

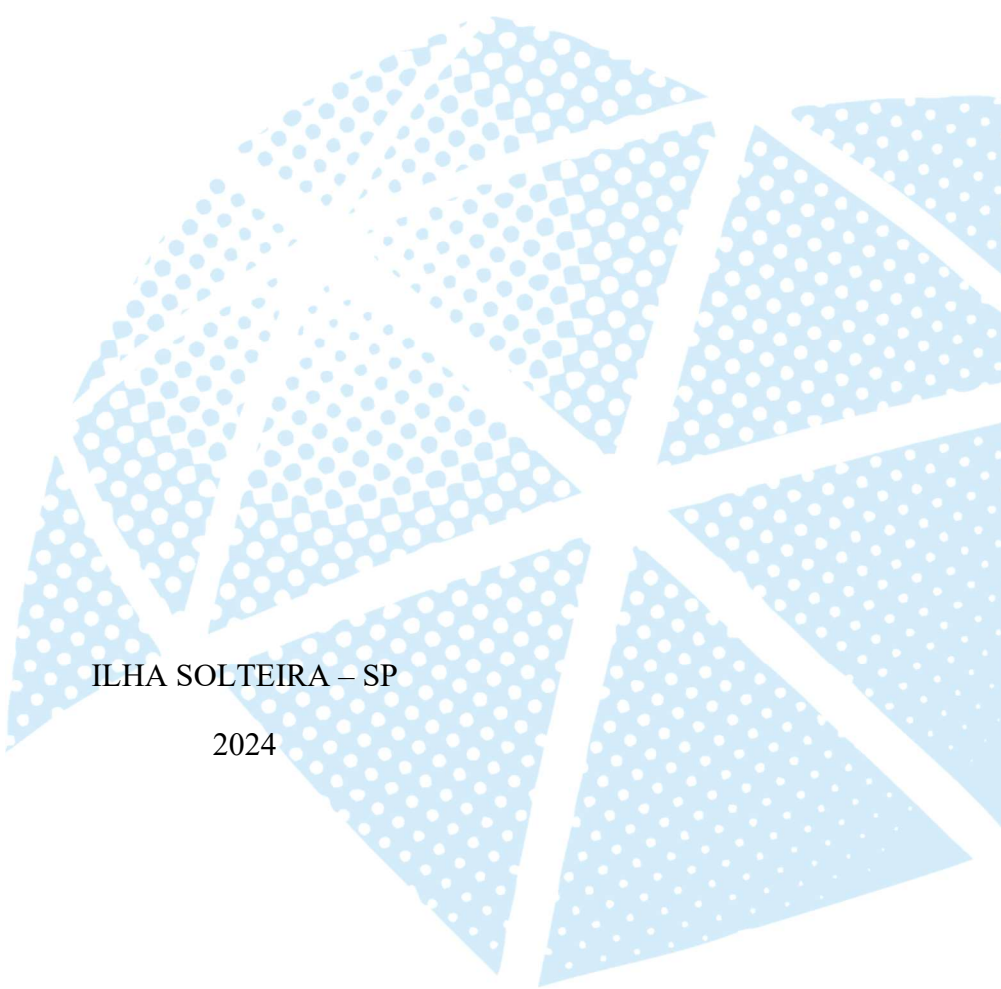
**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LUCAS SELEGUIN DE OLIVEIRA

**RESÍDUOS DE CELULOSE: POTENCIAL AGRÍCOLA E SUSTENTÁVEL PARA
CULTIVO DE EUCALIPTO EM SOLO ARENOSO DA REGIÃO DE CERRADO**

ILHA SOLTEIRA – SP

2024



LUCAS SELEGUIN DE OLIVEIRA

**RESÍDUOS DE CELULOSE: POTENCIAL AGRÍCOLA E SUSTENTÁVEL PARA
CULTIVO DE EUCALIPTO EM SOLO ARENOSO DA REGIÃO DE CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à
Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, para
obtenção do título de Grau acadêmico de
Bacharel em Engenharia Agrônômica

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Carvalho
Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Prof. Dr. Rodolfo de Niro Gazola

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- Oliveira, Lucas Seleguin de.
- O48r Resíduos de celulose: potencial agrícola e sustentável para cultivo de eucalipto em solo arenoso da região de cerrado / Lucas Seleguin de Oliveira. - Ilha Solteira: [s.n.], 2024 60 f.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024
- Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Coorientador: Rodolfo de Niro Gazola
Inclui bibliografia
1. Eucalyptus. 2. Grits. 3. Dregs. 4. Lama de cal. 5. Cinzas de caldeira . 6. Reciclagem de nutrientes.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Resíduos de celulose: Potencial agrícola e sustentável para cultivo de eucalipto em solo arenoso da Região de Cerrado

ALUNO: *Lucas Seleguin de Oliveira*

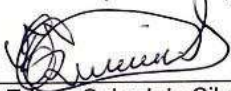
RA: *201050145*

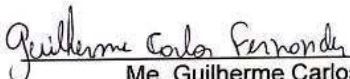
ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

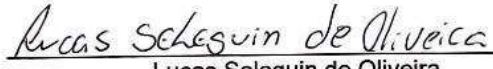
Aprovado ☒ - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: *9,8*

Comissão Examinadora:


Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)


Dr. Edson Cabral da Silva


Me. Guilherme Carlos Fernandes


Lucas Seleguin de Oliveira

Ilha Solteira, 13 de dezembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial, por iluminar meus caminhos, por conceder-me saúde e força para superar os desafios, e permitir que eu alcançasse mais esta importante conquista.

À minha família, pelo suporte incondicional e apoio durante toda a minha jornada. Vocês foram fundamentais para que eu concluísse o bacharelado em Engenharia Agrônoma.

Ao meu orientador e coorientador, que deram todo apoio e suporte para a conclusão deste trabalho.

À banca examinadora, por disponibilizarem seu tempo e conhecimento para analisar este trabalho e contribuírem para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos técnicos dos Laboratórios de Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo da Unesp de Ilha Solteira, pela paciência, profissionalismo e assistência durante as análises realizadas neste projeto, garantindo a qualidade e a precisão dos resultados.

À Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira (FEPISA), pela concessão da bolsa, que foi fundamental para o desenvolvimento deste projeto.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, minha mais sincera gratidão.

