

ESTUDO DA VIABILIDADE FÍSICO-QUÍMICA DOS SUBSTRATOS NO CULTIVO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS EM PANDA

Dionisio Nhanala - dynhanala@gmail.com
Carlitos Luís Sitoie - carlitosluissitoie@gmail.com

* Submissão em: 14/12/2024 | Aceito em: 20/07/2025

RESUMO

O estudo avaliou a eficácia de substratos na produção de *Vangueria infausta*, *Strychnos spinosa* e *Landolphia kirkii*. Foi instalado um teste experimental montado no viveiro do Instituto Agrário de Panda em Novembro de 2023 a Junho de 2024. Para formulação dos substratos do teste, foi empregue a casca de castanha de Caju carbonizada, esterco morcego, casca de amendoim, casca de feijão, cinzas de biomassa, como controlo, empregou-se o solo da região da instalação da experiência. Os resultados mostraram que o pH variou significativamente entre os tratamentos, com o tratamento controle (T1) apresentando pH dentro da faixa ideal para a maioria das espécies florestais. Os tratamentos com adição de cinzas de biomassa (T2, T3, T4 e T5) apresentaram pH elevado, o que pode influenciar negativamente a absorção de nutrientes. Em relação ao crescimento das mudas, os parâmetros morfológicos como diâmetro do colecto (DC), altura (H), relação altura/diâmetro do colecto (H/DC), e massas da matéria seca (MMSA, MMSR e MMST) foram significativamente afectados pelos substratos. O tratamento T3, que combinou casca de castanha de caju carbonizada com cinzas de biomassa, demonstrou os melhores resultados em termos de desenvolvimento das mudas, apresentando maior diâmetro do colecto e melhor índice de qualidade de Dickson (IQD) para todas as espécies analisadas.

Palavras-chave: Substratos. Cascas de biomassa. Qualidade de mudas florestais

STUDY OF THE PHYSICOCHEMICAL VIABILITY OF SUBSTRATES IN THE CULTIVATION OF SEEDLINGS OF FOREST SPECIES IN PANDA

ABSTRACT

The study evaluated the effectiveness of substrates in the production of *Vangueria infausta*, *Strychnos spinosa* and *Landolphia kirkii*. An experimental test set up in the Panda Agrarian Institute nursery was installed from November 2023 to June 2024. To formulate the test substrates, carbonized cashew nut shells, bat manure, peanut shells, bean shells, biomass ash, as a control, the soil from the region where the experiment was set up was used. The results showed that pH varied significantly between treatments, with the control treatment (T1) presenting pH within the ideal range for most forest species. Treatments with the addition of biomass ash (T2, T3, T4 and T5) presented high pH, which can negatively influence nutrient absorption. Regarding seedling growth, morphological parameters such as stem diameter (DC), height (H), height/stem diameter ratio (H/DC), and dry matter masses (MMSA, MMSR and MMST) were significantly affected. by

the substrates. Treatment T3, which combined charred cashew nut shells with biomass ash, demonstrated the best results in terms of seedling development, presenting a larger diameter of the collection and a better Dickson quality index (DQI) for all species analyzed.

Keywords: Substrates. Biomass shells. Quality of forest seedlings.

INTRODUÇÃO

A crescente geração de resíduos orgânicos é um desafio global que demanda soluções sustentáveis e inovadoras. No Distrito de Panda, como em muitas outras regiões, a gestão adequada desses resíduos ainda é uma questão pouco explorada, resultando em impactos ambientais e desperdício de recursos valiosos. Paralelamente, o cultivo de mudas de espécies florestais é uma área particularmente relevante, considerando o papel vital das florestas na mitigação das mudanças climáticas, na conservação da biodiversidade e na proteção dos recursos hídricos.

Materiais de origem vegetal, como fibra de coco, casca de arroz carbonizada, dentre outros, têm-se destacado para uso na produção de mudas devido a aspectos considerados essenciais. Dentre esses aspectos estão a composição nutricional, alta disponibilidade e baixo custo de aquisição (Silva, Vendruscolo, Semensato, Campos & Seleguini, 2018).

A utilização de resíduos orgânicos na composição dos substratos constitui uma opção para a produção de mudas devido a sua alta propriedade de fornecimento de matéria orgânica, a capacidade de retenção de água e estimulam o desenvolvimento de microrganismos benéficos no solo (Santos et al., 2014), “para a produção florestal pode ser uma alternativa viável para destinação final desses materiais porém, é necessário que seja realizada a caracterização química dos resíduos para garantir a sobrevivência e o crescimento das mudas de espécies florestais” (Santos et al., 2014, p. 971).

O Distrito de Panda, localizado em uma região de importância ambiental, oferece um contexto ideal para este estudo. Investigar a viabilidade dos substratos derivados de resíduos orgânicos nesta área não só pode contribuir para soluções locais de gestão de resíduos, mas também para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e resilientes.

Diante do exposto, objectivou-se com este trabalho avaliar a possibilidade de utilização da casca carbonizada de castanha de caju, casca seca de amendoim, casca seca de feijão, por meio de análises de caracteres morfológicos, e análises qualitativas em mudas, assim como características físico-químicas de substratos em mudas de espécies florestais *Strychnos spinosa*, *Vangueria infausta* e de *Landolphia kirkii*, produzidas em diferentes formulações de substratos.

Foram avaliados aspectos como a composição química dos substratos, a qualidade física dos substratos e a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além disso, foram realizados experimentos práticos para verificar o desempenho das mudas cultivadas nesses substratos.

Assim, com esta pesquisa espera-se que seja conhecida a viabilidade de aproveitar os resíduos orgânicos na produção de mudas de espécies florestais como forma de promover o desenvolvimento sustentável.

MATERIAL E MÉTODOS

O projecto foi realizado entre o período de Novembro de 2023 a Junho de 2024, onde, inicialmente, foi realizada a planificação do experimento no qual foram definidos todos os itens referentes à escolha, colecta e concentrações dos componentes utilizados nos tratamentos avaliados, o preparo desses tratamentos, a montagem e condução do experimento, colecta dos parâmetros morfológicos da planta e análise estatística do experimento.

O experimento consistiu no cultivo de 25 (vinte e cinco) mudas de cada 4 (quatro) espécies estudadas, em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), executado em estufa montada no Instituto Agrário de Panda, com 5 (cinco) tratamentos, 5 (cinco) repetições por tratamento, totalizando as 100 (cem) plantas, cultivadas em copos de polipropileno de 250 cm³ cada.

Os substratos utilizados nos tratamentos foram compostos de solo (substrato controlo), solo e esterco de morcegos (guano), solo e casca seca de amendoim, solo e casca seca de feijão-nhamba, solo e casca carbonizada de castanha de caju com adição de cinzas de biomassa em todas as formulações com excepção do substrato controlo, que segundo Cacuro e Waldman (2015), as cinzas são amplamente empregadas na agricultura, especialmente como correctivo de P^H do solo, devido à sua natureza alcalina decorrente da liberação de iões como Ca₂⁺, Na⁺, Al₃⁺ e OH⁻. Além disso, esses autores destacam que as cinzas também melhoram a capacidade de retenção de água do solo ao aumentar sua microporosidade.

