

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Luis Fernando Gonçalves Padilha

Uso de resíduo de papelão na propagação vegetativa de espécies florestais

Curitibanos, SC

2023

Luis Fernando Gonçalves Padilha

Uso de resíduo de papelão na propagação vegetativa de espécies florestais

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.
Orientadora: Prof^a. Kelen Haygert Lencina.

Curitibanos, SC

2023

Padilha, Luis Fernando Gonçalves

Uso de resíduo de papelão na propagação vegetativa de espécies florestais / Luis Fernando Gonçalves Padilha ; orientadora, Kelen Haygert Lencina, 2023.

32 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Lodo de papel. 3. Enraizamento. 4. Propagação vegetativa. 5. Sustentabilidade. I. Lencina, Kelen Haygert . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Luis Fernando Gonçalves Padilha

Uso de resíduo de papelão na propagação vegetativa de espécies florestais

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 30 de maio de 2023.



Documento assinado digitalmente
MARCELO BONAZZA
Data: 21/06/2023 08:34:53-0300
CPF: ***.641.899-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Marcelo Bonazza
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Kelen Haygert Lencina
Data: 20/06/2023 15:45:56-0300
CPF: ***.476.600-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^ª. Kelen Haygert Lencina
Orientadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Denise Gazzana

Dra. Denise Gazzana
Avaliadora
Engenheira Florestal

Renata Smith Avinio

Me. Renata Smith Avinio
Avaliadora
Engenheira Florestal

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este trabalho, primeiramente, a Deus por sua graça e amor incondicional, que me sustentaram e me deram coragem para perseguir meus objetivos acadêmicos.

A minha amada esposa, cujo amor e apoio têm sido a força motriz por trás da minha jornada acadêmica. Sua paciência, compreensão e encorajamento constante foram fundamentais para superar os desafios ao longo do caminho. Seu suporte incondicional e incentivando-me a nunca desistir dos meus sonhos. Sua presença tem sido um verdadeiro presente nessa jornada.

Quero expressar minha profunda gratidão à minha orientadora, Prof^a. Kelen Haygert Lencina, que me acolheu com carinho e dedicação desde o primeiro dia. Sua orientação sábia, experiência e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua paciência em esclarecer minhas dúvidas e sua disposição em compartilhar conhecimentos foram inestimáveis. Sou verdadeiramente abençoado por ter uma mentora tão inspiradora.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante todo esse percurso, gostaria de expressar minha sincera gratidão. Vocês sempre acreditaram em mim, me encorajaram e me motivaram quando eu mais precisava. Compartilhamos risadas, desafios e momentos inesquecíveis, e tenho certeza de que nossa amizade durará para sempre. Obrigado por serem uma fonte constante de apoio e inspiração.

Não posso deixar de mencionar meus familiares, que sempre estiveram presentes em todas as etapas desta jornada. Seu amor, incentivo e compreensão são inestimáveis. Obrigado por todo o apoio emocional e pelo suporte prático que vocês sempre ofereceram.

Esta conquista não seria possível sem vocês. Sei que cada palavra deste trabalho carrega a influência positiva de suas presenças em minha vida. Obrigado por fazerem parte dessa jornada e por torná-la mais significativa e enriquecedora.

RESUMO

O lodo de papel, é um subproduto gerado no processo de fabricação de papel a partir de fibras de celulose. Diversas abordagens têm sido exploradas para seu reaproveitamento. Nesse sentido, acredita-se que o resíduo de papelão pode servir como um material alternativo para produção de mudas, possibilitando uma destinação útil para o resíduo, gerando economia à indústria e ao produtor de mudas, e trazendo boas respostas de propagação das espécies avaliadas. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de resíduo da indústria de papelão beneficiado como substrato na propagação vegetativa de espécies florestais. O lodo foi processado e separado em peneiras de inox com quatro diferentes granulometrias, sendo elas de 1; 2; 3,3 e 4,8mm. As diferentes granulometrias foram misturadas ao substrato comercial na proporção de 1:1 (v/v) e acondicionadas em bandejas de isopor de 128 alvéolos. Foram testadas quatro espécies florestais (*Quercus acutissima*, *Eucalyptus dunnii*, *Ocotea porosa* e *Ilex paraguariensis*) nas quatro granulometrias. Os cultivos foram avaliados aos 30 e 60 dias quanto à porcentagem de sobrevivência, de calo, de brotação e de enraizamento, bem como o comprimento das raízes adventícias. *Quercus acutissima* foi a espécie que demonstrou maiores valores de enraizamento na granulometria de 2 mm, mas sem diferir estatisticamente das granulometrias de 1 e 3,3 mm. Já a granulometria de 4,8 mm resultou na menor porcentagem de enraizamento. Já a espécie *Eucalyptus dunnii* mostrou, claramente, ser mais adaptável a granulometria maior, mostrando um resultado superior a 60% das estacas enraizadas na granulometria de 4,8 mm, e conforme se diminui a granulometria, também diminui a porcentagem de enraizamento. Neste sentido, os resultados se mostraram positivos para a produção de mudas por propagação vegetativa. O lodo de papel pode ser uma opção muito rentável para viveiros florestais, requerendo mais estudos para uma definição mais eficiente.

Palavras-chave: Lodo de papel. Propagação vegetativa. Enraizamento. Sustentabilidade. Reciclagem. Viveiro florestal.