RESUMO

A Cultura do Eucalipto é de grande importância para as indústrias de papel e Celulose Brasileiras, pois é a principal fonte de suprimento de madeira para este setor. A produção e a demanda global de papel e celulose estão em constante crescimento, o que acaba por gerar uma quantidade significativa de resíduos celulósicos. Diante disso, objetivou-se avaliar o uso de dois compostos gerados a partir da mistura dos resíduos (Formulações), como: Dregs, Grits, Cinzas (DGC) e Dregs, Lama de cal e Cinzas (DLC), com a finalidade de averiguar a eficiência agrônômica dos compostos como fonte de nutrientes para mudas de eucalipto. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Campus II (Agronomia) da UNESP – Ilha Solteira, em blocos inteiramente casualizados com dez tratamentos e quatro repetições (40 parcelas). Os Tratamentos foram: T1 (Testemunha); T2 (Adubação mineral padrão da empresa); T3, T4, T5 e T6 (5,5; 4,1; 3,3 e 2,8 t ha⁻¹ do composto Dregs-Grits-Cinzas 6:1:5) e T7, T8, T9 e T10 (8,5; 6,4; 5,1 e 4,3 t ha⁻¹ do composto Dregs-Lama de cal-Cinzas 1:2:1). Foram feitas análises como: atributos químicos do solo; altura de planta; diâmetro da base; ICF, produção de matéria seca e acúmulo de macro e micro nutriente na parte aérea. O composto DGC se destacou em comparação ao DLC, à adubação mineral padrão da empresa e ao tratamento controle. O mesmo, possui uma mistura bem equilibrada de resíduos e contém uma quantidade significativa de cinzas de biomassa de eucalipto, tornando-o mais nutricionalmente equilibrado em comparação com os dregs e grits. Isso resultou em um composto com proporção adequada de Ca:Mg e Ca:K.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, Cinzas de caldeira, Dregs, Grits, Lama de cal, reciclagem de nutrientes

ABSTRACT

The cultivation of eucalyptus is of great importance to the Brazilian paper and pulp industries, as it serves as the primary source of wood supply for this sector. Global production and demand for paper and pulp are constantly increasing, which generates a significant amount of cellulosic residues. In this context, the objective was to evaluate the use of two compounds generated from the mixture of residues (formulations), namely: Dregs, Grits, Ashes (DGC) and Dregs, Lime Mud, Ashes (DLC), to assess their agronomic efficiency as a source of nutrients for eucalyptus seedlings. The experiment was conducted in a greenhouse at Campus II (Agronomy) of UNESP – Ilha Solteira, using a completely randomized block design with ten treatments and four replications (40 plots). The treatments were: T1 (Control); T2 (Standard mineral fertilization from the company); T3, T4, T5, and T6 (5.5; 4.1; 3.3; and 2.8 t ha⁻¹ of the Dregs-Grits-Ashes compound in a 6:1:5 ratio), and T7, T8, T9, and T10 (8.5; 6.4; 5.1; and 4.3 t ha⁻¹ of the Dregs-Lime Mud-Ashes compound in a 1:2:1 ratio). Analyses performed included soil chemical attributes, plant height, base diameter, ICF (chlorophyll index), dry matter production, and macro- and micronutrient accumulation in the aerial part. The DGC compound outperformed the DLC compound, the company's standard mineral fertilization, and the control treatment. The DGC compound has a well-balanced mixture of residues and contains a significant amount of eucalyptus biomass ash, making it nutritionally more balanced compared to dregs and grits. This resulted in a compound with an adequate Ca:Mg and Ca:K ratio

Keywords: *Eucalyptus*, boiler ash, dregs, grits, lime mud, nutrient recycling.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Eldorado Brasil: Produção de Resíduos e Suas Características	3
2	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	O Eucalipto.....	4
2.2	Dregs	5
2.3	Grits.....	6
2.4	Lama de Cal	6
2.5	Cinzas de Caldeira.....	7
3	RELEVÂNCIA DO TEMA	7
4	MATERIAL E MÉTODOS	9
4.1	Descrição Do Experimento	9
4.2	Avaliações	14
4.3	Análise Estatística	14
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5.1.1	Considerações gerais	15
5.1.2	Composto 1 - DGC 6:1:5	16
5.1.3	Composto 2 - DLC 1:2:1	25
6	CONCLUSÕES	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	37
	ANEXO I -	43
	ANEXO II -	51
	ANEXO III -	52

1 INTRODUÇÃO

Dentre as espécies arbóreas cultivadas nas regiões tropicais, o eucalipto (*Eucalyptus*) destaca-se por sua grande capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas e de solo (Portal Embrapa, 2023). Trata-se de uma espécie de múltiplos usos, cultivada para fins diversos, como produção de papel, celulose, lenha, carvão e madeira para serraria. Sua fibra é considerada superior às demais disponíveis no mercado devido à maior consistência e uniformidade, o que contribui para melhorar a opacidade, formação e capacidade de impressão do papel. Além disso, a celulose de eucalipto possui grande aceitação em mercados como Europa, Ásia e América do Norte, especialmente para a produção de papéis sanitários e para impressão e escrita, graças às suas excelentes propriedades (Suzano, 2009).

O Brasil ocupa a segunda posição entre os maiores produtores globais de celulose e a oitava entre os maiores produtores de papel, demonstrando a importância desse setor para o país (IBÁ, 2020). O cultivo é feito em larga escala em diversas regiões do país, gerando empregos e renda para a população. Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021), o Brasil possui 9,5 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 7,3 milhões são dedicados ao cultivo de eucalipto, alcançando uma produtividade média de $39 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Somente em 2019 a produção de celulose no Brasil foi de 19.691 mil toneladas (IBÁ, 2021), estimasse que para cada 100 toneladas de celulose, é gerado 48 toneladas de resíduos. Portanto, fica inviável a destinação para aterros sanitários por conta do alto custo de implantação manuseio dos resíduos e o risco de contaminação. Este problema gerado pelo setor é significativo, sendo considerados um problema de ordem ambiental (Bellote et. al, 1998). Isto torna a indústria de papel e celulose a sexta maior poluidora do mundo (Ugurlu *et al.*, 2008).

Os resíduos das indústrias florestais são sobras que ocorrem do processamento de obtenção de celulose “Kraft” que não são incorporadas ao produto final. Na produção de celulose são considerados resíduos as cinzas de caldeira da queima de biomassa, cascas, lama de cal, dregs, grits, entre outros (Bellote *et al.*, 1998).

De acordo com Nolasco *et al.* (2000) dentre os resíduos produzidos. As cascas representam o maior percentual (24%), seguido de lama de cal (22%), lodos primário e ativado (17%), “dregs e grits” (14%) e cinzas de caldeira de queima de biomassa (11%).