O material biológico testado foram as sementes de *Strychnos spinosa*, *Vangueria infausta* e de *Landolphia kirkii*. A avaliação da qualidade das mudas foi feita aos 120 dias após germinação em todas as mudas. Estas espécies levaram 30 a 45 dias para a sua devido a dormência elevada da germinação das sementes das espécies florestais.

A dormência é o fenómeno pelo qual as sementes de uma determinada espécie, mesmo sendo viáveis e tendo todas as condições ambientais favoráveis à germinação, deixam de germinar; podendo o bloqueio à germinação estar situado na própria semente (Farias, 2017).

Segundo mesmo autor, uma das formas mais comuns de dormência de sementes de espécies florestais tropicais é causada pela impermeabilidade do tegumento à água.

Formulação dos tratamentos utilizados no experimento

Com o objectivo de analisar a viabilidade físico-química dos substratos na produção de mudas de espécies florestais, considerando os parâmetros morfológicos, para cada espécie foi conduzido um experimento, aplicando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), constituído de 5 (cinco) tratamentos, com 5 (cinco) repetições para cada espécie, sendo a unidade experimental composta por 5 mudas (1 muda para cada repetição) em um tipo de recipiente cujas proporções dos tratamentos estão descritos na Tabela 2 apresenta os componentes e as respectivas concentrações dos mesmos em cada um dos tratamentos.

Tabela 1: formulação dos tratamentos utilizados no experimento

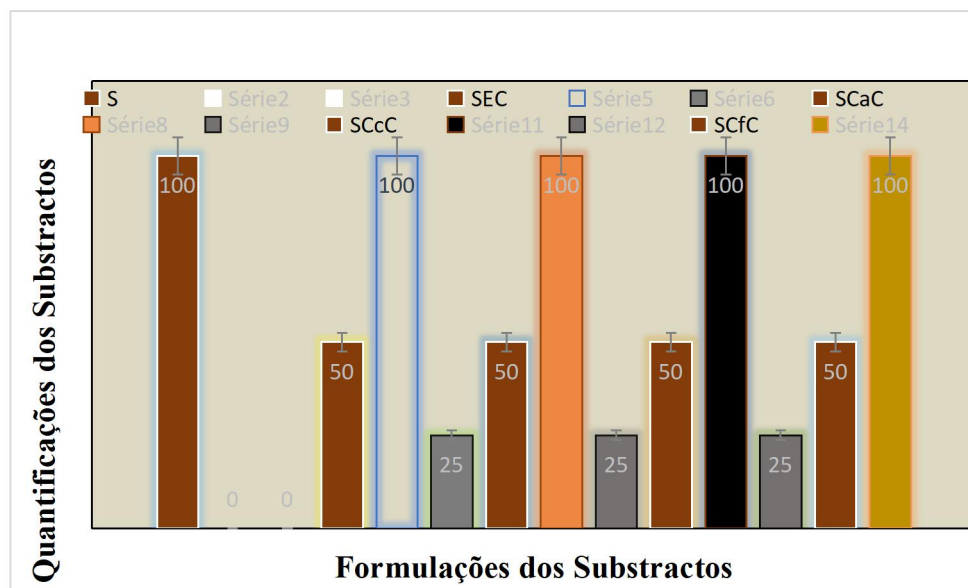
Tratamentos	S	E	C	Ccc	Ca	CF
T1	100	---	---	---	---	---
T2	50	100	25	---	---	---
T3	50	25	25	100	---	---
T4	50	25	25	---	100	---
T5	50	25	25	---	---	100

Fonte: Nhanala e Sitoie (2024)

Proporção percentual de constituintes usados na formulação de mudas de *Vagueia infausta*, *Strychnos spinosa* e de *Landolphia kirkii*, em que: S – Solo (substrato controlo); E – Esterco de morcego; C – Cinzas; Ccc- Casca carbonizada de castanha de caju; Ca -Casca seca de amendoim e Cf – Casca seca de feijão-nhemba.

Para a preparação dos tratamentos, os componentes foram dosados de acordo com as concentrações previamente definidas para cada um dos tratamentos, posteriormente, foi realizada a mistura dos componentes utilizados em cada um dos tratamentos e em seguida cada um desses tratamentos foi homogeneizado conforme apresentado abaixo.

Gráfico 1: Proporção em % dos substratos formulados para cada tratamento



Fonte: Nhanala e Siteioe (2024)

Em que: S – Solo (substrato controle); SEC – Solo Esterco; SCaC – Solo+ Casca de amendoim + Cinzas; SCcC – Solo+ Cascas de castanha de Caju + Cinzas; SCfC – Solo + Casca de feijão + Cinzas

Caracterização físico-química dos substratos

Com o intuito de caracterização físico-química, após a preparação dos substratos a serem utilizados na experiência, foi colectada uma subamostra de cada um deles e enviadas ao Laboratório de Solos do Departamento de solos da UEM alistando em ordem de tratamentos: T1; T2, T3, T4 e T5.

Os resultados da caracterização físico-química de substratos formulados foram reportados mediante uma tabela em função dos tratamentos com os seguintes parâmetros: P^H (H_2O); CE; N; P; K; Ca; C e MO. Em que P^H (H_2O) = Potencial de hidrogénio medido em água; CE = Condutibilidade eléctrica; N= Nitrogénio; P = Fósforo; K=Potássio; Ca= Cálcio; C = Carbono e MO = Matéria orgânica.

Seleccção das sementes utilizadas no experimento

Como dito anteriormente, o material biológico testado neste experimento foi *Vagueria infausta*), *Strychnos spinosa* e *Landolphia kirkii*, foram colectadas em árvores de ocorrência espontânea, nos povoados Ambuca, Cocoloane e Mazaucane, de Maio a Junho para espécie da *vagueria infausta* (*Pfilwa* ou *Mapfilwa*) e de Junho a Julho para *Strychnos spinosa* (*N'sala* ou

Massala) e de Novembro a Dezembro para *Landolphia kirkii* (Mambungua), segundo literaturas, a floração ocorre em Agosto e a frutificação em finais do mês de Outubro até mês de Janeiro, dependendo do tipo de género destas famílias. Visto que para o tipo de género da família das espécies em estudo, a floração ocorre no intervalo de Dezembro a Janeiro.

Neste estágio, foram escolhidas 50 sementes de cada tipo, considerando suas características morfológicas. A selecção foi feita apenas com base nas sementes que exibiam vigor físico, sem sinais visíveis de danos mecânicos ou lesões. Ademais, foram consideradas sua coloração e tamanho, a fim de se obter uniformidade, seleccionando as sementes mais homogêneas possível, conforme prescrevem as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Vale ressaltar que foi mantido o tegumento das sementes.