ABSTRACT

Paper sludge is a byproduct generated in the paper manufacturing process from cellulose fibers. Various approaches have been explored for its reuse. In this regard, it is believed that paper sludge can serve as an alternative material for seedling production, providing a useful destination for the waste, generating cost savings for the industry and seedling producers, and achieving favorable propagation responses for the evaluated species. Therefore, the present study aimed to evaluate the use of processed paper sludge from the cardboard industry as a substrate in vegetative propagation of forest species. The sludge was processed and separated into stainless steel sieves with four different particle sizes: 1, 2, 3.3, and 4.8 mm. The different particle sizes were mixed with commercial substrate at a 1:1 (v/v) ratio and placed in a 128-cell polystyrene tray. Four forest species (*Quercus acutissima*, *Eucalyptus dunni*, *Ocotea porosa*, and *Ilex paraguariensis*) were tested with the four particle sizes. The cultures were evaluated at 30 and 60 days for survival percentage, callus formation, sprouting, rooting, and the length of adventitious roots. *Quercus acutissima* showed higher rooting values in the 2 mm particle size, but without statistical difference from the 1 and 3.3 mm. particle sizes. The 4.8 mm particle size resulted in the lowest rooting percentage. On the other hand, *Eucalyptus dunni* clearly demonstrated greater adaptability to larger particle sizes, with over 60% rooting in the 4.8 mm particle size, and as the particle size decreased, the rooting percentage also decreased. The results were positive for seedling production through vegetative propagation. Paper sludge can be a highly profitable option for forest nurseries, but further studies are needed for a more efficient definition.

Keywords: Paper sludge. Sustainability. Vegetative propagation. Rooting. Recycling. Forest nursery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resíduo já separado em granulometria, seco e peneirado para uso.	20
Figura 2. Estacas de imbuia (<i>Ocotea porosa</i>), carvalho (<i>Quercus acutissima</i>), <i>Eucalyptus dunnii</i> e erva-mate (<i>Ilex paraguariensis</i>), cultivada em bandejas de alvéolos contendo substrato comercial e substrato alternativo de lodo de papelão 1:1.	21
Figura 3. Porcentagem de enraizamento das estacas de <i>Ocotea porosa</i> , <i>Quercus acutissima</i> , <i>Eucalyptus dunnii</i> e <i>Ilex paraguariensis</i> aos 30 dias de cultivo em câmara úmida.	23
Figura 4. Média dos comprimentos das raízes em estacas de <i>Ocotea porosa</i> , <i>Quercus acutissima</i> , <i>Eucalyptus Dunnii</i> e <i>Ilex paraguariensis</i> aos 30 dias de cultivo em câmara úmida.	25
Figura 5. Estacas enraizadas de <i>Quercus acutissima</i> (A) e de <i>Eucalyptus dunnii</i> (B) aos 60 dias de cultivo em diferentes granulometrias de resíduo de papelão.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Porcentagem de sobrevivência das estacas de <i>Ocotea porosa</i> , <i>Quercus acutissima</i> , <i>Eucalyptus dunni</i> e <i>Ilex paraguariensis</i> aos 30 e 60 dias de cultivo em câmara úmida, com diferentes granulometrias de lodo celulósico.	22
Tabela 2. Porcentagem de enraizamento das estacas de <i>Ocotea porosa</i> , <i>Quercus acutissima</i> , <i>Eucalyptus dunni</i> e <i>Ilex paraguariensis</i> aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.	24
Tabela 3. Média dos comprimentos das raízes das estacas de <i>Ocotea porosa</i> , <i>Quercus acutissima</i> , <i>Eucalyptus dunni</i> e <i>Ilex paraguariensis</i> aos 60 dias de cultivo em câmara.	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivo específico	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	LODO GERADO NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL.....	14
2.2	ATUAIS DESTINOS DO LODO PRIMÁRIO GERADO NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL.....	16
2.3	PRODUÇÃO DE MUDAS POR PROPAGAÇÃO VEGETATIVA	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	BENEFICIAMENTO DO LODO DE PAPEL E PREPARAÇÃO DE MISTURAS COM SUBSTRATOS	19
3.2	ESTABELECIMENTO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	20
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS...21	
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

O lodo de papel, também conhecido como resíduo de celulose, é um subproduto gerado no processo de fabricação de papel a partir de fibras de celulose. Esse resíduo consiste em uma mistura de fibras, partículas de papel, tintas, argilas e outros materiais presentes na matéria-prima utilizada. Com o aumento da preocupação ambiental e a busca por práticas sustentáveis, o aproveitamento adequado do lodo de papel tem se tornado uma questão relevante na indústria de papel (SILVA, J. et al. 2019).

Com isso, o uso do lodo de papel como uma fonte alternativa de substrato ou matéria-prima tem sido objeto de estudos e pesquisas. Diversas abordagens têm sido exploradas para a sua aplicação em diferentes setores, como agricultura, construção civil e indústria de reciclagem. A viabilidade e os benefícios dessa utilização dependem de fatores como a composição do lodo, processos de tratamento, métodos de aplicação e considerações ambientais (SILVA, J. et al. 2019).

Neste contexto, estudos têm avaliado as propriedades do lodo de papel, seu potencial de reciclagem, e os efeitos em relação aos aspectos químicos, físicos e biológicos do solo, bem como seu impacto na produtividade das culturas agrícolas. Além disso, são investigados aspectos relacionados à segurança ambiental, como possíveis contaminações e a minimização dos riscos associados ao uso desse resíduo (SILVA, J. et al. 2019).

Atualmente, as indústrias estão enfrentando pressões crescentes para melhorar suas práticas ambientais, sendo incentivadas a buscar soluções que atendam às regulamentações ambientais, enquanto mantêm seus produtos competitivos no mercado. Isso ocorre porque os padrões de controle ambiental estão se tornando cada vez mais rígidos e necessários para obtenção de certificações de qualidade e exportação dos produtos (LÉBEIS, 2003).

Além disso, o setor industrial ao perceber o elevado custo investido com o tratamento e destinação dos resíduos, vem buscando alternativas para a recuperação e o reaproveitamento dos mesmos. Desta forma, o reaproveitamento pode reduzir as despesas, bem como gerar lucro e utilidade em cima de resíduos descartáveis. No intuito de cumprir com as exigências legais, as empresas estão focando em três pontos fundamentais no que se refere à produção de resíduos: a origem, a transformação em

novos produtos e a utilização dos resíduos como matérias-primas em outras áreas industriais (MISEWA, 2002).

Para solucionar esta problemática, diversos estudos estão sendo realizados, buscando combinar o gerenciamento ambiental com o desenvolvimento industrial, a fim de garantir uma produção sustentável e minimizar os impactos ambientais negativos. Isso porque as próprias indústrias de papel e celulose geram resíduos sólidos e líquidos como parte de seu processo produtivo. Isso faz com que elas também busquem alternativas para este resíduo, visando seu máximo aproveitamento (PADILHA et al., 2005).