Estes subprodutos gerados pela indústria, podem ser destinados a diferentes outros fins além de aterros sanitários, como: Grits pode ser utilizado na construção civil destinado a pavimentação de estradas (Machado *et al.*, 2007; Maia *et al.*, 2014), substituição de areia em formulações de argamassa (Gemelli *et al.*, 2001) e na agricultura pode ser utilizado como

corretivo da acidez do solo (Nurmesniemi *et al.*, 2010); A lama de cal pode ser destinada na construção civil para substituição do cal (Simão *et al.*, 2018) e na agricultura como corretivo da acidez do solo (Stappe; Balloni, 1988); enquanto as cinzas provenientes da queima da biomassa pode ser usado na agricultura como fonte de K (Maciel *et al.*, 2015); o Dregs também é outro meio corretivo de acidez em solo (Pértille *et al.*, 2012).

Desta forma as fábricas do setor papel e celulose estão se aproximando da meta de 'desperdício zero', com redução da geração de resíduos, pelo incentivo a reciclagem interna e a transformação de resíduos em subprodutos que podem serem utilizados na agricultura, na construção civil e como fonte de energia. Assim, gerando uma produção mais limpa e sustentável (Simão *et al.*, 2018).

Os agricultores que possuem propriedades próximas às indústrias de celulose já utilizam estes resíduos alcalinos como corretivo da acidez do solo, visto que possuem baixo custo de aquisição (Albuquerque *et al.*, 2002).

A busca por um modelo de desenvolvimento sustentável tem se tornado uma prioridade na sociedade moderna. Cada vez mais, pessoas, instituições e empresas estão empenhadas em encontrar soluções que utilizem recursos renováveis, visando reduzir a poluição e os impactos ao meio ambiente. Essa preocupação tem se estendido à agricultura, um setor crucial para o desenvolvimento humano, segurança alimentar e nutricional, e também para a preservação do planeta.

A necessidade de encontrar alternativas sustentáveis no setor agrícola vem como resultado, em grande parte devido aos efeitos da pandemia ocorrida em 2020/21 e o conflito geopolítico entre a Ucrânia e a Rússia em 2022. Crises como estas geram impactos econômicos significativos em diferentes setores, incluindo a agricultura.

Os preços dos fertilizantes, por exemplo, sofreram aumentos expressivos, o que levou o aumento no custo de produção. Na eucaliptocultura, os gastos com insumos é uma parcela significativa no gasto total de produção (Castro, 2011), cerca de 60% do custo total dos insumos (Queiros; Silva, 2016).

Neste contexto, este estudo teve como objetivo, avaliar o uso de dois compostos gerados a partir da mistura dos resíduos (Formulações), como: Dregs, Grits, Cinzas (DGC) e Dregs, Lama de cal e Cinzas (DLC), com a finalidade de averiguar a eficiência agrônômica dos compostos como fonte de nutrientes para mudas de eucalipto.

1.1 Eldorado Brasil: produção de resíduos e suas características

Foi elaborada a Tabela 1 com base nas características físico-químicas dos resíduos (Dregs, Grits, Cinzas de caldeira e Lama de cal) proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil de Três Lagoas/MS. Com base também no manejo nutricional da cultura do eucalipto da Eldorado Brasil (Tabela 2) e das informações da literatura como:

a) Relação de nutrientes ideal para as plantas: relações de Ca:Mg e Ca:K ideais para as plantas de 6,5:1 e 13:1, respectivamente (Bear; Toth, 1948); a maioria dos trabalhos considera relações Ca:Mg entre 4:1 e 8:1 como adequadas para as plantas (Medeiros *et al.*, 2008) e a alta relação Ca:Mg pode provocar a falta de Mg às plantas (Medeiros, *et al.*, 2009).

b) Quantidade de sódio (Na): altos teores de Na, podem dispersar e diminuir a permeabilidade da água e do ar no solo, prejudicando o manejo (Medeiros, *et al.*, 2009; Pértile *et al.*, 2012); a aplicação de sódio (Na) para cultura do eucalipto: “... substitui, parcialmente, o K na nutrição do *Eucalyptus grandis*, e constitui uma estratégia para aumenta a eficiência de uso do potássio, permitindo diminuir as doses dos fertilizantes potássicos aplicados em povoamentos manejados intensamente (aplicação total de 205 kg ha⁻¹ de Na, parcelado em três aplicações, no plantio e aos 6 e 12 meses) (Almeida, 2009).

c) Altas doses de resíduos aplicadas no solo: devido ao alto teor de sódio na composição do dregs e grits, a sua aplicação em solos arenosos pode causar contaminação das águas subterrâneas pela lixiviação de Na no perfil e a elevação do pH do solo, diminuindo a disponibilidade de alguns micronutrientes (Trigueiro, 2006)

Dregs (D):

- Aspectos positivos: concentração de Ca e Mg, relação Ca:Mg adequada;
- Aspectos negativos: média concentração de Na, baixa concentração de K, relação Ca:K não adequada; alta umidade.

Grits (G):

- Aspectos positivos: concentração de P, baixa umidade;
- Aspectos negativos: concentração de Na, relação Ca:Mg e Ca:K não adequada.

Cinzas (C):

- Aspectos positivos: boa concentração de P, K, Ca, Mg e S, relação Ca:Mg e Ca:K e baixa de Na, baixa umidade;
- Aspectos negativos: concentração de N.

Lama de cal (L):

- Aspectos positivos: concentração de P e baixa umidade;
- Aspectos negativos: maior concentração de Na, baixa concentração de K, relação Ca:Mg e Ca:K não adequada.