Essa etapa foi realizada, visando a selecção de sementes de boa qualidade, pois esse é um dos factores mais importantes para se obter a produtividade esperada e um alto índice de germinação.

Instalação do experimento

Localização da área do estudo

O estudo foi conduzido nas instalações do Instituto Agrário localizado na sede da vila de Panda (IAP). O distrito de Panda situa-se na parte meridional da província de Inhambane, em Moçambique, é georreferenciado pelas coordenadas geográficas Sul= 24° 03' 24.1'' e Este= 034° 44' 17.

De acordo com a classificação de Köppen o clima em Panda é considerado do tipo tropical seco, temperatura média do distrito varia de 18 °C a 35 °C e a precipitação média é de cerca de 750 mm por ano, sendo os meses de Dezembro a Fevereiro os mais chuvosos. A Figura 20 mostra a localização do distrito de Panda.

O experimento foi instalado em casa de vegetação (estufa), com sombrite de 50% de sombreamento. Para a montagem dos experimentos foram utilizados 100 (cem) copos, devidamente identificados e 4 (quatro) bandejas porta copos com dimensões largura x comprimento de 0,80 m x 0,10 m, numeradas de 1 (um) a 5 (cinco). As unidades experimentais foram distribuídas aleatoriamente na casa de vegetação (estufa).

Estrutura de protecção para mudas

Em função da região, a utilização de estruturas de protecção é de fundamental importância, pois é usada contra o excesso de chuva, temperatura baixa ou alta, chuvas de granizos, pragas, entre outras. Normalmente a localização da estrutura de protecção deve obedecer recomendações que alguns sistemas tradicionais de formação de mudas propõem, como: receber a luz do dia; proximidades à água de boa qualidade e sem contaminação; protecção contracorrentes de ventos fortes, mas com boa circulação do ar e distanciamento de acessos muito movimentados (Sousa et al., 2021).

A utilização da estufa, justifica-se também por se tratar de um estudo cujo delineamento experimental é em DIC. Portanto, este delineamento tem a rigorosidade de ser implementado em um ambiente controlável e homogêneo.

Assim, como tentativa de minimizar os efeitos ambientais negativos à produção de mudas, garantindo o sucesso a experiência e do processo produtivo foi montada uma estufa de experimentações florestais e agrícolas com 15m² obedecendo os critérios do sistema tradicional de formação de mudas.

Condução do experimento

O experimento foi conduzido ao longo de 120 dias para as mudas das espécies nativas (*Strychnos spinosa*, *Vangueria infausta* e *Landolphia kirkii*), começando no dia da sementeira e terminando no dia da colecta dos dados morfológicos e de avaliação da qualidade das mudas. Esse procedimento incluiu a implementação de etapas como o manejo da água, monitoramento da emergência das plântulas e desbaste, detalhadas nos subtópicos subsequentes.

Colecta dos dados dos parâmetros morfológicos das plantas e cálculo das variáveis analisadas no experimento

A colecta dos dados das variáveis analisadas no experimento teve início no dia 04 de Junho de 2024, tendo sido executada na Sala de Agro-processamento do IAP.

Para avaliação da qualidade das mudas, aos 120 dias após germinação em todas as mudas das espécies nativas, foi medido o diâmetro do colecto (DC), com auxílio de um paquímetro digital (mm), e a altura da parte aérea (H), com uso de régua graduada (cm) e a contagem do número de folhas (NF).

Foram feitas análises destrutivas para obtenção do peso da matéria seca da parte aérea (MSPA) e da matéria seca radicular (MSR). Para este procedimento foram escolhidas duas mudas

por parcela, aquelas que apresentaram valores mais próximos da média para diâmetro e altura. As mudas escolhidas tiveram suas raízes lavadas em água corrente para retirada do substrato, foram separadas a parte aérea do sistema radicular, e as mesmas foram devidamente identificadas, acondicionadas em papel do tipo A4 e em seguida, encaminhadas para estufa, onde ficaram por um período de 48 horas, à temperatura de 105°C, sendo, posteriormente, pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g.

Após avaliadas as características, foram calculados a relação entre altura da parte aérea e diâmetro do colecto (H/DC), o peso da matéria seca total (MMST), a relação entre matéria seca da parte aérea e matéria seca radicular (RMMSAR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD).

Índice de Qualidade de Dickson – índice utilizado para avaliar a qualidade das mudas, com base das características morfológicas, é calculado por uma fórmula balanceada em que incluem as relações dos parâmetros morfológicos, como altura da parte aérea (H), do diâmetro do colo (DC), do peso de matéria seca da parte aérea (MMSA) e do peso de matéria seca das raízes (MMSR), por meio da fórmula (Dickson et al., 1960).

Equação
$$IQD = \frac{MMST}{\left(\frac{AP}{DC} + \frac{MMSPA}{MMSR}\right)}$$

Onde:

IQD = Índice de Qualidade de Dickson

$MMST$ = Massa da Matéria Seca Total da Planta (g) = $MMSPA + MMSR$

AP = Altura da Planta (cm)

DC = Diâmetro do Colecto (mm)

$MMSPA$ = Massa da Matéria Seca da Parte Aérea (g)

$MMSR$ = Massa da Matéria Seca da Raiz (g)

Referencial Teórico

A transição para um modelo económico sustentável é imperativa diante dos desafios globais contemporâneos, como a degradação ambiental e as mudanças climáticas. Este capítulo discute os princípios da economia circular, as estratégias de gestão de resíduos global e a necessidade urgente de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, com base nos *insights* oferecidos pelos

documentos da Ellen Mac Arthur Foundation, United Nations Environment Programme (UNEP) e Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Economia circular, gestão de resíduos orgânicos e produção de substratos para mudas florestais

A crescente preocupação com a degradação ambiental e as mudanças climáticas tem impulsionado a busca por modelos económicos mais sustentáveis, destacando a economia circular como uma abordagem promissora. Em contraste com o modelo linear tradicional de produção e descarte, a economia circular visa minimizar o desperdício e maximizar a reutilização de recursos, oferecendo uma solução inovadora para desafios ambientais críticos.

No contexto da gestão de resíduos orgânicos, a economia circular desempenha um papel crucial. Resíduos orgânicos, frequentemente subutilizados ou descartados de maneira inadequada, têm potencial para serem transformados em valiosos substratos para a produção de mudas florestais. A compostagem, a vermicompostagem e o biochar são tecnologias que, dentro de uma economia circular, não apenas geram valor a partir de resíduos, mas também promovem a sustentabilidade ao melhorar a qualidade dos substratos usados para o cultivo de mudas.

A economia circular proporciona uma abordagem essencial para a gestão de resíduos orgânicos, crucial na produção sustentável de substratos para mudas florestais. Este capítulo explora como os princípios da economia circular se aplicam à gestão de resíduos orgânicos, com foco na viabilidade físico-química desses resíduos como substratos.