Acredita-se que o resíduo de papelão pode servir como um material alternativo para produção de mudas, trazendo economia ao agricultor. Além disso, o resíduo de papelão possui características que o tornam promissor para a produção de mudas, como a capacidade de retenção de água, aeração do substrato e liberação gradual de nutrientes. Essas propriedades contribuem para o desenvolvimento saudável das plantas, resultando em um processo de propagação mais eficiente e com potencial econômico para os produtores (PINHEIRO, 2008). Estudos têm sido realizados para explorar o uso do resíduo de papelão como substrato na produção de mudas de diversas espécies vegetais, evidenciando seus benefícios e seu potencial como alternativa sustentável na agricultura.

A propagação vegetativa consiste na multiplicação assexuada de tecidos, células, propágulos ou órgãos vegetais, permitindo o desenvolvimento de uma nova planta idêntica à planta-mãe. Apresenta suma importância para a produção de mudas florestais no Brasil, sua aplicabilidade é vantajosa em genótipos de apresentem alta produtividade e qualidade, visto que a deficiência em estudos sobre o sistema de reprodução inviabiliza a produção de mudas via sexuada. Assim a utilização da propagação vegetativa em viveiros permite a produção de mudas ao longo do ano (FERRARI et al., 2004).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o uso de resíduo da indústria de papelão beneficiado como substrato na propagação vegetativa de espécies florestais.

1.1.2 Objetivo específico

Testar diferentes granulometrias do resíduo na propagação de diferentes espécies florestais;

Avaliar o enraizamento de diferentes espécies florestais utilizando resíduo da indústria de papelão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LODO GERADO NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

A polpação química e mecânica são processos utilizados na indústria de celulose para a produção de polpa de celulose a partir de matéria-prima fibrosa, como madeira. Esses processos desempenham um papel fundamental na obtenção de fibras de celulose necessárias para a fabricação de papel e outros produtos de celulose (SHREVE & BRINK Jr., 2008).

A polpação química é um método que envolve a utilização de produtos químicos, como álcalis (como hidróxido de sódio e hidróxido de cálcio) ou sulfatos (como o sulfato de sódio), para desfibrar a madeira e separar a celulose das outras substâncias presentes. Esse processo é conhecido por produzir polpa de celulose de alta qualidade, com fibras longas e resistentes, adequadas para a fabricação de papel de alta qualidade e produtos de celulose especiais (SHREVE & BRINK Jr., 2008).

Esse efluente é submetido a um tratamento primário, que consiste em remover os sólidos em suspensão que possuem a capacidade de se decantarem, bem como os sólidos que possuem flutuabilidade (MATOS, 2005). Após o tratamento primário, ocorre o desaguamento dos sólidos decantados, dando origem ao lodo primário em sua forma sólida. Este lodo apresenta-se como uma massa de consistência semelhante à pasta de papel, com tonalidade acinzentada escura quando está úmido e clara quando seco. Mesmo quando submetido à prensagem, mantém uma umidade elevada (SOUZA, 1995).

Já a polpação mecânica é um processo que utiliza forças mecânicas, como trituração e refinação, para separar as fibras da madeira. Esse método é mais simples e menos intensivo em termos de produtos químicos em comparação com a polpação química. No entanto, ele resulta em fibras de celulose mais curtas e menos resistentes, sendo mais adequado para a produção de papéis de menor qualidade, como papéis de jornal e papelão (PINHEIRO, 2008).

O lodo gerado durante os processos de polpação química e mecânica consiste em resíduos sólidos que não são convertidos em fibras de celulose. Esse lodo pode conter uma variedade de componentes, como lignina, hemicelulose, resíduos de produtos químicos, materiais orgânicos e inorgânicos. Em média, o lodo primário é composto por 60% de caulim e 40% de celulose, embora esses valores possam variar dependendo das condições do processo produtivo (LÉBEIS, 2003).

Na indústria de celulose, várias estratégias são adotadas para o gerenciamento do lodo. Isso pode incluir a recuperação de produtos químicos presentes no lodo, como lignina e hemicelulose, para uso em outros processos ou como fonte de energia. Além disso, o lodo também pode ser tratado para reduzir sua toxicidade e estabilizá-lo antes da disposição final, seja através de incineração, compostagem ou uso como fertilizante em atividades agrícolas (PINHEIRO, 2008).

A pesquisa e o desenvolvimento contínuos estão em andamento para encontrar soluções mais eficientes e sustentáveis para o gerenciamento do lodo gerado na indústria de celulose. Isso inclui a busca por métodos de recuperação de produtos químicos mais eficientes, técnicas de tratamento e disposição ambientalmente corretas, bem como a exploração de aplicações alternativas para o lodo, como a propagação vegetativa (SANTOS et al., 2014).

Em resumo, a polpação química e mecânica são processos essenciais na produção de celulose, e o gerenciamento adequado do lodo gerado durante esses processos é fundamental para garantir a sustentabilidade ambiental e o cumprimento das regulamentações. A busca por soluções mais eficientes e sustentáveis no gerenciamento do lodo continua sendo um campo de estudo e inovação na indústria de celulose (PINHEIRO, 2008).

De acordo com Paiva (2007), a indústria da construção civil apresenta um enorme potencial para aproveitar resíduos industriais devido a uma série de características distintas. Essas características incluem uma ampla presença em todo o território nacional, a utilização de uma grande diversidade e quantidade de matérias-primas, a escassez de matérias-primas convencionais, diferentes níveis tecnológicos para a produção de materiais e os altos custos associados a eles, bem como o rápido crescimento urbano e o considerável déficit habitacional. Esses fatores estabelecem um nicho de mercado especial para produtos competitivos e de alta qualidade na indústria da construção civil (SILVA, 2017).

