,07
T4	65,90

T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada.

O tratamento testemunha obteve o maior percentual de emergência de plântulas, com 96,59%. Em seguida, o tratamento T4 obteve 65,90% e o tratamento T2 obteve 60,22. O pior resultado, 36,07%, foi obtido com o tratamento T3.

Embora o percentual de emergência de plântulas nos tratamentos contendo SMS tenha sido consideravelmente menor que no tratamento testemunha, estes ainda

obtiveram resultados superiores a alguns autores. Da Ros et al. (2015) avaliaram o percentual de emergência de plântulas de *E. grandis* semeado em diferentes substratos orgânicos, obtendo médias de 43,8 a 78,1%, sendo que o tratamento testemunha resultou em 50% de emergência. Os autores explicam que as características físicas dos substratos afetam o percentual de germinação, sendo que a densidade pode afetar a disponibilidade de oxigênio, o que compromete a germinação das sementes, e que a capacidade de absorção de água pelas sementes é influenciada pela retenção de água e aeração do substrato, afetados pela porosidade do substrato, sobretudo em sistemas de produção de mudas em pequenos recipientes.

No presente experimento, observa-se que os maiores percentuais de emergência de plântulas foram obtidos nos substratos T1 e T4, com maior quantidade de microporos e capacidade de retenção. De acordo com Justus (2014), a água é essencial para retomada da atividade metabólica pelo embrião, de modo que o desenvolvimento vegetal não ocorre se o balanço hídrico estiver inadequado. O excesso de água também é prejudicial à germinação, como evidenciado por Lobo e Oliveira Júnior (2015) que, ao avaliar o percentual de germinação de clones de *E. grandis* sob diferentes condições de umedecimento, obtiveram percentuais de emergência de plântulas de 6 a 72,75%, sendo que os valores mais baixos foram obtidos no excesso hídrico.

Agostini (2015) avaliou o percentual de emergência de plântulas *E. grandis* em substrato comercial suplementado com cama de aviário em diferentes proporções, obtendo valores de 38,7% no substrato comercial sem suplementação e 100% no substrato suplementado com 25% de cama de aviário, sendo que o aumento gradativo dessa suplementação diminuiu o percentual de emergência de plântulas, embora o tratamento composto 100% de cama de aviário ainda tenha obtido resultado melhor (63,2%) que o tratamento testemunha. O autor explica que a sobrevivência das plântulas está relacionada, entre outros fatores, à disponibilidade de nutrientes presente no substrato. Deste modo, embora os tratamentos contendo SMS tenham apresentado maiores quantidades de macro e micronutrientes, é possível que estes não estivessem de forma facilmente assimilável pelas plântulas.

Similarmente, Kandari et al. (2011) avaliaram o percentual de sobrevivência de plântulas em três espécies de eucalipto em substratos suplementados com lixiviado de vermicompostagem em diferentes proporções, obtendo taxas de 11,2 a 63%,

atribuindo as diferenças à maior disponibilidade de nutrientes em função da suplementação.

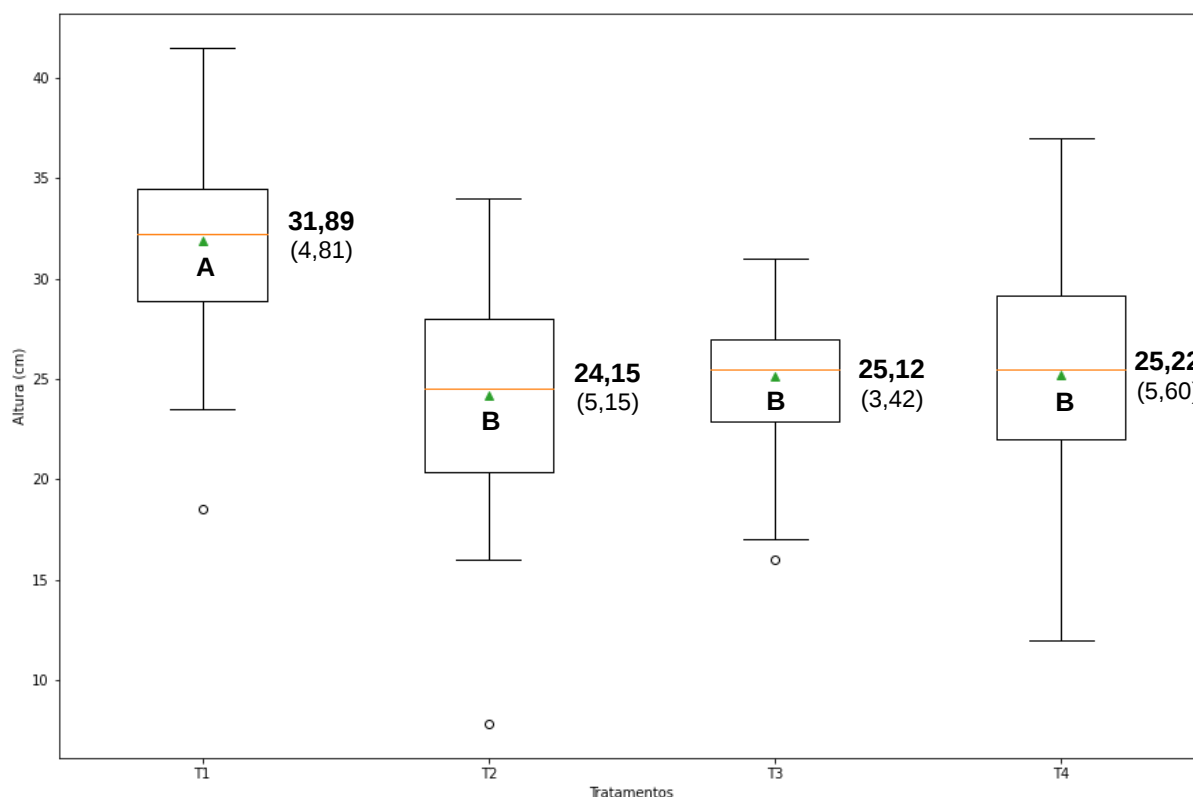
Embora os resultados obtidos nos tratamentos com SMS tenham sido maiores que os obtidos por alguns autores, ainda são mais baixos que outros estudos. Melo et al. (2014) avaliaram o percentual de emergência de plântulas de *E. grandis* em diferentes substratos (à base de esterco de curral, casca de arroz carbonizada, fibra de côco e vermiculita, em diferentes proporções), obtendo valores próximos a 100% em todos os substratos. Souza e Barreira (2018) avaliaram o percentual de emergência de plântulas de 10 matrizes de *E. grandis* em substrato comercial, obtendo valores entre 77 a 100%.

Em vista do exposto, é necessário investigar os fatores físicos e químicos que influenciam o percentual de emergência de plântulas de *E. grandis* em substratos à base de SMS.

4.3 Variáveis morfológicas

A Figura 15 contém a média de altura de *E. grandis* nos diferentes tratamentos.