A Ellen Mac Arthur Foundation define economia circular como um modelo que visa eliminar resíduos e poluição, mantendo produtos e materiais em uso contínuo e regenerando sistemas naturais (Ellen Mac Arthur Foundation, 2020).

Para os resíduos orgânicos, isso inclui práticas como compostagem, que transforma resíduos em fertilizantes úteis para substratos (Bernal et al., 2009), e reciclagem de nutrientes, que melhora a qualidade do solo e a produtividade das plantas (FAO, 2018).

Tecnologias de gestão de resíduos, como compostagem, vermicompostagem e biochar, desempenham papéis fundamentais. A compostagem converte resíduos em composto, enriquecendo o solo com nutrientes (Hargreaves et al., 2008), enquanto a vermicompostagem usa minhocas para criar vermicomposto, eficaz em retenção de água e nutrientes (Edwards et al., 2010). O biochar,

produzido pela pirólise de resíduos, melhora a qualidade do solo e sequestra carbono (Lehmann et al., 2011).

A viabilidade dos substratos orgânicos é avaliada por aspectos como composição química, pH e capacidade de retenção de água. Nutrientes adequados são essenciais para o desenvolvimento das mudas (Khalid et al., 2011), e um P^H adequado, juntamente com uma boa capacidade de retenção de água, são cruciais para a saúde das mudas (Sanyal et al., 2017). Além disso, a estrutura e aeração do substrato previnem problemas de encharcamento (Kirkham & Powers, 2017).

Estudos mostram que compostos de resíduos melhoram o crescimento das mudas em comparação com substratos comerciais (Ceglie et al., 2014), e vermicompostos aumentam a biomassa e a qualidade do solo para mudas (Suthar & Singh, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 2: Os dados referentes às análises químicas e físicas dos substratos formulados

Parâmetros	Unidade	Tratamentos				
		T1	T2	T3	T4	T5
P ^H	[-]	5.9	9.78	10.83	10.10	10.16
CE	mS cm ⁻¹	0.94	3.63	1.343	0.731	4.734
N	%	0.022	0.345	0.269	0.285	0.301
P	mg/ 100g	0.51	20.91	13.60	17.18	19.29
K	meq/ 100g	0.19	9.19	6.31	3.56	8.99
Ca	meq/ 100g	1.20	42.80	34.00	32.80	32.80
C	%	0.46	3.47	3.47	3.47	2.51
MO	%	0.79	5.98	5.98	5.98	4.33

Fonte: Nhanala e Sitoie (2024)

Caracterização física e química dos substratos formulados para a produção de mudas de *Vagueria infausta*, *Strychnos spinosa* e de *Landolphia kirkii*, em que: pH = determinado em água, diluição 1:5 (v/v); CE = condutividade eléctrica obtida em solução 1:5 (v/v); N= Nitrogénio; P = Fósforo; K=Potássio; Ca= Cálcio; C = Carbono e MO = Matéria orgânica.

Para obter mudas de alta qualidade, é essencial que o substrato possua boas características físicas e químicas.

Kratz et al. (2013) destacam que as propriedades físicas dos substratos são mais críticas do que as químicas, pois, uma vez que o substrato é formulado e colocado nos recipientes, é difícil alterar suas propriedades físicas. Em contraste, as características químicas podem ser ajustadas com a adição de correctivos e fertilizantes através da irrigação durante o desenvolvimento das mudas. Entre os atributos químicos dos substratos, geralmente se estudam o pH, a condutividade eléctrica e a salinidade (Schmitz et al., 2002; caldeira et al., 2011).

Analisando a Tabela 2, observa-se que os valores de pH variaram de 5,9 a 10,16. Gonçalves e Poggiani (1996) indicam que a faixa ideal de pH para a maioria das culturas florestais é entre 5,5 e 6,5. Valores de pH muito altos ou baixos podem impedir que as raízes absorvam nutrientes adequadamente, afectando o desenvolvimento das mudas (Rodrigues et al., 2002). Com base nesses estudos, apenas o T1 (substrato controlo) apresentou um pH dentro da faixa ideal, enquanto os outros tratamentos apresentaram um pH elevado, fora da faixa ideal.

Segundo Kratz et al. (2013), os valores de pH variam conforme o tipo de constituinte utilizado para formulação dos substratos.

Cacuro e Waldman (2015) destacam as cinzas como um recurso amplamente utilizado na agricultura, especialmente como corretor de pH do solo devido à sua alcalinidade, que se deve à liberação de iões como Ca^{2+} , Na^{+} , Al^{3+} e OH^{-} no solo. Esses autores também ressaltam que as cinzas contribuem para melhorar a capacidade de retenção de água do solo, aumentando a microporosidade.

Pesquisas conduzidas por Garg, Pathak e Tomar (2005) investigaram os efeitos das cinzas volantes nas propriedades químicas e físicas do solo, observando um aumento significativo no rendimento e crescimento do trigo em comparação com o solo não tratado.

Foi observado que, com a incorporação das cinzas de biomassa, o pH também aumentou. Esse aumento pode estar relacionado ao longo período de carbonização desse material e das suas características químicas, o que, segundo Kloss et al. (2012), pode elevar o pH do substrato.

A análise dos tratamentos T2; T3; T4 e T5 (esterco de morcego, casca de castanha de caju carbonizada, casca de amendoim e casca de feijão-nhemba) como substratos principais respectivamente nos quais foi incorporado 25% de cinzas de biomassa, revelaram um pH que varia de 9,78 a 10,16 considerado alto, confirmando as observações de Kloss et al. (2012).

No que diz respeito à condutividade eléctrica (CE), foi observada uma leve variação entre as formulações dos tratamentos T1, T3 e T4, com valores que variaram de 0,94 a 1,34 mS cm^{-1} .

Verificou-se que os tratamentos T2 e T4 que contem esterco de morcego e e casca de amendoim como substratos principais, que também continham 25% de cinzas de biomassa, apresentaram uma condutividade eléctrica superior. Em contraste, o tratamento controle exibiu um valor mais baixo, sendo considerado de baixa condutividade.

De acordo com Martinez (2002), uma condutividade eléctrica superior a $3,5 \text{ dSm}^{-1}$ é considerada excessiva para a maioria das plantas cultivadas. Para as espécies florestais, a CE ideal deve situar-se entre $1,5$ e $3,0 \text{ mS cm}^{-1}$, conforme Kämpf (2005).

Rodrigues et al. (2002) afirmam que altos níveis de condutividade eléctrica podem prejudicar as raízes das plantas e os pelos radiculares, afectando a absorção de água e nutrientes e, assim, comprometendo o crescimento das mudas.

Análise e discussão dos dados sobre a viabilidade físico-química dos substratos

A concentração de nitrogénio nos substratos varia de 0.022% a 0.345%. O nitrogénio é essencial para o crescimento vegetativo das plantas, promovendo o desenvolvimento das folhas e a produção de proteínas. Substratos com baixos níveis de N podem não suportar um crescimento ideal, enquanto níveis excessivos podem causar crescimento descontrolado e desequilíbrio nutricional.