Todavia, a umidade tem se mostrado uma das principais dificuldades no manuseio do resíduo, mesmo após o processo de desaguamento, pois ele ainda apresenta um alto teor de umidade, e que conforme mencionado por Lébeis (2003), o lodo primário gerado possui um teor de umidade em torno de 65%, o que resulta em um aumento volumétrico significativo do resíduo.

2.2 ATUAIS DESTINOS DO LODO PRIMÁRIO GERADO NA INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Atualmente, existe uma crescente preocupação em relação à destinação do lodo primário gerado na indústria de celulose e papel. Essa preocupação surge devido ao alto volume de lodo gerado, o que pode representar um desafio para as empresas em encontrar soluções adequadas para lidar com esse problema. Embora seja classificado como um resíduo comercial, o lodo tem um impacto significativo e indesejável no desenvolvimento da indústria de papel. Conforme mencionado por Lébeis (2003). O Brasil ocupa o nono lugar na produção mundial de papel, correspondendo a produção de 10,4 milhões de toneladas, somente para a produção para fins sanitários correspondem a 2,4 milhões de toneladas, e em relação a produção de lodo, corresponde a aproximadamente 1% da produção total de papel, evidenciando a magnitude desse problema (ANGUTI, 2017).

O destino mais comum para o lodo primário gerado nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) das indústrias de celulose e papel é o aterro sanitário. No entanto, essa opção de destinação é pouco sustentável e muito onerosa. Com o aumento contínuo do volume de resíduos nas fábricas, estão sendo realizadas pesquisas para buscar alternativas de utilização do lodo, especialmente como matéria-prima em outras indústrias. A construção civil e a agricultura são os setores que apresentam maior potencial para aproveitar o lodo primário das ETEs das fábricas de papel. Isso se deve ao alto consumo de matéria-prima na construção civil e à quantidade de matéria orgânica presente no lodo, o que o torna uma opção viável nessas atividades (LEBIS, 2003). Segundo Cusidó (2015), a produção de tijolos de barro com a incorporação de resíduos de lama de papel é uma solução viável para a redução do volume produzido por indústrias papeleira, se tornando matéria-prima para a produção de cerâmico, reduzindo sua destinação para aterros sanitários e possíveis contaminações ambientais.

Por fim, foi também analisada a experiência obtida após mais de 10 anos de produção industrial deste novo produto cerâmico misto. Esta análise permitiu confirmar que a produção de tijolos de barro com incorporação de resíduos de lamas de papel é uma solução viável do ponto de vista técnico. Como resultado fundamental, este facto contribuiu para reduzir em grande parte a quantidade de lamas produzidas pela indústria papeleira espanhola que acabam em aterros sanitários.

Outra possibilidade, é a utilização do lodo (resíduo celulósico) em plantios florestais, aproveitando suas características benéficas para os atributos químicos, físicos

e biológicos do solo. Isso contribui positivamente para o desenvolvimento das árvores e resulta em ganhos significativos na produção de madeira. No entanto, é recomendado realizar uma etapa de humificação (compostagem) do material antes de aplicá-lo no solo. Essa prática permite a decomposição controlada do lodo, transformando-o em um composto estável e enriquecido, o que potencializa seus efeitos positivos no solo e na cultura florestal (COSTA et al., 2001).

Houve um aumento na matéria orgânica, nas bases trocáveis, na saturação de bases e na capacidade de troca catiônica, além de uma redução nos níveis de alumínio. Em termos de atributos físicos, o lodo favoreceu a capacidade de retenção de água, a porosidade total, a capacidade de campo e aumentou o teor de água disponível no solo. Também teve efeitos sobre a biologia do solo, aumentando a quantidade de ácaros e colêmbolos, que fazem parte da mesofauna edáfica (RODRIGUES, 2004). O uso do lodo no solo demonstra potencial promissor devido à sua capacidade de retenção de água e alta porosidade. Especialmente em solos degradados pode ser utilizado trazendo efeitos para a macroporosidade, porosidade total, estabilidade de agregados e densidade (SIQUEIRA et al., 2017).

O uso do lodo no solo demonstra potencial promissor devido à sua capacidade de retenção de água e alta porosidade, que contribuem para o equilíbrio da macro e microporosidade do solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

2.3 PRODUÇÃO DE MUDAS POR PROPAGAÇÃO VEGETATIVA

A propagação vegetativa é um método de reprodução assexuada que envolve a multiplicação de partes das plantas, como células, tecidos, órgãos ou propágulos, resultando em indivíduos que geralmente são geneticamente idênticos à planta matriz. Essa técnica tem ganhado crescente aceitação globalmente, devido à sua eficácia em preservar as melhorias genéticas obtidas por meio de programas de melhoramento. Existem diversos métodos disponíveis para a propagação de plantas, dos quais se destacam a estaquia, a enxertia, a micropropagação e a mergulhia de cepa (WENDLING, 2003).

A estaquia é, ainda, a técnica da qual se têm o maior domínio e conhecimento científico, sendo que a miniestaquia é a técnica mais utilizada, que utiliza a brotações de plantas propagadas via assexuada ou através da via seminal, que permite a conservação de plantas com as características desejáveis. Porém a fatores que podem influenciar na

produção de estaquias, sendo que para que a técnica seja eficaz é necessário um bom desenvolvimento do sistema radicial, que será influenciada por características genéticas, qualidade de propágulos, entre outros, permitindo assim, o enraizamento eficaz do propágulo (NEGISH et al., 2014; GAZANNA, 2019).

A formação de raízes durante o processo de propagação vegetativa é influenciada por diversos fatores, tanto internos quanto externos. Alguns desses fatores incluem o estado nutricional e fitossanitário da planta matriz, o potencial genético, o equilíbrio hormonal, o momento da realização do processo, bem como a temperatura, umidade ambiental e a qualidade do extrato (HARTMANN., 2011).

Assim como Kämpf (2000) recomenda, o substrato de lodo de papelão deve apresentar algumas características de porosidade adequadas para proporcionar um bom desenvolvimento das raízes das mudas. A presença de espaços vazios no substrato permite a circulação de ar e a troca de gases, fornecendo uma adequada aeração às raízes. Isso é essencial para facilitar a absorção de oxigênio e a liberação de dióxido de carbono, promovendo um ambiente propício ao crescimento saudável das plantas.