Tabela 1. Quantidades de nutrientes, sódio (Na), pH, umidade (U), relações Ca:Mg, Ca:K e N:S e produção anual de resíduos de celulose: Dregs (D), Grits (G), Cinzas (C) e Lama de Cal (L) da empresa Eldorado Brasil

Resíduos	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn
	kg t ⁻¹								
Dregs (D)	0,60	1,70	0,40	119,80	12,30	5,50	0,00	0,16	0,34
Grits (G)	1,20	10,60	0,80	368,10	4,50	2,70	0,00	0,01	0,05
Cinzas (C)	1,30	6,60	24,10	65,70	7,50	13,30	0,01	0,05	0,07
Lama de Cal (L)*	1,10	14,00	0,20	347,60	2,60	0,50	0,00	0,02	0,03

Resíduos	Na	pH	U	Produção		Relação de Nutrientes		
	kg Mg ⁻¹	CaCl ₂	%	t ano ⁻¹	%	Ca:Mg	Ca:K	N:S
Dregs (D)	6,92	10,80	61,00	17139,22	27,0	9,7	299,5	0,1
Grits (G)	13,40	12,30	14,00	2775,99	4,4	81,8	460,1	0,4
Cinzas (C)	1,30	12,30	13,00	13818,91	21,7	8,8	2,7	0,1
Lama de Cal (L)*	9,82	12,40	1,00	29859	47,0	133,7	1738,0	2,2

*: Fluxo estacional

(Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O Eucalipto

O eucalipto (*Eucalyptus*), cujo nome tem origem no grego *eu* + *kalyptos* ("verdadeira cobertura"), é uma espécie arbórea nativa da Oceania, com ocorrência natural predominante na Austrália. Pertence ao gênero *Eucalyptus*, da família Myrtaceae (subfamília Leptospermoideae), ordem Myrtales, classe Dicotyledonea, e divisão Angiospermae (Grattapaglia; Kirst, 2008). Em geral, o eucalipto apresenta alturas entre 30 e 50 metros, embora existam espécies de porte médio e outras com características arbustivas (Brooker; Kleinig, 2004). O gênero compreende mais de 600 espécies, sendo *E. urophylla* e *E. deglupta* as únicas que não ocorrem na Austrália. Entre as espécies conhecidas, cerca de 30 a 40 são arbustivas (Alzate, 2004; Mora e Garcia, 2000).

O eucalipto é conhecido por sua alta taxa de crescimento, elevada plasticidade, tronco retilíneo, capacidade de desrama natural e madeira com propriedades tecnológicas variadas, o que garante sua adaptação a diversas finalidades de uso (Oliveira *et al.*, 1999).

No início do século XX, a ampliação das estradas de ferro no Brasil aumentou significativamente a demanda por madeira. A escassez de florestas nativas próximas às

ferrovias levou a Companhia Paulista de Estradas de Ferro a buscar alternativas para suprir a necessidade de lenha utilizada como fonte de energia nas locomotivas (Quenó, 2009). Entre 1904 e 1909, Navarro de Andrade, conhecido como o "pai da eucaliptocultura" no Brasil, realizou experimentos no Horto Florestal de Jundiaí-SP. Ele comparou espécies nativas com doze espécies de *Eucalyptus*, destacando-se uma em particular para atender às demandas da ferrovia (Mora; Garcia, 2000).

Inicialmente, no Brasil, o eucalipto era usado apenas como quebra-ventos. No entanto, com o sucesso das pesquisas de Navarro envolvendo o *Eucalyptus globulus*, a espécie foi selecionada como alternativa para a produção de lenha destinada às locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (Pereira *et al.*, 2000).

Devido à sua ampla utilidade econômica e rápido crescimento, com uma idade média de corte de 6 a 8 anos em comparação com o ciclo das árvores de mata nativa, que leva em média 25 anos, o eucalipto se tornou uma alternativa viável para combater a devastação das florestas nativas em várias regiões do mundo, contribuindo para a preservação do meio ambiente (Scarpinella, 2002).

2.2 Dregs

Dregs, é um resíduo de cor acinzentada gerado pelo processo de separação da celulose, que é extraída da madeira por meio de ataque alcalino. No processo é utilizado reagentes alcalinos e oxidantes, estes compõem o chamado licor branco ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SO}_4$). Na reação do licor branco com a madeira, surge o licor negro e a polpa celulósica. O licor negro gerado, é evaporado, restando somente o teor sólidos, que é queimado na caldeira de recuperação, resultando um fundido que posteriormente é dissolvido junto ao licor branco fraco, formando o licor verde. O Dregs, advém então da retirada da retirada de impurezas do Licor Verde (Almeida *et al.*, 2007).

Durante o processo de retirada de impureza, estas são separadas por sedimentação, como: ferro, sílica, magnésio, sulfetos, carbono não queimado, cálcio. Para remover o máximo de água e álcali, o resíduo passa por um processo de lavagem e processamento em filtro a vácuo (Albuquerque *et al.*, 2002). O dregs, pode ser uma fonte de metais pesados, trazendo preocupação quanto a sua utilização na adubação de plantas empregadas diretamente na alimentação humana e na contaminação dos lençóis freáticos (Wang *et al.*, 2003; Sperling *et al.*, 1995)

A característica alcalina é proveniente da hidrólise dos seus carbonatos e óxidos de cálcio com consequente formação de hidroxilas (OH^-). O poder de neutralização do Dregs equivale ao carbonato de cálcio puro (Waldemar; Herrera, 1986).

2.3 Grits

Grits é gerado por meio do processo de beneficiamento da celulose conhecido como Processo Kraft. Esse método tem início com o cozimento de cavacos de madeira com a substância chamada de licor branco, o que resulta na formação de licor negro. A próxima etapa consiste na recuperação do licor branco, onde o licor negro é queimado, gerando um resíduo chamado "smelt". Em seguida, esse "smelt" é dissolvido em água, formando o licor verde, que passa por um processo de caustificação. Esse processo resulta novamente no licor branco e no resíduo Grits (Mesquita *et al.*, 2014).

De acordo com Souza e Cardoso (2008), o Grits é classificado como um resíduo industrial sólido granular da classe IIA, conforme definido pela NBR 10.004 (ABNT, 2004). De acordo com essa norma, o Grits é considerado um resíduo sólido não perigoso e não inerte. Ele é não perigoso porque não representa riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Além disso, é não inerte, uma vez que contém substâncias em sua composição que podem se solubilizar e atingir níveis acima dos valores máximos considerados seguros para o meio ambiente, de acordo com os limites estabelecidos pela NBR 10.004 (ABNT, 2004).

Segundo Morris e Nutter (1996), grits é formado no circuito cáustico de recuperação, possui teores consideráveis de sódio cáustico e hidróxido de sódio dissolvidos.

2.4 Lama de Cal

A lama de cal é um resíduo de coloração branca composto principalmente por carbonato de cálcio (CaCO_3). Essa lama é obtida a partir do processo de caustificação do licor verde, que envolve a adição de óxido de cálcio (CaO) (Barreto, 2008).