O substrato T2, com o nível de N mais alto (0.345%), pode fornecer uma quantidade adequada de nitrogénio para um crescimento saudável, mas deve ser equilibrado com outros nutrientes. O nitrogénio é essencial para o crescimento das plantas, e sua disponibilidade afecta o desenvolvimento das folhas e a produção de proteínas. O trabalho de Mengel e Kirkby (2001) destaca a importância do nitrogénio na fotossíntese e no crescimento vegetativo das plantas.

Os valores de fósforo variam de 0.51 a 20.91 mg/100g. O fósforo é importante para o desenvolvimento das raízes e a produção de energia nas plantas. O fósforo é crucial para o desenvolvimento das raízes e a transferência de energia nas plantas.

O estudo de White e Hammond (2008) ressalta que a disponibilidade de fósforo influencia o crescimento radicular e a eficiência da absorção de nutrientes. Portanto, o substrato T2, com o valor de P mais alto (20.91 mg/100g), pode ser particularmente benéfico para o desenvolvimento radicular, mas deve ser monitorado para evitar desequilíbrios nutricionais.

Embora níveis elevados de fósforo possam ser benéficos para o crescimento das raízes, o excesso pode causar a imobilização de outros nutrientes e afectar a saúde das plantas.

Os níveis de potássio variam de 0.19 a 8.99 meq/100g. O potássio é crucial para a regulação de processos metabólicos e a resistência a doenças. Substratos com baixos níveis de K podem

limitar o crescimento e a saúde das plantas, enquanto valores elevados são geralmente benéficos. O potássio é fundamental para a regulação metabólica e a resistência a doenças.

Segundo Taiz e Zeiger (2010), o potássio desempenha um papel crucial no controle da abertura dos estômatos e na regulação do fluxo de água.

O substrato T4 apresenta níveis de K mais elevados (8.99 meq/100g), o que pode proporcionar uma boa disponibilidade de potássio para as mudas, promovendo um crescimento saudável.

Os valores de cálcio variam de 1.20 a 42.80 meq/100g. O cálcio é essencial para a estrutura celular e a integridade das paredes celulares das plantas.

Haug e Loughman (1970) destacam a função do cálcio na formação de estruturas celulares e na integridade das membranas e que os níveis muito altos ou muito baixos de cálcio podem afectar a absorção de outros nutrientes e a saúde geral das plantas.

O substrato T2, com o valor de Ca mais alto (42.80 meq/100g), pode fornecer uma quantidade adequada de cálcio, mas é importante verificar se a disponibilidade de outros nutrientes não está sendo comprometida.

Embora os valores de carbono não variem amplamente entre os tratamentos T2, T3, T4, T5, o carbono é fundamental para a actividade microbiana no substrato. Um equilíbrio adequado de carbono é necessário para a decomposição da matéria orgânica e a saúde do substrato.

De acordo com Lal (2004), a matéria orgânica melhora a estrutura do solo e aumenta a capacidade de retenção de água e nutrientes.

Os níveis de matéria orgânica variam de 3.47% a 5.98%. A matéria orgânica é importante para a estrutura do substrato, retenção de humidade e fornecimento contínuo de nutrientes. Níveis mais altos de MO geralmente promovem uma boa estrutura do substrato e um ambiente saudável para as raízes. O substrato T2, com o nível de MO mais alto (5.98%), pode proporcionar um ambiente favorável para o crescimento das mudas.

Análise e avaliação das condições físico-químicas dos substratos orgânicos para a produção de mudas de *vangueria infausta*, *strychnos spinosa* e *landolphia kirkii*

Esta seção oferece uma comparação detalhada da viabilidade físico-química dos substratos analisados, avaliando suas características para a produção de mudas das espécies *Vangueria infausta*, *Strychnos spinosa* e *Landolphia kirkii*.

O substrato do Tratamento T1(controle) apresenta um P^H ideal, que é um factor crucial para a disponibilidade de nutrientes. No entanto, a condutividade eléctrica (CE) relativamente baixa pode ser vantajosa para evitar problemas de salinidade, mas é necessário equilibrar com a adição de nutrientes para garantir que as mudas recebam a quantidade adequada de sais essenciais. Portanto, embora a baixa CE seja um ponto positivo, deve-se monitorar e ajustar a fertilização para evitar deficiências nutricionais.

O Tratamento T2 se destaca por seu P^H adequado e níveis elevados de fósforo e cálcio, elementos fundamentais para o crescimento robusto das raízes e a saúde geral das mudas. Esses parâmetros são benéficos, pois o fósforo é essencial para o desenvolvimento radicular e o cálcio contribui para a estrutura celular das plantas.

No entanto, a condutividade eléctrica e os níveis de potássio precisam de monitoramento contínuo para evitar possíveis desequilíbrios nutricionais que possam prejudicar o crescimento das plantas.

O substrato do Tratamento T3 possui um P^H ideal, mas a condutividade eléctrica ligeiramente elevada pode indicar um risco potencial de salinidade. É fundamental observar e ajustar a CE para garantir que o substrato permaneça dentro de níveis seguros, evitando impactos adversos sobre o crescimento das mudas. Embora o P^H esteja adequado, a salinidade deve ser controlada para promover um ambiente saudável para as raízes.

O Tratamento T4 apresenta um P^H um pouco mais alto e uma CE elevada, o que pode sugerir um problema de salinidade. A alta condutividade eléctrica pode levar a um acúmulo excessivo de sais no substrato, o que pode ser prejudicial para as mudas. Além disso, os altos níveis de potássio podem ser benéficos, mas devem ser compensados com ajustes no P^H e na CE para evitar efeitos adversos. Recomenda-se corrigir esses parâmetros para otimizar o crescimento das mudas.

Análise estatística das variáveis avaliadas no experimento

Após a análise das propriedades físicas e químicas dos substratos formulados, foram examinados os parâmetros morfológicos e realizadas análises qualitativas em mudas de *vagueria infausta*, *Strychnos spinosa* e de *Landolphia kirkii* (Tabela 4).

Nos próximos subtópicos, serão apresentados e discutidos os resultados da análise estatística realizada por meio da análise de variância, empregando o teste F com níveis de significância de até 5%, conforme aplicável às variáveis do experimento. Os resultados para cada variável foram ilustrados por tabelas gerados com o *software* Sisvar versão 5.6.