Além disso, a porosidade do substrato influencia a retenção de água, evitando o encharcamento e auxiliando no fornecimento adequado de umidade às raízes. Portanto, a seleção e adequação das características de porosidade do substrato de lodo de papelão podem apresentar ótimos resultados na propagação vegetativa das espécies florestais, já que favorece o desenvolvimento de plantas (PINHEIRO, 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido no viveiro de pesquisas da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus de Curitibanos, entre os meses de janeiro e maio de 2023. Este município localiza-se na zona da Mata Atlântica do estado de Santa Catarina, à uma altitude de 987 m e situando-se nas coordenadas Latitude: 27° 16' 60" Sul, Longitude: 50° 35' 7" Oeste. O clima é subtropical úmido (Cfa) de acordo com a Classificação climática de Köppen-Geiger, onde o verão é fresco, com frio predominante durante a maior parte do ano, inverno rigoroso, tendo geadas, e com chuva em praticamente todas as estações (COLLAÇO, 2003).

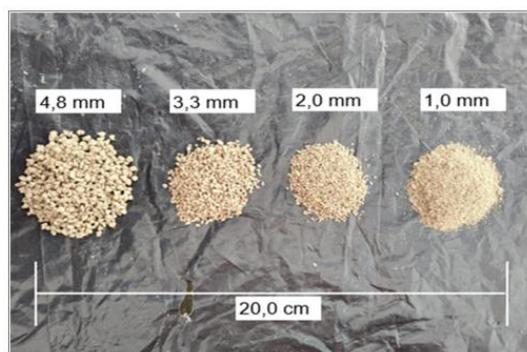
3.1 BENEFICIAMENTO DO LODO DE PAPEL E PREPARAÇÃO DE MISTURAS COM SUBSTRATOS

O resíduo foi fornecido pela empresa de produção de papelão Marombas Indústria e Comércio de Madeira e Papelão Ltda, localizada no município de Curitibanos, SC. Este resíduo é advindo da produção de papelão onde a base da produção é a madeira de pinus e aparas de araucária (polpação mecânica) e fardos de papelão advindas de reciclagem, onde esses papelões possuem traqueídeos mais longos do que as fibras de eucalipto, tendo assim um produto com muito mais resistência.

Para utilização no presente estudo, o resíduo foi beneficiado, sendo mantido espalhado sobre lonas durante, aproximadamente, dez dias em casa de vegetação, em temperatura ambiente e sem irrigação. A cada dois dias foi feito uma desagregação manual, até atingir estado completamente seco, seguido de separação em peneiras de inox com quatro diferentes granulometrias, sendo elas de 1; 2; 3,3 e 4,8mm (Figura 1) (BONAFÉ et al., 2022).

Após, as diferentes granulometrias foram misturadas em proporções iguais com substrato comercial a base de casca de pinus (v/v) e dispostas em bandejas de isopor de 128 alvéolos para propagação dos diferentes cultivos.

Figura 1. Resíduo já separado em granulometria, seco e peneirado para uso.



Fonte: BONAFÉ et al.,2022.

3.2 ESTABELECIMENTO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Aos 31 dias do mês de janeiro de 2023, o material vegetal foi coletado para instalação do experimento. Para as espécies imbuia (*Ocotea porosa*) e carvalho (*Quercus acutissima*) foram utilizadas a parte aérea de mudas produzidas por sementes com, aproximadamente, 10 meses e mantidas em casa de vegetação com irrigação automatizada. Para erva-mate (*Ilex paraguariensis*) foram utilizadas as brotações formadas em minicepas mantidas em minijardim clonal. Já para o eucalipto (*Eucalyptus dunnii*) foram coletados brotos epicórmicos formados em tocos de um povoamento na Área Experimental Florestal da UFSC, sendo os mesmos retirados com auxílio de tesoura de poda, os quais foram devidamente identificados e armazenados em caixas térmicas com água, de modo a evitar a desidratação no transporte até o local de implantação do experimento.

Para a implantação do experimento, foram seccionadas estacas de comprimento variando entre 1-2 cm e com 50% da área foliar, para reduzir as perdas por desidratação. Durante a confecção das estacas, estas foram mantidas em bandejas contendo água até o momento da implantação. Para ambas espécies, as estacas foram tratadas com solução hidroalcoólica de ácido indolbutírico (AIB) com concentração de 2000 mg L⁻¹, por 10 segundos.

Após a aplicação do AIB, as estacas foram acondicionadas em bandejas de isopor contendo diferentes composições de substratos com diferentes granulometrias de resíduo, conforme descrito anteriormente. As bandejas foram mantidas em bancadas metálicas em câmara úmida com temperatura em torno de 25 °C e umidade relativa do ar

acima de 85%, controlada por irrigação por nebulização. O sistema de nebulização foi comandado por um controlador digital.

O controle de fungos patogênicos e pragas foi feito por meio de métodos preventivos relacionados à limpeza da casa de vegetação e ao manejo do jardim clonal.

Aos 30 e 60 dias os cultivos, as estacas foram avaliadas quanto à porcentagem de sobrevivência, de calo, de brotação e de enraizamento, bem como o comprimento das raízes adventícias. Para as análises de calos, foram observados na base das estacas a presença de células em multiplicação formando estruturas arredondadas, mostrando assim, existência de calos.

Figura 2. Estacas de imbuia (*Ocotea porosa*), carvalho (*Quercus acutissima*), *Eucalyptus dunni* e erva-mate (*Ilex paraguariensis*), cultivada em bandejas de alvéolos contendo substrato comercial e substrato alternativo de lodo de papelão 1:1.



Fonte: Autor, 2023.