Figura 15 – Efeito dos substratos na altura (cm) das mudas de *Eucalyptus grandis*. Desvio padrão da média entre parênteses



T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada. Médias precedidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

As mudas do tratamento testemunha obtiveram média de 31,89 cm, estatisticamente superior aos demais tratamentos. As mudas dos tratamentos T2, T3 e T4 tiveram médias de 24,15, 25,12 e 25,22 cm, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Embora as mudas do tratamento testemunha tenham sido estatisticamente superiores aos demais, todos os tratamentos atingiram a altura recomendada por Gomes et al. (2003), que explicam que mudas com altura entre 20 a 35 cm são consideradas aptas para o plantio. Ainda, Wendling et al. (2021) consideram que a altura ideal para plantio é entre 15 a 25 cm.

Os valores obtidos estão de acordo com os relatados por outros autores que avaliaram diferentes substratos para o cultivo de eucalipto. Toledo et al. (2015) utilizaram composto à base de resíduos da fabricação de papel e celulose, em diferentes proporções, para o cultivo de *E. urograndis*, e constataram alturas médias entre 18,73 a 37,31 cm. Silva et al. (2018), ao avaliar a viabilidade de lodo de esgoto e casca de pupunha em diferentes proporções para o cultivo de *E. urograndis*,

obtiveram médias entre 19,3 a 36,3 cm. Similarmente, Lobo, Oliveira e Silva (2020) também utilizaram lodo de esgoto em diferentes proporções para o cultivo de um clone híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, atingindo médias de altura entre 21,87 a 31,62 cm.

No estudo de Silva et al. (2014), ao avaliar a viabilidade de substratos orgânicos alternativos (composto orgânico de lixo urbano e composto orgânico de resíduo agroindustrial) para o cultivo de *E. grandis*, encontraram médias de altura entre 14,74 a 20,61 cm. Vieira e Weber (2016) utilizaram cama de frango compostada em diferentes proporções no substrato para o cultivo de *E. camaldulensis*, obtendo médias de altura entre 30,70 a 37,60 cm. Nestes exemplos da literatura, os autores constataram que a utilização de diferentes materiais orgânicos foi viável tendo a altura das mudas como parâmetro, assim como no presente estudo.

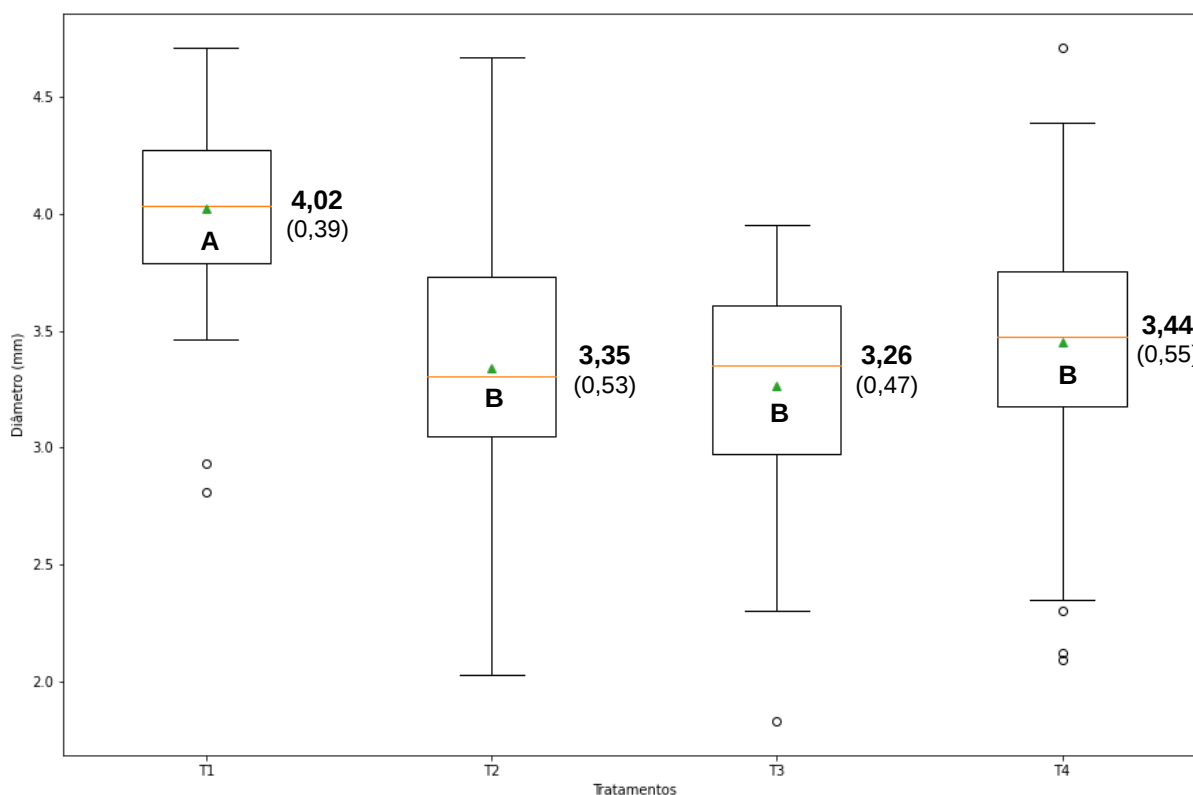
Figueiredo et al. (2019) avaliaram a correlação entre diferentes parâmetros morfológicos de mudas de eucalipto em viveiro e sua sobrevivência no campo aos 3, 6, 12 e 24 meses, constatando correlação significativa entre a altura das mudas e a sobrevivência nos meses avaliados. Portanto, a altura das mudas é um importante indicativo do sucesso do plantio.

Quanto às características que afetam a altura das mudas, Silva et al. (2021) avaliaram o efeito das propriedades físicas dos substratos na qualidade de mudas clonais de eucalipto, onde observaram correlação positiva significativa entre altura e diâmetro, massa seca aérea, massa seca radicular e índice de qualidade de Dickson, e correlação negativa significativa entre altura e conformação ruim do sistema radicular.

A maior altura das mudas no tratamento testemunha pode estar relacionado às características físicas deste substrato, possivelmente em função da maior capacidade de retenção de água.

A Figura 16 contém a média de diâmetro do colo de *E. grandis* nos diferentes tratamentos.

Figura 16 – Efeito dos substratos no diâmetro do colo (mm) das mudas de *Eucalyptus grandis*. Desvio padrão da média entre parênteses



T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada. Médias precedidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Assim como na variável de altura, o tratamento testemunha resultou em mudas com média de diâmetro estatisticamente superior aos demais tratamentos, com 4,02 mm de diâmetro. As mudas dos tratamentos T2, T3 e T4 obtiveram médias de 3,35, 3,26 e 3,44 mm, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. As mudas de todos os tratamentos alcançaram diâmetro considerável viável para o plantio (> 2 mm) de acordo com Wendling et al. (2021).