Tabela 3: Análise estatística das variáveis avaliadas no experimento

<i>Vagueria infausta</i>									
Trat	DC	H	H/DC	NF	MMS A	MMSR	MMST	MMSA/M MSR	IQD
	(mm)	(cm)	---	---	(g)	(g)	(g)	---	---
T1	7.2	1.72 a	0.24a	4.4	0,11 b	0,11 c	0,20 d	1,18 a	0,10 d
T2	7.2	1.88 a	0.27a	4.4	0,15 a	0,57 b	0,78 b	0,33 b	1,00 b
T3	9.6	1.00 b	0.10b	4.8	0,12 b	0,68 a	0,90 a	0,01 d	3,00 a
T4	7.8	0.84 b	0.11b	5.8	0,11 b	0,10 c	0,39 c	0,10 c	0,22 c
T5	6.6	0.74 b	0.12b	6.0	0,10 b	0,10 c	0,20 d	0,09 c	0,11 d
CV%	21.55	26.71	33.1	24.1 1	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00

Fonte: Nhanala e Sitoie (2024)

Tabela 4: *Strychnos spinosa*

Trat	DC	H	H/DC	NF	MMS A	MMSR	MMST	MMSA/M MSR	IQD
	(mm)	(cm)	---	---	(g)	(g)	(g)	---	---
T1	7.0	1.52	0.23	7.2b	0,20 a	0,51 b	0,45 d	0,49 b	0,50 d
T2	8.2	1.84	0.22	7.6b	0,19 a	0,39 c	0,69 b	0,38 c	1,1 a
T3	8.8	1.72	0.19	14.4	0,20 a	0,52 b	0,78 a	0,50 b	0,82 b
T4	7.8	1.72	0.22	a	0,20 a	0,79 a	0,42 c	0,76 a	0,51 d
T5	9.0	1.76	0.19	10.4 b	0,21 a	0,50 b	0,40 c	0,51 b	0,70 c
				10.4 b					
CV%	15.6	37.47	38.12	20.2	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00

Fonte: Nhanala e Sitoie (2024)

Tabela 5: *Landolphia kirkii*

Trat	DC	H	H/DC	NF	MMS	MMSR	MMST	MMSA/M	IQD
	(mm)	(cm)	---	---	(g)	(g)	(g)	---	---
T1	3.8 b	3.60	0.99a	3.8	0,12 c	0,10 c	0,24 d	1,94 c	0,12 c
T2	4.4 b	3.78	0.87a	4.0	0,26 b	0,11 c	0,31 c	2,80 a	0,10 c
T3	6.8 a	3.78	0.58ab	4.0	0,24 b	0,42 a	0,56 b	0,50 e	0,53 a
T4	5.8 a	3.92	0.69ab	4.4	0,39 a	0,31 b	0,69 a	0,87 d	0,41 b
T5	6.8 a	2.78	0.41b	3.2	0,22 b	0,10 c	0,23 d	2,51 b	0,10 c
CV%	11.74	25.93	33.73	23.6	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00

2

Fonte: Nhanala e Sitoie (2024)

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Os valores médios do diâmetro do colecto (DC), altura (H), número de folhas (NF), relação altura/diâmetro do colecto (H/DC), peso da matéria seca de parte aérea, peso da matéria seca radicular (MMSR), peso da matéria seca total (MMST), relação entre peso da matéria seca da parte aérea/raiz (RMMSAR), índice de qualidade de Dickson IQD, em mudas de *Vagueria infausta*, *Strychnos spinosa* e de *Landolphia kirkii*, aos 120 dias após germinação.

O uso de esterco de morcegos, casca de castanha de caju carbonizada, casca de amendoim e casca de feijão como substratos principais e com adição de cinzas de biomassa nas formulações para os tratamentos (T1; T2; T3; T4 e T5) causou efeitos significativos, ao nível de 5% ($p < 0,05$), nas seguintes variáveis: Número de Folhas; Massa da Matéria Fresca da Parte Aérea; Massa da Matéria Fresca das Folhas; Massa da Matéria Seca da Parte Aérea; Massa da Matéria Seca da Raiz; Massa da Matéria Seca das Folhas; Área Foliar e Índice de Qualidade de Dickson para as mudas de *Strychnos spinosa*. Para As mudas de *Landolphia kirkii*, o efeito significativo foi observado nas demais variáveis excluindo variáveis Altura da Planta e Número de Folhas.

Além disso, o diâmetro do colecto não teve um efeito significativo nas mudas de *Vangueria infausta*, assim como foi observado nas mudas de *Strychnos spinosa*. Esta espécie dominou entre as

três analisadas em termos de baixa significância dos dados, apresentando três variáveis Altura, Diâmetro do colecto e relação altura/diâmetro do colecto para todos os tratamentos, sem mostrar efeitos significativos.

Na análise do diâmetro do colecto para *vagueria infausta*, *Strychnos spinosa*, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Para a espécie *Landolphia kirkii*, os maiores diâmetros médios foram encontrados nos tratamentos T3, T4, T5, com diferenças estatísticas em relação aos demais. O crescimento em diâmetro das mudas de *Landolphia kirkii* variou entre 3,8 e 6,20 mm, com os tratamentos T3, T4 e T5 apresentando as maiores médias, em contraste com os tratamentos T1 e T2.

O diâmetro do colecto é uma característica importante na avaliação da qualidade das mudas em viveiro, pois pode indicar a capacidade de sobrevivência e crescimento das mudas no campo. Além disso, é uma medida de fácil obtenção, não exigindo análises destrutivas (Gomes et al., 2002).

Segundo Davide et al. (2015), um diâmetro mínimo de 3 mm é recomendado para espécies florestais nativas, e todos os tratamentos para *Vagueria infausta*, *Strychnos spinosa* e de *Landolphia kirkii* superaram esse valor.

Dutra et al. (2013) observaram que o diâmetro das mudas de *P. dubium* variou de 3,33 a 3,36 mm em substratos alternativos em estudo realizado, enquanto neste estudo, os diâmetros foram maiores, variando de 3,8 a 9,6 mm. Para *Landolphia kirkii*, os diâmetros variaram de 3,8 a 6,8 mm, valores semelhantes aos encontrados por Dutra et al. (2013).

Melo et al. (2014) relataram diâmetros de 2,14 a 3,21 mm para *E. grandis*, inferiores aos dados obtidos para todas as espécies neste estudo. Por outro lado, Kratz et al. (2013b) encontraram diâmetros médios de 1,70 mm para *E. benthamii*, inferiores aos encontrados neste trabalho. Isso sugere que os substratos utilizados contribuíram positivamente para o desenvolvimento das mudas em relação a essa variável.

A altura das mudas de *vagueria infausta* variou de 0,74 a 1,72 cm, com as menores médias observadas nos tratamentos T1 e T2, apresentando diferenças estatísticas significativas em relação aos outros tratamentos. Para *Strychnos spinosa* e de *Landolphia kirkii*, não houve diferença estatística entre os tratamentos quanto à altura das mudas, e para *vagueria infausta*, a menor média foi registrada no tratamento T5. A altura das plantas é amplamente usada na avaliação da qualidade das mudas e, assim como o diâmetro, é fácil de medir. No entanto, é recomendável avaliar a altura junto com outras variáveis, como o diâmetro (Gomes et al., 2002).

Caldeira et al. (2013) observaram bom crescimento em altura para mudas de *Chamaecrista desvauxii* com substratos que incluíam cascas de arroz e café.