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo esse um fatorial 4 x 4 (granulometria e espécie) com 5 repetições de 4 estacas cada. As análises foram realizadas com o auxílio do programa RStudio e para a interpretação dos resultados foi realizada a análise de variância. As médias dos tratamentos com diferenças significativas ($p < 0,05$) foram comparadas pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações das estacas realizadas aos 30 e 60 dias de cultivo constataram que houve interação significativa dos dois fatores (granulometria e espécie) para a porcentagem de sobrevivência (Tabela 1). As espécies *Ocotea porosa* e *Quercus acutissima* apresentaram elevadas porcentagens de sobrevivência, independente da granulometria do resíduo de papel, com médias superiores a 90% e 85%, respectivamente. Nas estacas de *Eucalyptus dunni*, verificou-se que as granulometrias maiores proporcionaram os maiores valores de sobrevivência, sendo observada média de 80% de sobrevivência na granulometria de 4,8mm e 70% na granulometria de 3,3mm, não diferindo estatisticamente entre si. Já para *Ilex paraguariensis*, verificou-se que a espécie foi a de maior dificuldade na sobrevivência em todas as granulometrias avaliadas através da técnica de propagação (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de sobrevivência das estacas de *Ocotea porosa*, *Quercus acutissima*, *Eucalyptus dunni* e *Ilex paraguariensis* aos 30 e 60 dias de cultivo em câmara úmida, com diferentes granulometrias de lodo celulósico.

Granulometria	<i>Ocotea porosa</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Eucalyptus dunni</i>	<i>Ilex paraguariensis</i>
30 dias				
1	100,0 aA	95,0 aA	25,0 bB	55,0 aB
2	90,0 aA	85,0 aA	35,0 bB	50,0 aB
3,3	100,0 aA	90,0 aA	70,0 aA	30,0 aB
4,8	100,0 aA	85,0 aA	80,0 aA	35,0 aB
Média	97,5	88,7	52,5	42,5
CV (%)	26,57			
60 Dias				
1	70,0 aAB	80,0 aA	25,0 cC	35,0 aBC
2	90,0 aA	85,0 aAB	35,0 bcC	50,0 aBC
3,3	100,0 aA	90,0 aA	70,0 abA	30,0 aB
4,8	90,0 aA	65,0 aAB	80,0 aA	35,0 aB
Média	87,5	80,0	85,5	37,5
CV (%)	32,6			

*Valores seguidos de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

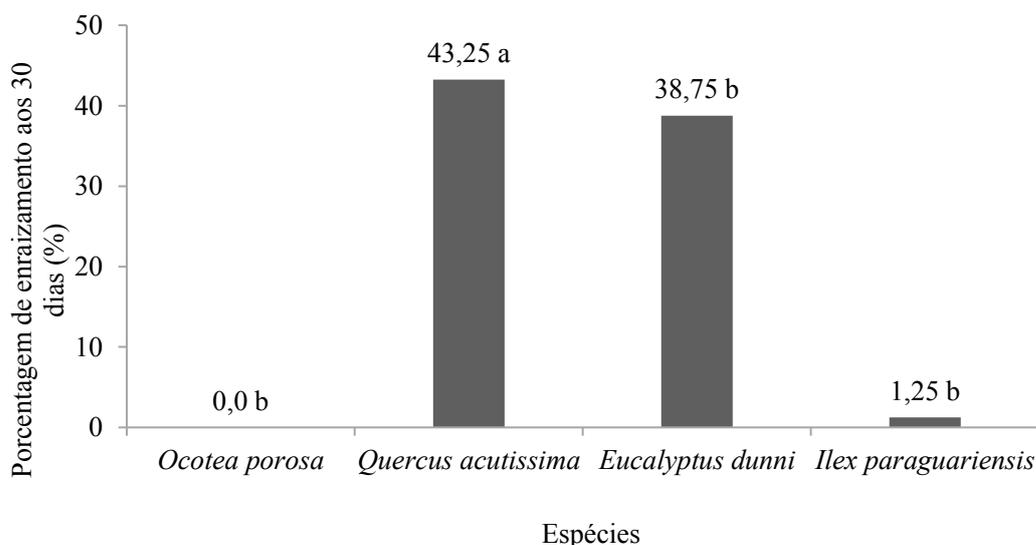
Fonte: Autor, 2023.

Aos 60 dias de cultivo foi observada mesma tendência de resposta para a sobrevivência nas espécies *O. porosa* e *Q. acutissima*, em que as diferentes granulometrias não influenciaram de maneira significativa na sobrevivência, as quais mantiveram altas porcentagens. Por outro lado, as espécies *E. dunnii* e *I. paraguariensis*, apresentaram respostas inferiores de sobrevivência tanto em relação às outras espécies, como em relação ao tempo de cultivo. Para *E. dunnii*, também foi observada redução da sobrevivência à medida que granulometria foi reduzindo. Segundo Fermino (2003), esta é uma resposta esperada, pois o tamanho das partículas tem influência direta sobre o volume de água e ar no substrato, uma vez que, quando se tem proporções maiores de granulometrias, o espaço entre elas aumenta a aeração, enquanto que quando a granulometria é menor, os poros estão fechados, aumentando a microporosidade e diminuindo a macroporosidade.

Não houve a formação de calos ou brotos nas estacas das quatro espécies avaliadas, tanto aos 30, quanto aos 60 dias de avaliação.

Para porcentagem de enraizamento, aos 30 dias não houve interação significativa entre os tratamentos testados, apenas a espécie *Ocotea porosa* mostrou influência para esta resposta (Figura 3). Já aos 60 dias, foi observada interação significativa, em que as estacas de *Q. acutissima* tiveram mais de 40% de enraizamento, superior as demais espécies.

Figura 3. Porcentagem de enraizamento das estacas de *Ocotea porosa*, *Quercus acutissima*, *Eucalyptus dunnii* e *Ilex paraguariensis* aos 30 dias de cultivo em câmara úmida.



*Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor, 2023.