Os resultados obtidos estão condizentes e, em alguns casos, superiores aos constatados por autores que avaliaram resíduos orgânicos para a produção de eucalipto. Toledo et al. (2015) obtiveram médias entre 2,50 a 3,41 mm para *E. urograndis* cultivado em substratos acrescidos de composto orgânico à base de resíduos da fabricação de papel e celulose. No estudo de Silva et al. (2018), foram obtidas médias de diâmetro entre 2,1 a 3,0 mm para *E. urograndis* cultivado em substratos à base de lodo de esgoto e casca de pupunha. Lobo, Oliveira e Silva (2020) observaram médias entre 2,0 a 2,7 mm para um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*.

em substratos suplementados com lodo de esgoto. Valores mais baixos foram observados por Silva et al. (2014) para *E. grandis* cultivado em substratos alternativos, com médias entre 1,51 a 1,90 mm. Vieira e Weber (2016) obtiveram médias entre 2,7 a 3,02 mm para *E. camaldulensis* cultivado em substratos suplementados com cama de frango.

No estudo de Figueiredo et al. (2019), os autores observaram correlação negativa significativa entre diâmetro do colo e sobrevivência de mudas de eucalipto no campo aos 3, 12 e 24 meses. Os autores alegam que um maior diâmetro do colo no cultivo de mudas em tubete pode estar relacionado a um maior volume radicular, que, devido à rigidez do recipiente e volume limitado, pode levar em deformações radiculares, afetando a sobrevivência a longo prazo. Entretanto, Silva et al. (2021) explicam que plantas com maior diâmetro são capazes de formar novas raízes, aumentando sua sobrevivência pós plantio.

Silva et al. (2021), ao correlacionar propriedades físicas dos substratos e características morfológicas de eucalipto, observaram correlação positiva significativa entre diâmetro do colo e altura, massa seca aérea e radicular, índice de qualidade de Dickson e conformação ótima do sistema radicular, e correlação negativa significativa entre diâmetro do colo e conformação ruim do sistema radicular.

Quanto ao número de folhas, não houve diferença estatística entre os tratamentos, com médias de 55,22, 55,39, 57,16 e 63,62 para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Este resultado é positivo, pois de acordo com Figueiredo et al. (2019), o número de folhas se correlaciona positivamente com o crescimento das mudas de eucalipto após o plantio.

A Tabela 7 contém os valores médios de massa seca aérea, radicular e total de *E. grandis* nos diferentes substratos.

Tabela 7 – Massa seca da parte aérea, massa seca radicular e massa seca total de *Eucalyptus grandis* nos diferentes tratamentos. Desvio padrão da média entre parênteses

Tratamento	Massa aérea (g)	Massa radicular (g)	Massa total (g)
T1	3,25 (0,77) A	0,92 (0,2) A	4,17 (0,88) A
T2	1,97 (0,81) B	0,61 (0,23) C	2,58 (1,03) B
T3	2,26 (0,67) B	0,68 (0,18) BC	2,94 (0,81) B
T4	2,27 (0,89) B	0,77 (0,25) B	3,04 (1,11) B

T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

O tratamento testemunha obteve os maiores valores de massa seca da parte aérea e total (3,25 e 4,17 g, respectivamente), diferindo dos demais tratamentos. Os tratamentos T2, T3 e T4 resultaram em massa seca da parte aérea de 1,97, 2,26 e 2,27 g, e massa total de 2,58, 2,94 e 3,04 g, respectivamente, não diferindo entre si. Quanto à massa seca radicular, o tratamento testemunha resultou em maior massa que os demais tratamentos, diferindo destes, enquanto que o tratamento T4 não diferiu do T3, mas diferiu do T1 e do T2. O tratamento T3 não diferiu do T4 e nem do T2, mas diferiu do T1.

Em comparação com outros autores, os valores obtidos estão acima dos descritos por Silva et al. (2018), que constataram massa seca aérea entre 0,58 a 0,97 g e massa seca radicular entre 0,27 a 0,48 g. Entretanto, os valores de altura e diâmetro destes autores são mais baixos que o do presente experimento, o que impacta nestes valores. Similarmente, os valores descritos por Toledo et al. (2015) foram mais baixos, entre 0,82 a 1,52 g para a parte aérea e entre 0,47 a 0,78 g para a parte radicular, embora os valores mais altos tenham sido obtidos em tratamentos com altura e diâmetro semelhantes aos do presente experimento.

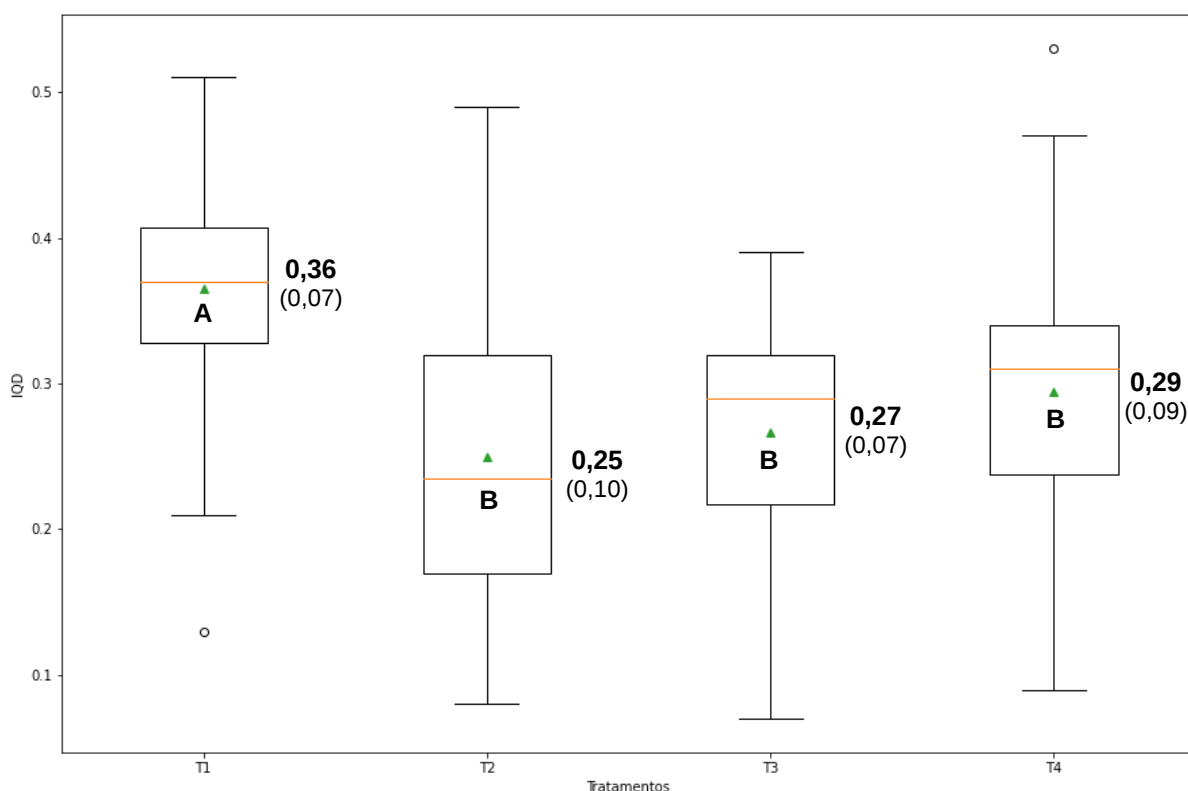
Valores mais altos de massas secas foram obtidos por Lobo, Oliveira e Silva (2020), embora os valores de altura fossem semelhantes ao do presente experimento, com diâmetro mais baixo. Os autores observaram massa seca aérea entre 3,04 a 6,76 g e massa seca radicular entre 1,36 a 4,32 g, resultando em massa total entre 4,40 a 11,08 g.