A lama de cal e o dregs são resíduos amplamente utilizados como corretivos para a acidez do solo. Ambos são subprodutos do processo de separação da celulose, extraída da madeira por meio de um ataque alcalino. Nesse processo, empregam-se reagentes oxidantes e alcalinos, que constituem o chamado licor branco ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}^-$). A interação do licor branco com a madeira dá origem a dois subprodutos principais: a polpa celulósica e o licor negro. Após a concentração do licor negro por evaporação, ele é queimado em uma caldeira de recuperação, produzindo um material fundido que, ao ser dissolvido com licor branco fraco proveniente da lavagem da lama de cal, forma o licor verde ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{Fe}(\text{OH})_2$). Durante o processo de caustificação do licor verde, que envolve a adição de óxido de cálcio (CaO), é

gerada a lama de cal, um resíduo branco constituído majoritariamente por carbonato de cálcio (CaCO_3) (Machado, 1998).

2.5 Cinzas de Caldeira

A cinza é o material proveniente da queima da biomassa vegetal nas caldeiras, podendo ser utilizada isoladamente ou em mistura com os resíduos celulósicos. É caracterizada por altos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio e uma relação C/N de 30/1 (Bellote *et al.*, 1998).

Resíduos resultantes da queima de cavacos e carvão mineral nas caldeiras auxiliares de energia. As cinzas são compostas por uma mistura homogênea de frações de areia, moinha de carvão e cinzas propriamente ditas (Voegel *et al.*, [s.d.]). De acordo com o estudo de Nolasco *et al.* (2000), indústrias com capacidade de produção de 1000 toneladas de celulose por dia geram aproximadamente 80 toneladas de cinzas por dia.

O uso de doses altas de cinzas no solo, aumenta o conteúdo de matéria orgânica, reduz a concentração de Al e aumenta a fertilidade do solo (Bellote *et al.*, 1995).

3 RELEVÂNCIA DO TEMA

Na agricultura, diversos estudos têm demonstrado os benefícios da aplicação de resíduos da indústria de papel e celulose nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, impactando positivamente a produtividade do eucalipto. Contudo, poucos trabalhos investigaram o uso de diferentes combinações desses resíduos. Tal abordagem poderia resultar em um subproduto de qualidade superior, com potencial para uso na agricultura como fertilizante orgânico, permitindo a substituição parcial dos fertilizantes minerais tradicionais. Embora esses resíduos apresentem baixas concentrações de nutrientes, essa limitação pode ser compensada pela aplicação em maiores quantidades.

Nesse contexto, após a análise química dos resíduos provenientes do processo de obtenção de celulose de eucalipto da empresa Eldorado Brasil (dregs, grits, cinzas de caldeira e lama de cal), constatou-se que esses materiais apresentam potencial para uso como fertilizantes e corretivos de solo, contribuindo, assim, para melhorias nos atributos químicos do solo.

A presente pesquisa, após muitos cálculos e estudo, propõe dois compostos com a mistura dos resíduos (formulações): C1: DGC 6:1:5 (Dregs, Grits e Cinzas na proporção de 6:1:5) e C2: DLC 1:2:1 (Dregs, Lama de cal e Cinzas na proporção de 1:2:1) (Tabela 3), sendo esses elaborados conforme as características de cada resíduo e procurando atender as devidas proporções de produção de cada resíduo, com intuito de “zerar” todos, ou seja, sem sobras.

Com base nos dois compostos (Tabela 3) e o manejo nutricional da cultura do eucalipto adotado pela Eldorado Brasil (Tabela 2), foram elaborados 8 tratamentos (Tabelas 4 e 5) considerando:

- a) A eficiência de liberação dos nutrientes do composto (45, 60, 75 e 90% de eficiência) - Ex.: P e K maior taxa de liberação nos resíduos (Cinzas e Lama de cal), conseqüentemente, é esperado maior eficiência. No entanto, Dregs e Grits liberam lentamente os nutrientes, portanto apresentam menor eficiência. Nesse sentido, propõe quatro níveis de eficiência, sendo que a menor eficiência resulta em doses maiores a serem aplicadas e maior em doses menores (Tabelas 4 e 5);
- b) Atender a demanda total de nutrientes pela cultura do eucalipto, ou seja, fornecer a quantidade total dos nutrientes preconizado no manejo da empresa Eldorado Brasil (Tabela 2);
- c) A relação dos nutrientes Ca:Mg, Ca:K e N:S o mais próximo possível obtidos pelo manejo nutricional da empresa Eldorado Brasil (Tabela 2), com intuito de evitar desequilíbrios nutricionais, lembrando que muitos resíduos apresentam elevado pH, com elevada capacidade de correção do solo e, conseqüentemente, elevação do pH e diminuição na disponibilidade de Cu e Zn;
- d) Dose do composto não superior a 10 t ha^{-1} , por algumas questões: evitar elevar a quantidade de Na aplicada ao solo, não prejudicar a eficiência operacional da sua aplicação e aumentar o custo com transporte, principalmente em áreas de plantio mais distantes da fábrica.

Na Tabela 6, estão listados 10 tratamentos, incluindo a testemunha, o padrão da empresa e os compostos associados à adubação da empresa. Ao analisar a média dos 8 tratamentos, observamos que a utilização desses compostos no manejo da adubação pode potencialmente beneficiar 9358 hectares, reduzindo, teoricamente, 200 kg ha^{-1} de calcário, 140 kg ha^{-1} de 00-17-00 (adubação zero) e 63 kg ha^{-1} de 09-00-30. Destaca-se que foi eliminada completamente a adubação, da formulação 00-17-00 + 14% de Ca + 10% de S + 0,5% de B + 0,07% de Cu + 0,5% de Zn. Nesse contexto, esses compostos desempenham um papel relevante como fontes de fósforo na adubação de base.

Com base na literatura científica e na busca por sustentabilidade, acredita-se que o uso de compostos de resíduos de celulose pode ser uma opção viável para solos de baixa fertilidade e alta acidez no Cerrado, como em Três Lagoas - MS. Essa prática pode reduzir a necessidade de fertilizantes minerais, contribuindo para um manejo nutricional mais sustentável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição do Experimento

O estudo foi conduzido entre maio e outubro de 2023 em uma estufa equipada com malhas antiafídeos nas laterais e cobertura de plástico, situada no Campus 2 da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FE/Unesp).

A presente pesquisa, após muitos cálculos e estudo, propõe dois compostos com a mistura dos resíduos (formulações): C1: DGC 6:1:5 (Dregs, Grits e Cinzas na proporção de 6:1:5) e C2: DLC 1:2:1 (Dregs, Lama de cal e Cinzas na proporção de 1:2:1) (Tabela 3), sendo esses elaborados conforme as características de cada resíduo e procurando atender as devidas proporções de produção de cada resíduo, com intuito de “zerar” todos, ou seja, sem sobras.