Em relação à relação altura/diâmetro (H/DC), não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos para *Strychnos spinosa*. Para *Vangueria infausta* e *Landolphia kirkii*, o menor valor de H/DC foi registado no tratamento T3, com o valor de 0,10 que se diferenciou estatisticamente dos demais. A relação altura/diâmetro é uma métrica útil para avaliar a qualidade das mudas de espécies florestais, pois combina duas variáveis em uma só, reflectindo o equilíbrio de crescimento e a sobrevivência das mudas em campo (Daniel et al., 1997; Sturion et al., 2000).

Carneiro et al. (1995) definem uma faixa ideal de H/DC entre 5,4 e 8,1 para a robustez das mudas. No entanto, para espécies com características de crescimento variadas, essa recomendação pode não ser a mais adequada.

Kratz et al. (2013) encontraram uma relação H/DC superior ao intervalo ideal para *E. benthamii*, enquanto Trazzi et al. (2012) indicam que tratamentos abaixo da faixa ideal não devem ser desconsiderados, já que o sistema radicular não é avaliado nessa métrica.

A MMSA, MMSR e MMST são características importantes para a avaliação da biomassa das plantas. O desenvolvimento dessas plantas pode ser influenciado pelos tipos e proporções dos componentes utilizados, pelas propriedades físicas e químicas desses componentes, pelo manejo das mudas no viveiro e por outros factores (Gomes et al., 2013; Freitas et al., 2013).

De forma geral, para as mudas das espécies estudadas *Vangueria infausta*, *Strychnos spinosa* e *Landolphia kirkii* a análise das três características revelou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Observou-se que os tratamentos T5 e o controlo (T1) para *Vangueria infausta* e *Landolphia kirkii* apresentaram valores mais baixos.

Isso pode ter ocorrido devido à menor variação nos constituintes, o que possivelmente afectou negativamente o crescimento dessas características para essas espécies. Para as mudas de *Vangueria infausta* e *Landolphia kirkii*, verificou-se que o T3 (uma combinação de casca de castanha de caju carbonizada com cinzas e o controlo) teve um impacto positivo no desenvolvimento da MMSA e MMST. Observou-se a mesma tendência no T4 (combinação de casca de amendoim com cinzas e o controlo) para as mudas de *Strychnos spinosa*.

Reis et al. (2012) e Rocha et al. (2013) sugerem que, para uma compreensão mais detalhada da MMSA e MMSR, é importante avaliar a relação entre essas duas variáveis. A relação entre o peso da matéria seca da parte aérea e o peso da matéria seca do sistema radicular (RMMSAR) deve

idealmente ser igual ou inferior a 2,0, para garantir que o desenvolvimento radicular seja adequado para fornecer água e nutrientes à parte aéreas (José et al., 2009).

Na avaliação da RMMSAR nas mudas de *Vangueria infausta*, *Strychnos spinosa* e *Landolphia kirkii*, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Os valores de RMMSAR propostos pelo autor citado foram encontrados no nosso estudo para a espécie *Landolphia kirkii* nos tratamentos T1, T2 e T5.

Conforme Gomes et al. (2002) e Caldeira et al. (2012), a RMMSAR não é considerada um bom parâmetro para avaliar a qualidade das mudas florestais, pois é um método destrutivo e de interpretação complexa, além de, em alguns casos, apresentar uma relação contraditória com o crescimento das mudas em campo. Por outro lado, Birchler et al. (1998) destacam que essa variável pode reflectir o equilíbrio entre a parte aérea e a quantidade de raízes. Valores elevados podem indicar uma maior área foliar, o que pode levar a um desequilíbrio no crescimento da muda e ao tombamento, além de prejudicar a absorção de água e nutrientes, impactando negativamente o crescimento da muda (Caldeira et al., 2012).

Na avaliação do IQD, observou-se uma diferença significativa entre os tratamentos para as mudas de *Vangueria infausta*, *Strychnos spinosa* e *Landolphia kirkii*. Isso indica que o IQD pode ter mostrado variações substanciais na qualidade das mudas entre os diferentes tratamentos experimentais.

O IQD, conforme Fonseca et al. (2002), é uma ferramenta eficaz para avaliar a qualidade das mudas, pois integra vários parâmetros morfológicos em uma única métrica. Este índice é valorizado por permitir uma análise conjunta e abrangente da robustez e equilíbrio das características das mudas.

De acordo com Aguiar et al. (2011), o IQD é amplamente utilizado porque considera a robustez e o equilíbrio entre as características avaliadas. Um valor maior de IQD indica um melhor grau de qualidade da muda dentro de um mesmo lote (José et al. 2005).

Para iniciar a análise dos dados do Índice de Qualidade de Dickson (IQD) para as diferentes espécies estudadas, apresentamos a seguir uma revisão dos resultados obtidos para cada espécie e tratamento. Esta análise visa identificar as diferenças na qualidade das mudas, reflectidas pelos valores de IQD, e compreender como essas diferenças influenciam a avaliação da robustez e do equilíbrio das características das mudas.

- Espécie *Vangueria infausta*: Os tratamentos T1 e T2 exibem os valores mais baixos de IQD, com T1 apresentando a menor qualidade das mudas em comparação com os outros

tratamentos. Ambos os tratamentos não mostram diferenças significativas entre si, indicando que as mudas sob esses tratamentos têm uma qualidade semelhante e inferior aos demais. Por outro lado, o Tratamento T3 apresenta o valor mais alto de IQD, indicando a melhor qualidade das mudas entre todos os tratamentos analisados para esta espécie.

- Espécie *Strychnos spinosa*: Os tratamentos T1 e T4 revelam os valores mais baixos de IQD, sem diferenças significativas entre si, indicando que as mudas desses tratamentos são de menor qualidade.
- O Tratamento T3, com um valor intermediário de IQD, demonstra uma qualidade melhor em comparação com os tratamentos de menor desempenho, mas ainda inferior ao tratamento com o valor mais alto. O Tratamento T2, por sua vez, apresenta o valor mais alto de IQD, refletindo a melhor qualidade das mudas entre todos os tratamentos analisados para esta espécie.
- Espécie *Landolphia kirkii*: Os tratamentos T1, T2, T4 e T5 mostram valores baixos de IQD, sem diferenças significativas entre eles, com exceção do T4, o que indica a menor qualidade das mudas nesses tratamentos. O Tratamento T2, com um valor intermediário de IQD, tem uma qualidade superior em relação aos tratamentos com os valores mais baixos, embora ainda seja inferior ao tratamento com o valor mais alto. O Tratamento T3 apresenta o valor mais alto de IQD, sinalizando a melhor qualidade das mudas entre todos os tratamentos para esta espécie.