Quanto à relação das variáveis de massa seca com outras variáveis morfológicas, Silva et al. (2021) constataram correlação positiva significativa entre massa da parte aérea e radicular quanto à altura, diâmetro, índice de qualidade de Dickson e conformação ótima do sistema radicular, bem como correlação negativa significativa entre massa aérea e radicular em relação à conformação ruim do sistema radicular das mudas.

No presente estudo, observa-se que a altura, diâmetro e qualidade da raiz influenciaram nos valores obtidos de massa, que por sua vez irão influenciar no índice de qualidade de Dickson.

A Figura 17 contém o índice de qualidade de Dickson de *E. grandis* nos diferentes tratamentos.

Figura 17 – Efeito dos substratos no índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Eucalyptus grandis*. Desvio padrão da média entre parênteses



T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada. Médias precedidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

O tratamento testemunha obteve o maior valor de IQD, com 0,36, diferindo estatisticamente dos demais. Os tratamentos T2, T3 e T4 obtiveram IQD de 0,25, 0,27 e 0,29, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si.

Apesar de o tratamento testemunha ter diferido dos demais, todos os tratamentos superaram o valor mínimo de 0,20 de IQD, recomendado por Gomes e Paiva (2004). Segundo Medeiros et al. (2018), o IQD é empregado na avaliação do comportamento de mudas de diversas espécies e é um bom indicador da qualidade das mudas, pois seu cálculo considera o equilíbrio da massa na planta, integrando parâmetros de altura e diâmetro. Conforme observado por Gomes et al. (2002), quanto maior o IQD, maior a qualidade das mudas de *E. grandis*.

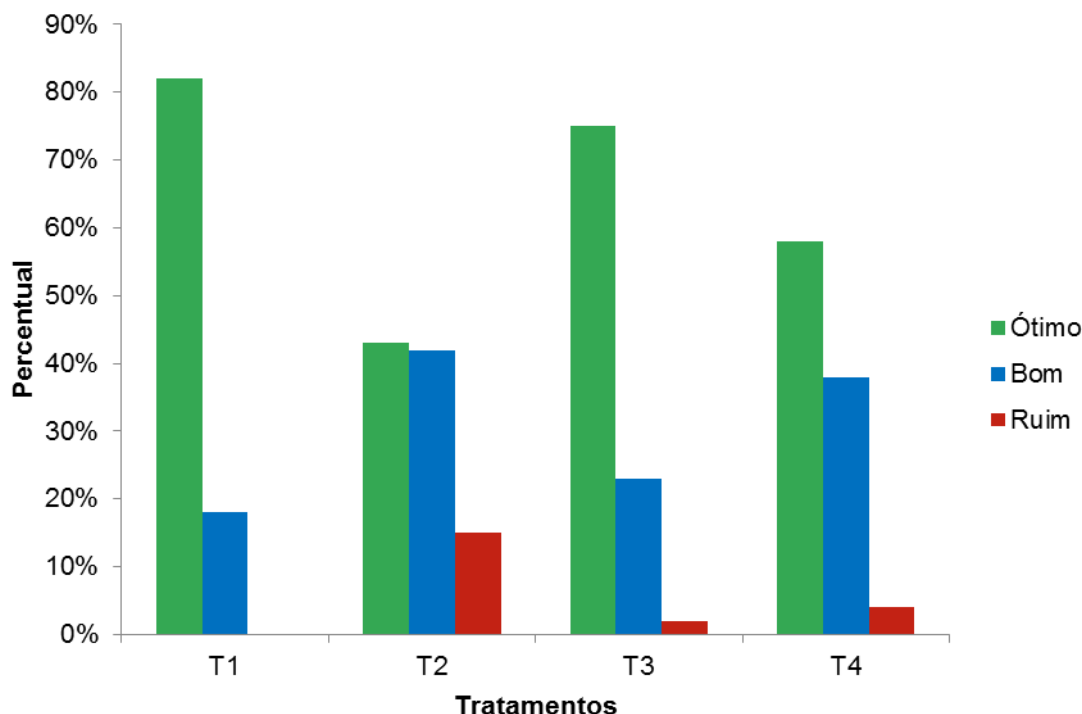
Os valores obtidos estão acima dos descritos por Monaco et al. (2020), que, ao avaliar a viabilidade de suplementação do substrato com resíduo de moinha, obtiveram valores de 0,12 a 0,21. Silva et al. (2014) constataram que a utilização de resíduos orgânicos alternativos no cultivo de *E. grandis* afetou negativamente o IQD, resultando em valores entre 0,032 a 0,056. Similarmente, Kratz e Wendling (2013) obtiveram valores entre 0,01 a 0,06 de IQD para *E. dunnii* cultivado em diferentes substratos, considerando os valores fora do ideal. Os autores também recomendam valores mínimos de IQD de 0,20.

Toledo et al. (2015), embora tenham obtido valores de diâmetro e altura semelhantes aos do presente experimento, constataram valores mais baixos de massa, o que resultou em IQD entre 0,13 a 0,17. Já Lobo, Oliveira e Silva (2020) constataram efeito positivo da suplementação do substrato com resíduo orgânico, obtendo valores de IQD entre 0,33 a 0,84, sendo que o valor mais baixo foi no tratamento testemunha, aumentando proporcionalmente o IQD de acordo com a quantidade de suplementação no substrato. Os valores destes autores foram mais altos que os do presente experimento, exceto quanto ao tratamento testemunha.

Conforme observado por Silva et al. (2021), o IQD tem correlação positiva significativa em relação à altura, diâmetro, massa seca aérea, massa seca radicular e conformação ótima do sistema radicular, enquanto observa-se correlação negativa significativa entre IQD e conformação ruim do sistema radicular.

A Figura 18 contém a conformação do sistema radicular de *E. grandis* nos diferentes tratamentos.

Figura 18 – Conformação do sistema radicular



T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada.

Segundo Wendling et al. (2021), um dos parâmetros para que uma muda seja considerada apta para o plantio é a qualidade do sistema radicular, sendo que este deve ocupar toda a área interna do tubete, com presença de novas raízes. Neste contexto, considera-se apta ao plantio as mudas com sistema radicular “ótimo” ou “bom”.

O sistema radicular de todas as mudas do tratamento testemunha foi considerado apto para plantio, sendo que 82% das mudas foram classificadas como “ótimo” e 18% como “bom”. No tratamento T2, houve maior quantidade de mudas com sistema radicular considerado “ruim”, com 15% das mudas nessa classificação, 43% classificadas como “ótimo” e 42% como “bom”. No tratamento T3, apenas 2% das mudas foram classificadas com sistema radicular “ruim”, sendo 75% das demais mudas como “ótimo” e 23% como “bom”. Quanto ao tratamento T4, 4% das mudas tiveram sistema radicular “ruim”, 58% como “ótimo” e 38% como “bom”. Este último

apresentou maior densidade do substrato (Tabela 3), o que pode ter dificultado o desenvolvimento radicular.