A cultura estudada foi o eucalipto (clone AEC 144 - híbrido de base genética *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). Foram avaliados dois compostos proveniente de resíduos de celulose de eucalipto, sendo o delineamento experimental utilizado o inteiramente casualizado com dez tratamentos e quatro repetições. Composto 1 - DGC 6:1:5: Testemunha, Padrão, DGC45, DGC60, DGC75 e DGC90; Composto 2 - DLC 1:2:1: Testemunha, Padrão, DLC45, DLC60, DLC75 e DLC90 (Tabelas 4 e 5), totalizando 40 parcelas (vasos de 12 L).

Tabela 2. Manejo nutricional do cultivo do eucalipto da empresa Eldorado Brasil, época, insumos, quantidades de nutrientes, sódio (Na), relações Ca:Mg, Ca:K e N:S

Época																			
Antes do Plantio			Plantio		Plantio		Primeira Cobertura		Segunda Cobertura										
Quantidade de insumos (kg ha ⁻¹)																			
Calcário			12-24-12		00-17-00		09-00-30		09-00-30										
1100			270		140		352		210										
Nutrientes aplicados (kg ha ⁻¹)																			
N		P ₂ O ₅		K ₂ O		Ca		Mg		S		B		Cu		Zn			
83,0		89,0		201,0		405,0		132,0		67,0		7,4		1,9		2,6			
Na				Relação de Nutrientes															
kg Mg ⁻¹				Ca:Mg				Ca:K				Ca:KMg				N:S			
0				3,1				2,0				1,2				1,2			

(Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

Tabela 3 - Quantidade de nutrientes, sódio, relações Ca:Mg, Ca:K e N:S das duas formulações propostas de resíduo de celulose e % de sobra de resíduos para cada formulação.

Composto		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn
		kg t ⁻¹								
C1	DGC 6:1:5	0,94	4,48	10,31	117,95	9,65	8,52	0,007	0,10	0,20
C2	DLC 1:2:1	1,03	9,08	6,23	220,18	6,25	4,95	0,005	0,06	0,11
Composto		Na	Relação de Nutrientes				% de Sobra de Resíduo			
		kg t ⁻¹	Ca:Mg	Ca:K	N:S		D	G	C	L
C1	DGC 6:1:5	5,12	12,2	11,4	0,1		3,2	0,4	0	100
C2	DLC 1:2:1	6,92	35,2	35,4	0,2		19,4	100	0	7,4

(Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

Com base nos dois compostos (Tabela 3) e o manejo nutricional da cultura do eucalipto adotado pela Eldorado Brasil (Tabela 2), foram elaborados 8 tratamentos (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 - Doses do composto DGC 6:1:5, área estimada de aplicação, manejo nutricional, quantidade de insumos, saldo de insumo, saldo de nutrientes aplicados, sódio (Na) e relações de nutrientes.

			Época/Insumo								
			Antes do Plantio	Plantio	Plantio	Plantio	1ª Cobertura	2ª Cobertura			
Trat.	Ef.	Área	DGC 6:1:5	Calcário	12-24-12	00-17-00	09-00-30	09-00-30			
	%	ha	t ha ⁻¹	kg ha ⁻¹							
T3	45	6001	5,5	900	330	0	260	280			
T4	60	8001	4,1	900	330	0	260	280			
T5	75	10001	3,3	900	330	0	260	280			
T6	90	12002	2,8	900	330	0	260	280			
Saldo de insumos (kg ha ⁻¹)											
			DGC 6:1:5	Calcário	12-24-12	00-17-00	09-00-30	09-00-30			
T3	45		-	-200	60	-140	-60	70			
T4	60		-	-200	60	-140	-60	70			
T5	75		-	-200	60	-140	-60	70			
T6	90		-	-200	60	-140	-60	70			
Saldo de Nutrientes aplicados											
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn
kg ha ⁻¹											
DGC 6:1:5*		10,1	1,4	34,0	203,3	0,0	5,0	0,0	0,7	0,2	
Na			Relação de Nutrientes								
kg ha ⁻¹			Ca:Mg		Ca:K		N:S				
T3	45	28,3	4,6		2,6		1,3				
T4	60	21,2	4,6		2,6		1,3				
T5	75	17,0	4,6		2,6		1,3				
T6	90	14,1	4,6		2,6		1,3				

* Igual para os tratamentos: T3, T4, T5 e T6
(Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

Tabela 5 - Doses do composto DLC 1:2:1, área estimada de aplicação, manejo nutricional, quantidade de insumos, saldo de insumo, saldo de nutrientes aplicados, sódio (Na) e relações de nutrientes.

		Época/Insumo								
		Antes do Plantio		Plantio	Plantio	Plantio	Plantio	1ª Cobertura	2ª Cobertura	
Trat.	Ef.	Área	DLC 1:2:1	Calcário	12-24-12	00-17-00	09-00-30	09-00-30		
	%	ha	t ha ⁻¹							
T7	45	6478	8,5	900	230	0	260	280		
T8	60	8637	6,4	900	230	0	260	280		
T9	75	10796	5,1	900	230	0	260	280		
T10	90	12955	4,3	900	230	0	260	280		
Saldo de insumos (kg ha ⁻¹)										
		DLC 1:2:1		Calcário	12-24-12	00-17-00	09-00-30	09-00-30		
T7	45		-	-200	-40	-140	-60	70		
T8	60		-	-200	-40	-140	-60	70		
T9	75		-	-200	-40	-140	-60	70		
T10	90		-	-200	-40	-140	-60	70		
Saldo de Nutrientes aplicados										
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn
kg ha ⁻¹										
DLC 1:2:1*		0,0	1,0	20,3	755,5	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
		Na		Relação de Nutrientes						
		kg ha ⁻¹		Ca:Mg		Ca:K		N:S		
T7	45	59,4		8,8		5,2		1,2		
T8	60	44,6		8,8		5,2		1,2		
T9	75	35,6		8,8		5,2		1,2		
T10	90	29,7		8,8		5,2		1,2		

* Igual para os tratamentos: T7, T8, T9 e T10
(Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

Em 2023-05-11 foi aplicado os compostos em vasos de 12 L preenchidos com solo, sendo classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO ORTICO (Santos *et al.*, 2018), que foi previamente submetido à análise química, segundo a metodologia de Raij *et al.* (2001), cujos resultados foram: pH em CaCl₂ de 4,5; 8,0 g dm⁻³ de M.O.; 3,0 mg dm⁻³ de P em resina; 5 mg dm⁻³ de S-SO₄⁻² e teores de K, Ca, Mg e H+Al de 0,2; 1,0; 1,0 e 13,0 mmolc dm⁻³, respectivamente, saturação por bases (V%) de 14%, teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn de 0,09; 0,3;

9,0; 3,3 e 0,2 mg dm⁻³, respectivamente, saturação por Alumínio (m%) de 69% e teor de Al de 5 mmol_c dm⁻³.