Já aos 60 dias, foi observada interação significativa, em que as estacas de *Quercus acutissima* tiveram mais de 40% de enraizamento, superior as demais espécies. Observou-se que, mesmo havendo alta porcentagem de sobrevivência para *Ocotea porosa*, não houve enraizamento. Para *Q. acutissima* foi a espécie que apresentou maior eficiência no enraizamento, com maiores resultados para a granulometria de 2 mm, mas sem diferir estatisticamente das granulometrias de 1 e 3,3 mm (Tabela 2). Já a espécie *Eucalyptus dunnii* se mostrou, claramente, a mais adaptável a maior granulometria, mostrando um resultado superior a 60% das estacas enraizadas na granulometria de 4,8 mm, sendo que, à medida que diminui a granulometria, também diminui a porcentagem de enraizamento. Para *Ilex paraguariensis*, independente da granulometria, não houve enraizamento, exceto para a granulometria de 1 mm, com apenas 5% de enraizamento, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Porcentagem de enraizamento das estacas de *Ocotea porosa*, *Quercus acutissima*, *Eucalyptus dunnii* e *Ilex paraguariensis* aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.

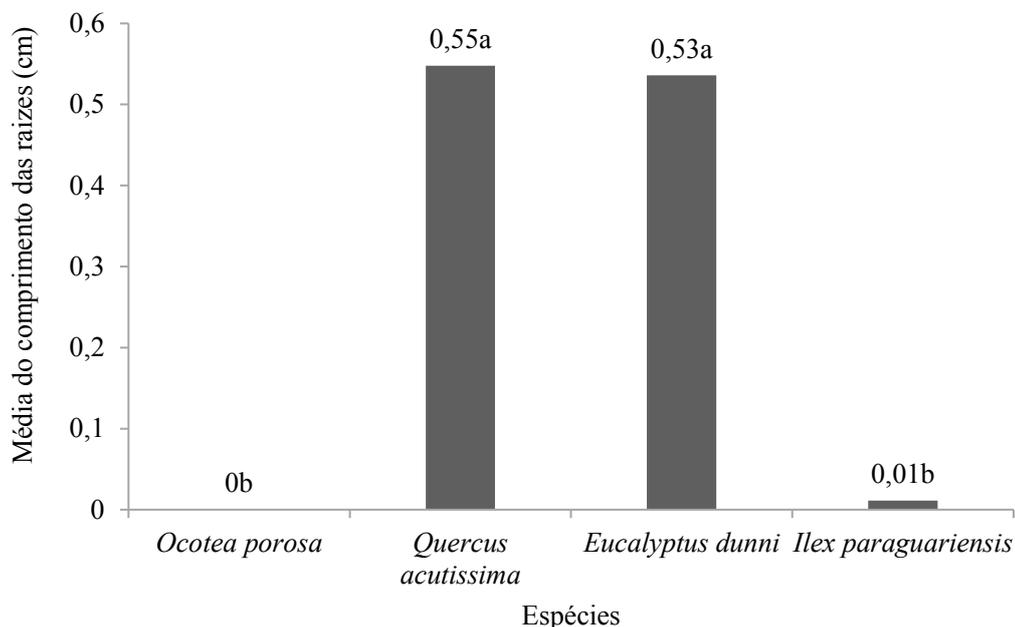
Granulometria	<i>Ocotea porosa</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>	<i>Ilex paraguariensis</i>
1	0,0 aB	50,0 abA	15,0 bB	5,0 aB
2	0,0 aB	55,0 aA	35,0 abA	0,0 aB
3,3	0,0 aB	45,0 abA	55,0 aA	0,0 aB
4,8	0,0 aB	20,0 bB	60,0 aA	0,0 aB
Média	0,0	42,5	41,25	1,25
CV (%)	80,59 %			

*Valores seguidos de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor, 2023.

Quanto ao comprimento das raízes aos 30 dias de cultivo, não houve interação significativa entre a granulometria e a espécie, apenas influência da espécie, em que as estaca de *Quercus acutissima* e *Eucalyptus dunnii* tiveram medias de raízes acima de 0,5cm, diferindo estatisticamente das demais espécies (Figura 4).

Figura 4. Média dos comprimentos das raízes em estacas de *Ocotea porosa*, *Quercus acutissima*, *Eucalyptus Dunni* e *Ilex paraguariensis* aos 30 dias de cultivo em câmara úmida.



*Valores seguidos de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor, 2023.

Já para os dados analisados aos 60 dias, houve interação significativa entre a granulometria e a espécie. Observou-se que, mesmo havendo alta porcentagem de sobrevivência para *Ocotea porosa*, não houve enraizamento, sendo o mesmo observado para *Ilex paraguariensis*. *Quercus acutissima* foi a espécie que demonstrou maior eficiência no enraizamento, apresentando valores significativos para o comprimento das raízes, tendo maiores resultados para a granulometria de 2 mm, mas sem diferir estatisticamente das demais granulometrias (Figura 5A). Já a granulometria de 4,8 mm resultou na menor média de comprimento de raízes para esta espécie (Tabela 3).

Tabela 3. Média dos comprimentos das raízes das estacas de *Ocotea porosa*, *Quercus acutissima*, *Eucalyptus dunnii* e *Ilex paraguariensis* aos 60 dias de cultivo em câmara.

Granulometria	<i>Ocotea porosa</i>	<i>Quercus acutissima</i>	<i>Eucalyptus dunnii</i>	<i>Ilex paraguariensis</i>
1	0,00 aB	1,28 aA	0,24 bB	0,05 aB
2	0,00 aB	1,59 aA	1,32 aA	0,0 aB
3,3	0,00 aB	1,03 aA	1,75 aA	0,0 aB
4,8	0,00 aB	0,95 aA	1,56 aA	0,0 aB
Média	0,0	1,21	1,22	0,0125
CV (%)	22,03			

*Valores seguidos de mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Autor, 2023.

Já a espécie *Eucalyptus dunnii* se mostrou, claramente, amais adaptável a maiores granulometrias, mostrando melhores resultados para as granulometrias 3,3 e 4,8 mm, com valores de 1,75 e 1,56 cm, respectivamente (Figura 5B). Para *Ilex paraguariensis*, independente da granulometria, o comprimento das raízes foi muito baixo ou não ocorreu, como mostra a Tabela 3.