Resultados semelhantes foram obtidos por Gabira (2018) em mudas de clone de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* cultivados em substrato à base de logo de esgoto e bagaço de cana-de-açúcar.

Freitas et al. (2009), ao avaliar o impacto da conformação do sistema radicular de mudas de híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* no crescimento no campo, não constataram diferença no crescimento em altura, diâmetro e biomassa até 14 meses após o plantio em função de deformações no sistema radicular.

Ao avaliar a qualidade do sistema radicular de mudas de um clone híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* em diferentes substratos (à base de vermiculita, casca de arroz carbonizada e fibra de côco), Silva et al. (2021) constataram diferenças entre os substratos quanto à classificação do sistema radicular, obtendo percentuais de mudas consideradas aptas ao plantio entre 14,6 a 100%. Ademais, os autores relatam correlação positiva significativa entre conformação ótima do sistema radicular e diâmetro, massas secas e IQD, bem como correlação negativa significativa entre conformação do sistema radicular ruim e altura, diâmetro, massas secas, IQD e porosidade total do substrato.

4.4 Acúmulo de nutrientes

A Tabela 8 contém os valores de correlação de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular das mudas de *E. grandis* nos diferentes tratamentos.

Tabela 8 – Correlações de Pearson entre as características físicas e químicas dos substratos e o acúmulo de nutrientes na parte aérea e na parte radicular de *Eucalyptus grandis*

Parte aérea							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DC	pH	EC
N	-0,17 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,75 ^{ns}	-0,48 ^{ns}	0,83 ^{ns}
P	-0,03 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,80 ^{ns}	-0,56 ^{ns}	0,74 ^{ns}
K	0,18 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,93 ^{ns}	-0,75 ^{ns}	0,92 ^{ns}
Ca	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,85 ^{ns}	-0,64 ^{ns}	0,95 ^{ns}
Mg	-0,93 ^{ns}	0,94 ^{ns}	-0,86 ^{ns}	0,94 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,17 ^{ns}
S	-0,30 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,65 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,75 ^{ns}
B	0,04 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,84 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	0,76 ^{ns}
Cu	-0,84 ^{ns}	0,85 ^{ns}	-0,75 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Fe	-0,18 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,73 ^{ns}	-0,47 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Mn	0,60 ^{ns}	-0,58 ^{ns}	-0,70 ^{ns}	-0,57 ^{ns}	1,00 ^{**}	-0,96 [*]	0,82 ^{ns}
Zn	0,29 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,43 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	0,96 [*]	-0,83 ^{ns}	0,93 ^{ns}
Parte radicular							
Características físicas dos substratos							
	Macro	Micro	PT	RA	DC	pH	EC
N	0,24 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,95 ^{ns}	-0,79 ^{ns}	0,89 ^{ns}
P	-0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,84 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	0,82 ^{ns}
K	-0,10 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,79 ^{ns}	-0,54 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Ca	-0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,84 ^{ns}	-0,61 ^{ns}	0,91 ^{ns}
Mg	-0,98 [*]	0,99 [*]	-0,95 ^{ns}	0,99 [*]	-0,38 ^{ns}	0,66 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
S	-0,03 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,83 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	0,89 ^{ns}
B	0,12 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,90 ^{ns}	-0,71 ^{ns}	0,90 ^{ns}
Cu	-0,46 ^{ns}	0,49 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,50 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Fe	-0,68 ^{ns}	0,69 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Mn	0,71 ^{ns}	-0,69 ^{ns}	0,78 ^{ns}	-0,69 ^{ns}	0,95 ^{ns}	-0,95 [*]	0,63 ^{ns}
Zn	0,39 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	0,51 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,99 [*]	-0,88 ^{ns}	0,90 ^{ns}

** e * = significativo ao nível de 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente; e ^{ns}= não significativo. Macro= macroporosidade; micro= microporosidade; PT= porosidade total; RA=retenção de água; DC =densidade compactada; pH= potencial hidrogeniônico; EC= condutividade elétrica.

Observa-se na Tabela 8 comportamentos diferentes entre a parte aérea e a parte radicular quanto ao impacto das características físicas dos substratos no acúmulo de nutrientes nas partes das plantas.

Quanto ao acúmulo de nutrientes na parte aérea, a densidade compactada se relacionou positivamente com o manganês e o zinco. O pH se relacionou negativamente com o manganês.

No sistema radicular, a macroporosidade se relacionou negativamente com o magnésio. A microporosidade e a retenção se relacionaram positivamente com o magnésio. A densidade compactada se relacionou positivamente com o zinco. O pH se relacionou negativamente com o manganês, assim como na parte aérea.

A diferença no acúmulo de nutrientes na parte aérea e no sistema radicular também foi constatada por Gabira (2018), ao avaliar a correlação entre o acúmulo de nutrientes e as características físicas e químicas dos substratos no cultivo de clone de *E. grandis* x *E. urophylla*.

4.5 Análise do lixiviado

A Tabela 9 contém o volume, pH e EC de lixiviado de fertirrigação de crescimento dos diferentes tratamentos.

Tabela 9 – Volume, pH e condutividade elétrica da solução lixiviada após fertirrigação de crescimento em mudas de *Eucalyptus grandis* nos diferentes tratamentos

Tratamento	Volume médio (mL)	pH	EC (mS)
T1	93	6,58	0,64
T2	100	6,57	2,0
T3	175	6,34	1,1
T4	198	6,32	1,3

T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada.

Observa-se na Tabela 9 que os menores volumes e condutividade elétrica foram obtidos no tratamento testemunha, possivelmente em função da maior retenção

deste. A utilização do SMS resultou em maior volume de lixiviado, sendo que o tratamento T2 obteve o maior valor de EC, o que pode significar que este substrato não foi tão eficiente na absorção de nutrientes.

A Tabela 10 contém o volume, pH e EC de lixiviado de fertirrigação de rustificação dos diferentes tratamentos.

Tabela 10 – Volume, pH e condutividade elétrica da solução lixiviada após fertirrigação de rustificação em mudas de *Eucalyptus grandis* nos diferentes tratamentos

Tratamento	Volume médio (mL)	pH	EC (mS)
T1	139	6,71	0,71
T2	160	6,53	0,58
T3	183	6,58	0,69
T4	205	6,88	0,59

T1= 100% Carolina Soil II, T2= 25% substrato exaurido de *Lentinula edodes* + 75% casca de arroz carbonizada, T3= 50% substrato exaurido de *L. edodes* + 50% casca de arroz carbonizada, T4= 75% substrato exaurido de *L. edodes* + 25% casca de arroz carbonizada.

Assim como na análise de fertirrigação de crescimento, a utilização do SMS resultou em maior volume de lixiviado, enquanto o tratamento testemunha resultou no menor volume, possivelmente em função da sua retenção, e o pH e a condutividade elétrica de todos os tratamentos durante a etapa de rustificação foi semelhante, indicando absorção semelhante do potássio pelas mudas nos diferentes substratos.

Considerando os resultados de volume e condutividade elétrica do lixiviado juntamente com a caracterização física dos substratos, observa-se que o SMS em conjunto com a casca de arroz carbonizada não proporciona teores adequados de microporos, afetando a capacidade de retenção do substrato. Portanto, deve-se investigar a viabilidade deste material em conjunto com outro resíduo com maior teor de microporos, bem como avaliar diferentes manejos hídricos e adubações.