O plantio das mudas de eucalipto foi realizado no dia 2023-05-28, 17 dias após a aplicação dos compostos, calcário e adubação mineral de base (formulações 12-24-12 + 0,7% de Cu + 0,7% de Zn e 00-17-00 + 14% de Ca + 10% de S + 0,5% de B + 0,07% de Cu + 0,5% de Zn, N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente). Em cada vaso foi plantado uma muda de eucalipto, que foram fornecidas de tamanho padrão (90 dias) para o plantio em campo pela Eldorado Brasil.

A formulação de adubação de cobertura, 09-00-30 (N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente) + 7% de S + 1,8% de B foi aplicada 20 e 50 dias após o plantio das mudas (primeira e segunda cobertura, respectivamente). As quantidades de composto, calcário, formulações de adubo mineral (12-24-12, 00-17-00 e 09-00-30) foram aplicadas conforme os tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Tratamentos, área estimada de aplicação, quantidade de insumo (composto; calcário e formulações de adubo mineral), época de aplicação, saldo de insumos e consumo.

Tratamentos	Área	Época/Insumo					
		Antes do Plantio	Plantio	Plantio	Plantio	1ª Cobertura	2ª Cobertura
		Composto	Calcário	12-24-12	00-17-00	09-00-30	09-00-30
	ha	t ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Testemunha	-	0	0	0	0	0	0
Padrão	-	0	1100	270	140	352	210
DCG45	6001	5,5	900	330	0	289	280
DCG60	8001	4,1	900	330	0	289	280
DCG75	10001	3,3	900	330	0	289	280
DCG90	12002	2,8	900	330	0	289	280
DLC45	6478	8,5	900	230	0	289	280
DLC60	8637	6,4	900	230	0	289	280
DLC75	10796	5,1	900	230	0	289	280
DLC90	12955	4,3	900	230	0	289	280
Resumo							
	Área	Composto	Calcário	12-24-12	00-17-00	09-00-30	09-00-30
	ha	t ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Média	9358	5	900	280	0	289	280
Saldo*		-	-200	10	-140	-63	70
t							
Consumo**			-1872	94	-1310	-590	655

*Saldo = Média dos tratamentos com resíduo - Padrão

** considerando a média das áreas potenciais dos tratamentos multiplicado pelo saldo do insumo.

(Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

As características físico-químicas dos resíduos (Dregs, Grits, Cinzas e Lama de cal) proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil de Três de Lagoas – MS constam no Anexo I. Estes resultados foram utilizados para os cálculos das formulações dos dois compostos.

Quando necessário, de acordo com a evapotranspiração foram efetuadas a irrigação com água deionizada, para evitar o fornecimento de Ca e Mg, dos carbonatos de cálcio e de magnésio que possam existir na água e poderiam eventualmente mascarar alguns resultados.

4.2 Avaliações

Foi realizada a seguinte avaliação:

- Altura de planta: foram realizadas três medições de altura, aos 60, 80 e 116 dias após o plantio (DAP);

- Índice de clorofila foliar (ICF): a avaliação do ICF foi realizada em três momentos – aos 60, 88 e 116 dias após o plantio (DAP). Utilizou-se um clorofilômetro digital modelo Clorofilog Falker CFL-1030 (Falker, 2008), na folha diagnose (últimas folhas recém-desenvolvidas do terço médio da planta), sempre no período da manhã;

- Diâmetro da base da planta: o diâmetro basal foi mensurado ao final do experimento (116 DAP) com um paquímetro digital, registrado em milímetros (mm);

- Produção de matéria seca da parte aérea: quantificada ao final do experimento (116 DAP). A parte aérea das plantas (folhas, ramos e caule) foi coletada no dia 2023-09-21 e acondicionada em sacos de papel identificados, sendo posteriormente levada à estufa a 65 °C por 72 horas. Após secagem, o material foi pesado em balança semi-analítica para a determinação da matéria seca da parte aérea, expressa em gramas por planta (g planta^{-1});

- Análise completa dos atributos químicos do solo: após a coleta das plantas de eucalipto, foi realizada a amostragem do solo nos vasos. As amostras foram analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP – Campus de Ilha Solteira, seguindo a metodologia proposta por Raij *et al.* (2001);

- Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na na parte aérea do eucalipto: este acúmulo foi obtido pela multiplicação do valor da matéria seca da parte aérea pela concentração de cada nutriente presente na parte aérea (expresso em miligramas por planta, mg planta^{-1}). As concentrações dos nutrientes foram determinadas no Laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP – Campus de Ilha Solteira, com base em metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997)

4.3 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias dos tratamentos. Para análise estatística, foi utilizado o programa SISVAR (Ferreira, 2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1.1 Considerações gerais

A presença do potássio (K) é fundamental na cultura do eucalipto, conforme indicado por Gazola *et al.* (2019). Este elemento desempenha papel essencial no processo fotossintético, no transporte de açúcar das folhas para as raízes e na redução do estresse oxidativo (Costa Et Al., 2020). Além disso, o potássio exerce outra função crucial na planta, que inclui a regulação do potencial osmótico das células vegetais. Essa regulação, por sua vez, controla a abertura e fechamento dos estômatos, resultando em uma maior eficiência no uso da água (Siddiqui *et al.*, 2008; Taiz; Zeiger, 2013).

É importante ressaltar que o potássio também desempenha um papel significativo na formação da madeira em diversas espécies de árvores. Um elevado nível cambial de potássio, indicado por um alto potencial osmótico cambial, contribui para a expansão celular, a largura cambial e, consequentemente, o aumento do tamanho dos vasos no xilema (Fromm, 2010).

A substituição parcial ou total de potássio (K) por sódio (Na) em plantações florestais tem suscitado interesse tanto prático quanto científico (Marschner, 1995). O sódio demonstra eficácia significativa na manutenção do potencial osmótico das células, regulando a abertura e fechamento dos estômatos. Essa função, antes atribuída exclusivamente ao potássio, pode ser desempenhada por outros cátions, como cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na). No entanto, o sódio destaca-se por sua eficiência, sendo estrutural e quimicamente semelhante ao potássio (Barlóg *et al.*, 2018).