A análise dos dados indica que o IQD é um indicador eficaz da qualidade das mudas, com valores mais altos associando-se a uma maior qualidade. As variações significativas entre os tratamentos sublinham a importância do IQD na avaliação da robustez e do equilíbrio das características das mudas, conforme observado em estudos anteriores (Fonseca et al., 2002; Aguiar et al., 2011; José et al., 2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa avaliou a viabilidade das características físicas e químicas de substratos na produção de mudas das espécies *Vangueria infausta*, *Strychnos spinosa* e *Landolphia kirkii*, evidenciando a importância do equilíbrio dos parâmetros dos substratos para o desenvolvimento adequado das mudas. Os resultados destacaram variações significativas no pH (5,9 a 10,16) e na

condutividade elétrica (CE) (0,94 a 4,73 mS cm⁻¹) entre os tratamentos, influenciando diretamente o crescimento das mudas.

O tratamento T2 apresentou-se como o mais promissor, devido aos elevados níveis de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), matéria orgânica e carbono, que melhoraram a estrutura do substrato e a retenção de umidade. Apesar de o pH de T2 (9,78) ser elevado, ele mostrou-se ajustável e menos prejudicial em comparação ao T5. O tratamento T3, que combinou casca de castanha de caju carbonizada com cinzas de biomassa, também obteve destaque, proporcionando os melhores resultados em diâmetro do coleto, altura e Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

O IQD demonstrou ser uma ferramenta eficaz para avaliar a robustez e a uniformidade das mudas. Os resultados indicam que o substrato ideal deve equilibrar características químicas e físicas para otimizar a absorção de nutrientes e água, promovendo o crescimento equilibrado das plantas. Apesar da eficácia dos tratamentos, ajustes no pH e na CE são necessários para evitar impactos negativos no desenvolvimento das mudas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNAL, M. P., Albuquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and other organic wastes. In: M. P. Bernal, J. A. Albuquerque, & R. Moral (Eds.), *Compost Science and Technology* (pp. 125-160). Elsevier.
- BRASIL. (2009). Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília.
- CACURO, T. A. & Waldman, W. R (2015). Cinzas da Queima de Biomassa: Aplicações e Potencialidades. *Revista Virtual de Química* 7 (6), 2154-2165. Recuperado em Doi: <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20150127>
- CALDEIRA, M.V.W., Wendling, I., & Souza, L.S. (2012). Substratos renováveis: Novas perspectivas para a produção de mudas. Editora Florestal.
- CARNEIRO, J. G. A. (1995). Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 41-65.
- CEGLIE, F., Fares, C., Santoro, A., & Testa, G. (2014). Effects of compost on the growth of forest seedlings: Comparison with commercial substrates. *Forest Ecology and Management*, 319, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.020>
- DICKSON, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and whitepine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle*, (36) 1, 10-13. Recuperado em Doi: <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>

DUTRA, T. R., Massad, M. D., Sarmento, M. F. Q., De Oliveira, J. C. (2013). Substratos alternativos e métodos de quebra de dormência para produção de mudas de canafístula. *Revista Ceres*, (60)1, 072-078. Recuperado em Doi: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000100011>

ELLEN MacArthur Foundation. (2020). Towards a Circular Economy: Accelerating the Scale-Up Across Global Supply Chains. Recuperado em <https://www.aquafil.com/assets/uploads/ellen-macarthur-foundation.pdf>.

FAO (Food and Agriculture Organization). (2018). The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. FAO.

FERREIRA, D.F. (2014). Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, 8 (2), 109-112. Recuperado em <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

FONSECA, T.G. (2001). Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação. Dissertação (Mestrado em agronomia). Universidade de São Paulo. São Paulo. Brasil 72p. Recuperado em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-08042002-094507/publico/taysa.pdf>

GOMES, J. M, Couto, L., Leite, H. G., Xavier, A., & Garcia, S. L. R. (2020). Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, (26) 6, 655-664. Recuperado em Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>

HARGREAVES, J. C., Adl, M. S., & Hatfield, J. L. (2008). A review of the use of composted manure and composted plant material as a growing medium in greenhouse vegetable production. *Waste Management*, 28(4), 569-577. Recuperado em <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.023>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2018). Special Report on Global Warming of 1.5°C. Recuperado em https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/SR1.5_SPM_Low_Res.pdf.

JOSÉ, A. C., Davide, A. C., Oliveira, S. L. (2009). Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinusterebinthifolia* Raddi). *Agrarian*, 2 (3), 73-86. Recuperado em <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/download/420/311/993>

KÄMPF, A. N. Substrato. (2005) In: Kampf, A. N. Produção comercial de plantas ornamentais. 2.ed. Guaíba: Agrolivros, p.45-72.

KHALID, A., Arshad, M., & Zahir, Z. A. (2011). Enhancement of plant growth and yield through the use of organic amendments and fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 34(6), 828-846. Recuperado em <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.563822>

KIRKHAM, M. B., & Powers, W. L. (2017). *Advanced Soil Physics*. CRC Press.

KRATZ, D., Wendling, I., Nogueira, A.C. & Souza D. P.de. (2013). Substratos renováveis na produção de Mudas de *Eucalyptus benthamii*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, (23), 4, 607-621. Recuperado em Doi: <https://doi.org/10.5902/1980509812345>

MENGEL, K., & E. A. Kirkby (2001). "Principles of Plant Nutrition." Kluwer Academic Publishers. Recuperado em <http://dx.doi.org/10.1093/aob/mch063>

OLIVEIRA, M. De; Aquino, J. De. (2007). Tratamento de Minérios. Práticas Laboratoriais. Ed. João Alves Sampaio, Silva Cristina Alves França, Paulo Fernando Almeida Braga. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 570 p.

SANTOS, F. E. V., Kunz, S. H., Caldeira, M. V. W., Carlos H. S. Azevedo, C.H.S., Otacilio J. P... (2014). Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de

mudas florestais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, (18) 9,971 – 979. Recuperado em Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p971-979>

SANYAL, S., & De Datta, S. K. (2017). Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. *Advances in Soil Science* (pp. 269-289). Springer.

SOARES. Z.D., Paiva, A.V. De, Miranda, R.O. De, Maranhão, A.S. (2014). Propriedades físico-químicas de resíduos agroflorestais amazônicos para uso como substrato. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*. Nativa, Sinop, (02) 3, p.155-161. Recuperado em <http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa>

SOUSA, A. P., Pontes, S. F., Matos, R. R., Santana, M. S., Amorim, D. J. Costa, C. A. (2021). Casca de arroz carbonizada como substrato alternativo na propagação por estaca de ixora (ixora coccínea). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, (12) 2,19-26. Recuperado em <http://dx.doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.002.0003>

SUTHAR, S., & Singh, S. (2008). Vermicomposting of agro-industrial wastes: Evaluation of growth and quality of seedlings. *Bioresource Technology*, 99(18), 8767-8772. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.03.059>

TAIZ, L. & Zeiger, E. (2010). Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal (6ª ed.) pp. 888

United Nations Environment Programme. (2019). Global Waste Management Outlook. <https://www.unclearn.org/wp-content/uploads/library/unep23092015.pdf>.

WHITE, P. J., & J. P. Hammond (2008). "Phosphorus nutrition of plants." In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Recuperado em http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8435-5_5