5 CONCLUSÕES

A utilização do substrato exaurido do cogumelo (*Spent Mushroom Substrate* – SMS) *Lentinula edodes* e da casca de arroz carbonizada em diferentes proporções na formulação de substratos para o cultivo de mudas de *Eucalyptus grandis* alterou as características físicas e químicas dos substratos.

O percentual de emergência de plântulas foi negativamente afetado com a utilização do SMS. Este fenômeno pode estar relacionado à menor capacidade de retenção de água deste material, de modo que, uma vez constatada a causa desse efeito negativo, seja possível investigar soluções. Ademais, a baixa retenção em função da quantidade insatisfatória de microporos pode ser solucionada com a adição de outro material estruturante no substrato. A altura, o diâmetro do colo e o índice de qualidade de Dickson das mudas obtiveram valores considerados adequados para o plantio. A conformação do sistema radicular de algumas mudas foi afetada pelo SMS.

O acúmulo de nutrientes e suas correlações com as características físicas e químicas dos substratos foi diferente na parte aérea da planta e no sistema radicular. Na solução lixiviada, observa-se maior perda d'água e nutrientes nos tratamentos com SMS, em função da menor capacidade de retenção destes.

Considerando a boa performance das mudas nas variáveis morfológicas, o SMS possui grande potencial na silvicultura. O SMS é muito estudado na horticultura e no cultivo de espécies arbustivas, no entanto o presente estudo é pioneiro para espécies florestais, o que demonstra a importância de sua realização. Espera-se que este estudo seja capaz de fornecer parâmetros iniciais para novas pesquisas que visem investigar a viabilidade deste material no cultivo de outras espécies de eucalipto, bem como outras espécies florestais.

Nesse contexto, recomenda-se que novos estudos sejam realizados, agregando-se materiais ricos em microporos ao substrato, bem como utilizando diferentes manejos hídricos e adubações, para otimização da utilização do substrato exaurido de *L. edodes* para o cultivo de mudas de eucalipto e outras espécies florestais.

REFERÊNCIAS

- ABÍLIO, D. P.; MARTINS, O. G.; SILVA, G.; ANDRADE, M. C. N. Prospecção e avaliação do potencial biotecnológico de linhagens comerciais de shiitake. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 35, n. 4, p. 640–649, 2021.
- ABÍLIO, D. P.; OLIVEIRA, G. L. P. de; MARTINS, O. G.; MOTTA, S. da S.; SIQUEIRA, O. A. P. A.; ANDRADE, M. C. N. de. Produção de *Lentinula edodes* em toras de híbridos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 13, n. 4, 2020.
- ABREU, J. et al. Fungos de interesse: aplicações biotecnológicas. **Revista UNINGÁ Review**, v. 21, n. 1, 2018.
- AGOSTINI, A. M. **Uso de cama de aviário na composição de substrato para produção de mudas de *Eucalyptus grandis***. 2015. 32 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2015.
- AHLAWAT, O. P.; SAGAR, M. P. **Management of spent mushroom substrate**. Solan: National Research Centre for Mushroom, Indian Council of Agricultural Research, 2007, p. 17-25.
- ANTÔNIO, A. C. de.; ALVES, J. C. de F.; FARIA, B. R. de.; ALMEIDA, M. J. de. Utilização do biossólido de cervejaria como substrato para produção de mudas de eucalipto: Análise do desenvolvimento inicial das mudas e aspectos ambientais. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 18, n. 4, p. 305-309, 2010.
- ATALLAH, E.; ZEAITER, J.; AHMAD, M. N.; LEAHY, J. J.; KWAPINSKI, W. Hydrothermal carbonization of spent mushroom compost waste compared against torrefaction and pyrolysis. **Fuel Processing Technology**, v. 216, p. 106795, 2021.
- AZEVEDO, E.; BARATA, M. Diversidade no reino Fungi e aplicações à Indústria. **Revista de Ciência Elementar**, v. 6, n. 4, 2018.
- BACH, F. et al. Edible mushrooms: A potential source of essential amino acids, glucans and minerals. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 52, n. 11, p. 2382-2392, 2017.
- BARBOSA, R. P.; CAIRO, P. A. R.; LACERDA, J. de J.; BOTELHO, V. V. Os efeitos da deficiência de magnésio na partição de açúcares não restringem o crescimento de raízes em plantas jovens de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 622-631, 2019.
- BARROS FILHO, N. F. de. **Discriminação isotópica do ¹³C e nutrição com cálcio e boro em clones de eucalipto submetidos ao déficit hídrico**. 2014. 59 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

BITENCOURT, G. A.; DEKNES, L. B.; LAURA, V. A. Crescimento de mudas de eucalipto em solo com aplicação do lodo de curtume. **Scientia Plena**, v. 18, n. 3, 2022.

CALVO, A. M. The VeA regulatory system and its role in morphological and chemical development in fungi. **Fungal Genetics and Biology**, v. 45, n. 7, p. 1053-1061, 2008.

CAPRA, R. S.; TONIN, F. B. Ascensão do cultivo de cogumelos comestíveis no Brasil. In: JORNACITEC - Jornada Científica e Tecnológica, 8., 2019. Botucatu. **Anais [...]** Botucatu: FATEC, 2019, p. 1-5.

CUNHA, T. Q. G. et al. Eucalyptus expansion in Brazil: Energy yield in new forest frontiers. **Biomass and Bioenergy**, v. 144, p. 105900, 2021.

D'ÁVILA, F. S. **Efeito do fósforo, nitrogênio e potássio na produção de mudas clonais de eucalipto**. 2008. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

DA ROS, C. O.; REX, F. E.; RIBEIRO, I. R.; KAFER, P. S.; RODRIGUES, A. C.; SILVA, R. F. da; SOMAVILLA, L. Uso de Substrato Compostado na Produção de Mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 549-558, 2015.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e ambiente**, v. 21, p. 224-233, 2014.

DIAS, E. S. Mushroom cultivation in Brazil: challenges and potential for growth. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 795-803, 2010.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Sistema FAOSTAT**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 07 Nov 2021.

FERMINO, M. H. et al. Reutilization of residues as components of substrate for the production of *Eucalyptus grandis* seedlings. **Cerne**, v. 24, p. 80-89, 2018.

FERRARO, V. et al. Cultivated mushrooms: importance of a multipurpose crop, with special focus on Italian fungiculture. **Plant Biosystems**, p. 1-11, 2020.

FERREIRA NETTO, R. G. **Resíduo de colheita de shiitake (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) na alimentação de frangos de corte e poedeiras comerciais**. 2018. 68 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

FERREIRA, J. M.; BRAGA, F. R.; SOARES, F. E. de F. Nematicidal activity of the *Lentinula edodes* spent mushroom compost. **South African Journal of Botany**, v. 146, p. 101-102, 2022.

FIGUEIREDO, F. A. M. M. de A.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; THIEBAUT, J. T. L.; ABAD, J. I. M.; BARROSO, D. G.; FERRAZ, T. M. Correlations between Eucalyptus Clonal Cutting Quality and Performance after Planting. **Floresta e Ambiente**, v. 26, 2019.