Figura 5. Estacas enraizadas de *Quercus acutissima* (A) e de *Eucalyptus dunnii* (B) aos 60 dias de cultivo em diferentes granulometrias de resíduo de papelão.



Fonte: Autor, 2023.

Com base nos resultados observados, acredita-se que o beneficiamento do lodo e transformação deste em um substrato alternativo para produção de mudas pode ser uma estratégia eficiente para destinação do resíduo e geração de economia no processo produtivo em viveiros florestais. Entretanto, salienta-se que uma lacuna a ser preenchida é um conhecimento mais aprofundado acerca das propriedades físicas e químicas desse substrato alternativo, o que não pode ser realizado no presente trabalho por questões de ordem financeira.

No entanto, é importante realizar estudos adicionais para avaliar seu desempenho em diferentes espécies vegetais e condições de cultivo, uma vez que as espécies florestais testadas neste trabalho mostram diferentes reações nas diferentes granulometrias, a exemplo o *E. dunni* que se mostrou mais eficiente nas granulometrias maiores e o carvalho em granulometrias menores, a fim de maximizar seus benefícios e garantir sua viabilidade econômica

A utilização desse substrato alternativo enfrenta desafios, uma vez que os estudos nessa área ainda estão em estágio inicial. É necessário um avanço significativo, considerando que existem muitos resíduos provenientes da indústria, da agricultura e de outras fontes que possuem potencial para essa finalidade.

5 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos nesse trabalho, podemos concluir que o beneficiamento de resíduo industrial de papelão pode ser uma fonte viável para uso na propagação vegetativa de espécies florestais, sendo o substrato uma fonte alternativa de no cultivo de plantas em viveiros, demonstrando ser eficiente na promoção do crescimento saudável das mudas.

REFERÊNCIAS

- ANGUTI Estatística. ANG03 - Papéis de Fins Sanitários - Informativo mensal, <http://www.anguti.com.br/solucoes> Acesso em agosto de 2017.
- BONAFÉ, F. T. et al. **BENEFICIAMENTO DO LODO DE PAPELÃO VISANDO A PRODUÇÃO DE SUBSTRATO ALTERNATIVO**. In: ANAIS DA II MOSTRA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UFSC, 2022, Curitiba. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: <https://proceedings.science/iimostracientificaufsc-2022/trabalhos/beneficiamento-do-lodo-de-papelao-visando-a-producao-de-substrato-alternativo?lang=pt-br> Acesso em: 17 maio. 2023.
- COLLAÇO, M. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional -SDR. **Caracterização Regional**. Curitiba: Governo de Santa Catarina, 2003. 34 p. Disponível em: http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/diagnostico/CURITIBANOS.pdf. Acesso em: 08 jun. 2023.
- CUSIDÓ, J. A., et al., “Incorporation of paper sludge in clay brick formulation: Ten years of industrial experience”, *Applied Clay Science*, v. 108, pp. 191-198, 2015.
- COSTA, A. S. V.; RIBEIRO, J. M. O.; GALVÃO, E. R.; LOVO, I. C.; F. JÚNIOR, F. **J. Efeito do resíduo de celulose incorporado ao solo no desenvolvimento das plantas de milho (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*)**. In: Congresso Anual de Celulose e Papel, ABTCP. São Paulo, 2001, 12p.
- FERRARI, M. P; GROSSI, F.; WENDLING, I. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos, n. 94. 2004. 22 p.
- FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos**. 89p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- GAZANNA, D. **Seleção entre e dentro de progênies de erva-mate para o enraizamento adventício**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. SANTA MARIA – RS, 2019.
- KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254 p.
- LÉBEIS, V. D. L., **Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas**. 96p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais**. Curso sobre Tratamento de resíduos agroindustriais para: Fundação Estadual do Meio Ambiente. Viçosa, 2005, 34p.

MISAWA, C. **Aproveitamento de resíduos sólidos em fábrica de celulose e papel.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG, 2002.

NEGISHI, N. et al. **Hormone level analysis on adventitious root formation in *Eucalyptus globulus*.** *New Forest*, [s. l.], v. 45, p. 577-587, 2014.

PADILHA, A. C. M., LEAVY, S., SAMPAIO, A., JERÔNIMO, F. B. **Gestão ambiental de resíduos da produção na Perdigão Agroindustrial S/A - Unidade Industrial de Serafina Corrêa – RS.** CONGRESSO DA SOBER, 43º, 2005, Ribeirão Preto.

PAIVA, S. N. **Compósito cimento-lodo de ETE de indústria de papel para aplicação na construção civil.** 2007. 111 f. Dissertação - Curso de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <
<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-12062007-105628/pt-br.php> >
Acesso em: 19 abr. 2023.

PINHEIRO, R. M. Reciclagem do lodo primário da estação de tratamento de efluentes de indústria de papel em cerâmica argilosa. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

RODRIGUES, C. M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L.** 109p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

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**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014.

SILVA, N. **Caracterização e avaliação da ecotoxicidade de resíduos de indústrias de papelão.** 2017. TCC (Curso de Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos – SC, 2017.

SILVA, J. et al. **Utilização de lodo de papel de indústria para agricultura sustentável: uma revisão.** *Waste Management & Research*, v. 37, n. 9, p. 945-961, 2019.

SIQUEIRA, D. P.; BARROSO, D. G.; MARCIANO, C. R. Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal. **Revista Vértices**, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 171–186, 2017. DOI: 10.19180/1809-2667.v19n32017p171-186. Disponível em:
<https://editoraessentia.iff.edu.br/index.php/vertices/article/view/7587>. Acesso em: 10 jun. 2023.

SOUZA, C.M.S. **Aplicação direta do lodo da indústria de celulose e papel no solo.** 111p. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 1995.

SHREVE, R. N.; BRINK Jr., A., J. **Indústria de processos químicos**. Editora Guanabara Koogan S.A, Rio de Janeiro - RJ, 2008.

WENDLING, I. **Propagação vegetativa**. In: I Semana do Estudante Universitario, Florestas e Meio Ambiente. 2003. Colombo. Anais... Colombo – Paraná: Embrapa Florestas. 2003. 6p.