FINIMUNDY, T. C. et al. A review on general nutritional compounds and pharmacological properties of the *Lentinula edodes* mushroom. **Food and Nutrition Sciences**, v. 2014, 2014.

FREITAS, T. A. S. de; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A.; PENCHEL FILHO, R. M.; SOUZA, L. S. Efeito de deformação e poda das raízes de mudas de eucalipto sobre o crescimento no campo. **Floresta**, v. 39, n. 2, 2009.

GABIRA, M. M. **Crescimento e qualidade de mudas florestais produzidas com substratos a base de lodo de esgoto compostado**. 2018. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018.

GASECKA, M. et al. Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by spent mushroom substrates of *Agaricus bisporus* and *Lentinula edodes*. **Acta Sci Pol-Hortoru**, v. 11, n. 4, p. 39-46, 2012.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização NPK. **Revista Árvore**, v. 27, p. 113-127, 2003.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, p. 655-664, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: UFV, v. 3, 2004.

GONÇALVES, J. L. de M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996. **Anais [...]**, 1996.

GRIMM, D.; WÖSTEN, H. A. B. Mushroom cultivation in the circular economy. **Applied microbiology and biotechnology**, [s. l.], v. 102, n. 18, p. 7795-7803, 2018.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1069-1076, 2004.

GUPTA, S.; SUMMUNA, B.; GUPTA, M.; ANNEPU, S. K. Edible mushrooms: cultivation, bioactive molecules, and health benefits. **Bioactive molecules in food**, v. 1, p. 1-33, 2018.

HAJDÚ, P.; FAWZY, Z. F.; EL-RAMADY, H.; PROKISCH, J. Edible Mushroom of *Lentinula* spp.: A Case Study of Shiitake (*Lentinula edodes* L.) Cultivation. **Environment, Biodiversity and Soil Security**, v. 6, n. 2022, p. 41-49, 2022.

HANAFI, F. H. M. et al.. Environmentally sustainable applications of agro-based spent mushroom substrate (SMS): an overview. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 3, p. 1383-1396, 2018.

JESUS, R. P. de. **Qualidade de mudas de Eucalipto e Acácia em substratos de resíduos agroindustriais**. 2016. 167 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

JUSTUS, R. A. P. **Estresse hídrico e osmocondicionamento de sementes de espécies e híbridos de eucalipto**. 2014. 31 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

KANDARI, L. S.; KULKARNI, M. G.; VAN STADEN, J. Vermicompost leachate improves seedling emergence and vigour of aged seeds of commercially grown *Eucalyptus* species. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 73, n. 2, p. 117-122, 2011.

KANG, D. S. et al. Defense response and suppression of phytophthora blight disease of pepper by water extract from spent mushroom substrate of *Lentinula edodes*. **The plant pathology journal**, v. 33, n. 3, p. 264, 2017.

KOBAYASHI, T.; OGURO, M.; AKIBA, M.; TAKI, H.; KITAJIMA, H.; ISHIHARA, H. Mushroom yield of cultivated shiitake (*Lentinula edodes*) and fungal communities in logs. **Journal of Forest Research**, v. 25, n. 4, p. 269–275, 2020.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 125-136, 2013.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, v. 23, p. 607-621, 2013.

LACERDA, M. R. B.; PASSOS, M. A. A.; RODRIGUES, J. J. V.; BARRETO, L. P. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). **Revista Árvore**, v. 30, p. 163-170, 2006.

LI, F.; KONG, Q.; ZHANG, Q.; WANG, H.; WANG, L.; LUO, T. Spent mushroom substrates affect soil humus composition, microbial biomass and functional diversity in paddy fields. **Applied soil ecology**, v. 149, p. 103489, 2020.

LIMA, P. R.; MALAVASI, U. C.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, M. M.; BORSOI, A.; ECCO, M. Estímulos químico e mecânico na rustificação de mudas de eucalipto. **Revista Ceres**, v. 65, p. 424-432, 2018.

LOBO, R. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, H. F. de. Efeitos do estresse hídrico nas características morfológicas de plântulas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex. Maiden). **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, Jaguariaíva, v. 3, p. 09-25, 2015.

LOBO, T. F.; OLIVEIRA, F. C. de; SILVA, M. R. Uso de lodo de esgoto na produção de mudas clonais de *Eucalyptus*. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 5, p. 114-126, 2020.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C.; SILVA, M. R. da. Atributos químicos e físicos de dois substratos para produção de mudas de eucalipto. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 358-367, 2008.

LÓPEZ, A. M. Q.; SILVA, A. L. S.; SANTOS, E. C. L. The fungal ability for biobleaching/biopulping/bioremediation of lignin-like compounds of agro-industrial raw material. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 8, p. 916-931, 2017.

MA, Y. et al. A study on recycling of spent mushroom substrate to prepare chars and activated carbon. **BioResources**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 3939-3954, 2014.

MAIA, E. P. V. **Respostas morfofisiológicas de Sabiá (*Mimosa Caesalpiniaefolia* Benth.) associado a Micorrizas arbusculares e rizóbios em solo de mineração de manganês**. 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

MAITY, P. et al. Biologically active polysaccharide from edible mushrooms: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. 96, n. 1., p. 176-187, 2021.

MAO, L.; CONE, J. W.; HENDRIKS, W. H.; SONNENBERG, A. S. M. Wheat bran addition improves *Ceriporiopsis subvermisporea* and *Lentinula edodes* growth on wheat straw, but not delignification. **Animal Feed Science and Technology**, v. 259, p. 114361, 2020.

MEDEIROS, M. do B. C. L.; JESUS, H. I. de; SANTOS, N. de F. A.; MELO, M. R. da S.; SOUZA, V. Q. de; BORGES, L. da S.; GUERREIRO, A. C.; FREITAS, L. de S. Índice de qualidade de Dickson e característica morfológica de mudas de pepino, produzidas em diferentes substratos alternativos. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 159-173, 2018.

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

MIRANDA, A. C. et al. Investigating the origin and genetic diversity of improved *Eucalyptus grandis* populations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 448, p. 130-138, 2019.

MONACO, P. A. V. Lo, ROLDI JUNIOR, G.; HADDADE, I. R.; KRAUSE, M. R.; GUIOLFI, L. P.; ALMEIDA, K. M. Reuse of Residues as Substrate for Production of *Eucalyptus (Eucalyptus urograndis)* Seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 3, p.1-7, 2020.

MUÑOZ-CASTIBLANCO, T.; MEJÍA-GIRALDO, J. C.; PUERTAS-MEJÍA, M. Á. *Lentinula edodes*, a Novel Source of Polysaccharides with Antioxidant Power. **Antioxidants**, v. 11, n. 9, p. 1770, 2022.

NAVAS, R.; NUNES, J. M. C.; VASCONCELLOS JUNIOR, J. B. Aplicação de ferro e silício na produção de mudas de eucalipto. **Agrarian**, v. 9, n. 32, p. 137-142, 2016.

PASCHOLATI, S. F.; MARASSATTO, C. M.; STANGARLIN, J. R.; BRAND, S. C. **Produção de shiitake em toras de eucalipto**. Piracicaba: ESALQ, 2014. 52 p.

PHAN, C. W.; SABARATNAM, V. Potential uses of spent mushroom substrate and its associated lignocellulosic enzymes. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 96, n. 4, p. 863-873, 2012.

PINTO JÚNIOR, J. E.; SILVEIRA, R. A. A introdução do eucalipto no Brasil pela Embrapa: bases institucionais e sua estruturação para a pesquisa com eucaliptos e corímbias. In: OLIVERA, E. B.; PINTO JÚNIOR, J. E. **O Eucalipto e a Embrapa**. Brasília: EMBRAPA, 2021. p. 751-780.

PONNUSAMY, C. et al. *Lentinula Edodes* (Edible Mushroom) as a Nutraceutical: A Review. **Biosciences Biotechnology Research Asia**, v. 19, n. 1, p. 1, 2022.

RIBAS, L. C. C. et al. Use of spent mushroom substrates from *Agaricus subrufescens* (syn. *A. blazei*, *A. brasiliensis*) and *Lentinula edodes* productions in the enrichment of a soil-based potting media for lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation: Growth promotion and soil bioremediation. **Bioresource technology**, v. 100, n. 20, p. 4750-4757, 2009.

RINKER, D. L. Spent mushroom substrate uses. In: PARDO-GIMÉNEZ, A.; ZIED, D. C. **Edible and medicinal mushrooms: technology and applications**. 1. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, p. 427-54, 2017.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. de M.; GODINHO, T. de O.; SOUZA FILHO, L. F. da S. S. **Nutrição e fertilização com enxofre e uso de gesso em plantações de eucalipto**. Circular técnica n. 208, Piracicaba: IPEF, 2015.

ROCHA, J. H. T.; PIETRO, M. R.; BORELLI, K.; BACKES, C.; NEVES, M B. Produção e desenvolvimento de mudas de eucalipto em função de doses de fósforo. **Cerne**, v. 19, p. 535-543, 2013.

RODRIGUES, F. A. V. **Disponibilidade de cobre e zinco para mudas de eucalipto em solos de cerrado**. 2009. 59 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

RODRIGUES, F. A. V.; BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. Disponibilidade de cobre para mudas de eucalipto em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1923-1932, 2010.

RONCERO-RAMOS, I.; DELGADO-ANDRADE, C. The beneficial role of edible mushrooms in human health. **Current Opinion in Food Science**, v. 14, p. 122-128, 2017.

ROSA, L.S. da; WENDLING, I.; GROSSI, F.; REISSMANN, C. B. Efeito da dose de nitrogênio e de formulações de substratos na miniestadia de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Árvore**, v. 33, p. 1025-1035, 2009.

ROYSE, D. J.; BAARS, J.; TAN, Q. Current overview of mushroom production in the world. In: PARDO-GIMÉNEZ, A.; ZIED, D. C. **Edible and medicinal mushrooms: technology and applications**. 1. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, p. 5-13, 2017.

SÁNCHEZ, C. Cultivation of *Pleurotus ostreatus* and other edible mushrooms. **Applied microbiology and biotechnology**, [s. l.], v. 85, n. 5, p. 1321-1337, 2010.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 971-979, 2014.

SILVA, C. J. A.; MALTA, D. J. N. A importância dos fungos na biotecnologia. **Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-PERNAMBUCO**, v. 2, n. 3, p. 49, 2016.

SILVA, F. A. de M.; NUNES, G. M.; ZANON, J. A.; GUERRINI, I. A.; SILVA, R. B da. Resíduo agroindustrial e lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 827-835, 2018.

SILVA, M. de O. P.; CORRÊA, G. F.; COELHO, L.; RABELO, P. G. Avaliação de dois tratamentos de adubação em plantio de eucalipto clonal em solo arenoso. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 1, p. 212-222, 2012.

SILVA, M. R. da. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação**. 1998. 105f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SILVA, P. H. M. et al. Selection of *Eucalyptus grandis* families across contrasting environmental conditions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 19, p. 47-54, 2019.

SILVA, R. B. G. da; SILVA, M. R. da; SIMÕES, D.; MACIEL, J. L. M.; PRADO, D. Z.; COSTA, J. R. da S. Efeito das propriedades físicas dos substratos na qualidade de mudas clonais de eucalipto. In: OLIVEIRA, R. **Silvicultura e Manejo Florestal: Técnicas de Utilização e Conservação da Natureza**. 1ed. Guarujá: Científica Digital, 2021, v. 2, p. 91-104.

SILVA, R. F. da.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.; PINHEIRO, R. R. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 609-619, 2014.

SIMÕES, D.; SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Composição do substrato sobre o desenvolvimento, qualidade e custo de produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden × *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Ciência Florestal**, v. 22, p. 91-100, 2012.

SONNEVELD, C.; ENDE, J.; DIJK, P.A. Analysis of growing media by means of a 1:1,5 volume extract. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n. 5, p. 183-202, 1974.

SONNEVELD, C. Analytical methods for substrates in the Netherlands. **Acta Horticulturae**, n. 221, p. 413-416, 1988

SOUZA, H. J. de; BARREIRA, S. Caracterização de sementes de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) implantados em reserva legal no cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 28, p. 218-230, 2018.

SPADA, G.; UESUGI, G.; BARROCA SILVA, R.; RIBEIRO DA SILVA, M. Qualidade

de mudas de Pau-d'álho sob diferentes doses e frequências de aplicação de nutrientes. **Colloquium Agrariae**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 121–132, 2019.

SPINOSA, R. Fungi and sustainability. **Fungi**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 38-43, 2008.

STAMETS, P.; CHILTON, J. S. **The mushroom cultivator**. Washington: Agarikon press, 1983, 415 p.

SUN, L. B. et al. Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms. **Trends in food science & technology**, [s. l.], v. 96, p. 176-187, 2020.

TOLEDO, F. H. S. F. de; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A. S.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. G. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 711-716, 2015.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 12. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017

TRIGUEIRO, R.M.; GUERRINI, I.A. Uso de biossólido como substrato para a produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.1, p.150-162, 2003.

VALVERDE, M. E.; HERNÁNDEZ-PÉREZ, T.; PAREDES-LÓPEZ, O. Edible mushrooms: improving human health and promoting quality life. **International journal of microbiology**, [s. l.], v. 2015, p. 1-14, 2015.

VIEIRA, V. O. et al. A new circular economy approach for integrated production of tomatoes and mushrooms. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 4, p. 2756-2765, 2022.

WANG, C. et al. Application of spent mushroom (*Lentinula edodes*) substrate and acclimated sewage sludge on the bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon polluted soil. **RSC advances**, v. 6, n. 43, p. 37274-37285, 2016.

WEI, P. et al. *Protaetia brevitarsis* larvae can feed on and convert spent mushroom substrate from *Auricularia auricula* and *Lentinula edodes* cultivation. **Waste Management**, v. 114, p. 234-239, 2020.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GABIRA, M. M.; VIEIRA, L. M.; DEGENHARDT, J. Produção de mudas de eucalipto. In: OLIVEIRA, EB de; PINTO JUNIOR, JE (Ed.). **O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. cap. 22., 2021.