Estudos mostram que a aplicação de 102 kg ha⁻¹ de sódio em solo com deficiência de potássio foi capaz de restaurar as funções osmorreguladoras normais nas folhas de *Eucalyptus grandis*. Entretanto, o sódio não conseguiu desempenhar outras funções cruciais do potássio, resultando em uma menor resposta no crescimento em altura da planta e na área foliar em comparação com plantas supridas com 209 kg ha⁻¹ de K₂O (Battie-Laclau *et al.*, 2013).

A substituição parcial de K por Na pode ser utilizada nas práticas silviculturais nas árvores de eucalipto nas plantações florestais em áreas afetadas pelo estresse hídrico (Castro *et al.*, 2017). Assim, a quantidade aplicada de Na na presente pesquisa foi inferior em relação à esses estudos e pode ter algum efeito benéfico desse elemento para as plantas de *Eucalyptus*.

De acordo com Malavolta (2006) a baixa disponibilidade de B no solo é mais comum nas condições de baixo teor de matéria orgânica do solo e alta lixiviação de B no perfil do solo, principalmente em solos arenosos (típico do bioma Cerrado). Logo, a aplicação de B para essa

condição é de grande importância, pois propicia maior concentração foliar de B no eucalipto e maior produtividade (Celestrino *et al.*, 2015; Tavanti *et al.*, 2018; Celestrino *et al.*, 2019).

O cálcio (Ca) é altamente requisitado na cultura do eucalipto, concentrando-se principalmente no compartimento da casca (Gazola *et al.*, 2019). Trata-se de um macronutriente crítico essencial para o crescimento das plantas e para a formação da madeira, conferindo maior resistência às paredes celulares e a outros tecidos lenhosos das plantas (Grover *et al.*, 2021). A química da parede celular sofre influência direta do Ca, uma vez que a reticulação dos grupos carboxila na camada de pectina e a lignificação dependem do seu fornecimento, afetando tanto a estrutura quanto a química da madeira (Fromm, 2010).

O Ca tem efeito sinérgico sobre o N com o aumento da sua concentração, sendo que o fornecimento moderado de Ca é crucial para garantir melhor crescimento de plantas e absorção de N (Xing *et al.*, 2021). O eucalipto tem também a capacidade de ativar populações microbianas da rizosfera e na fixação de N, influenciando assim na disponibilidade de N no solo (Valadares *et al.*, 2020) e, conseqüentemente, no seu acúmulo na parte aérea.

As espécies de *Eucalyptus* parece não ter mecanismos para diminuir a absorção de Mn em condições de alta disponibilidade desse elemento (Rocha *et al.*, 2019). Apesar de alguns estudos indicarem a susceptibilidade das espécies de *Eucalyptus* à toxicidade causada por níveis elevados de Mn no solo (Gomes *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2019), algumas espécies mostram tolerância a uma alta disponibilidade de Mn, não apresentando sinais de danos na atividade fotoquímica e, em alguns casos, exibindo maior produção de biomassa aérea nessas condições (Oliveira; Andrade, 2021). Contudo, a deficiência desse nutriente pode resultar em uma redução significativa na produtividade, uma vez que o manganês é essencial para o desenvolvimento das plantas, contribuindo diretamente nos processos de lignificação e fotossíntese da madeira (Taiz; Zeiger, 2013).

5.1.2 Composto 1 - DGC 6:1:5

Na primeira avaliação, o composto DGC60 e na segunda e terceira avaliações todos os compostos DGC propiciaram maior altura das plantas de eucalipto em relação à testemunha e não diferiram do Padrão (Tabela 7). O diâmetro do caule não foi influenciado pela aplicação de todos os tratamentos. Em relação à matéria seca da parte aérea das plantas, todos os tratamentos do composto DGC e o Padrão foram superiores à testemunha. Assim, a aplicação de todas as quantidades do composto DGC e da adubação Padrão da empresa propiciaram crescimento semelhantes, sendo superiores à testemunha (Tabela 7).

O composto DGC associado ao adubo mineral (Tabela 4) apresenta em sua composição dregs, grits e cinzas de biomassa de eucalipto. A aplicação de dregs e grits de forma isolada ou associada à adubação mineral propiciou maior produtividade de madeira de *E. grandis* x *E. urophylla* (Trigueiro, 2006; Barreto, 2008). Em relação às cinzas, o seu uso propiciou maior altura e DAP do *E. dunnii* (Maeda *et al.*, 2014) e maior DAP do *E. benthamii* (Maeda *et al.*, 2014).

Na primeira avaliação, a aplicação dos tratamentos DGC45, DGC60 e Padrão proporcionaram maior ICF do que a testemunha. Para a segunda, os tratamentos DGC45, DGC60, DGC90 e Padrão foram superiores à testemunha. Já na última avaliação todos os compostos DGC e o Padrão propiciaram maiores ICF para as plantas de eucalipto em relação à testemunha (Tabela 7). Isso sugere de forma indireta que o composto DGC supriu adequadamente as plantas de eucalipto por N.

Tabela 7. Altura (ALT), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA) e índice de clorofila foliar (ICF) de mudas de eucalipto em função dos tratamentos.

Tratamento	ALT1	ALT2 cm	ALT3	DC mm	MSPA g planta ⁻¹
Testemunha (T)	48,0 b	52,3 b	58,2 b	7,7 a	18,0 b
Padrão (P)	52,2 ab	64,2 ab	73,0 ab	10,2 a	41,0 ab
DGC45	54,6 ab	68,2 a	77,2 a	10,6 a	44,5 a
DGC60	59,4 a	73,0 a	84,5 a	10,6 a	51,5 a
DGC75	55,0 ab	69,5 a	77,2 a	10,7 a	45,5 a
DGC90	57,2 ab	70,5 a	80,0 a	10,7 a	50,0 a
D.M.S (5%)	10,9	14,9	19,0	3,1	23,5
C.V. (%)	8,93	10,02	11,26	13,64	25,05

Tratamento	ICF1	ICF2 adim.	ICF3
Testemunha (T)	27,9 b	29,0 b	22,7 b
Padrão (P)	48,9 a	44,3 a	39,3 a
DGC45	47,8 a	44,6 a	35,7 a
DGC60	43,3 a	41,4 ab	31,9 a
DGC75	41,6 ab	38,3 ab	31,9 a
DGC90	42,7 ab	42,5 a	32,8 a
D.M.S (5%)	15,1	12,5	8,9
C.V. (%)	16,03	13,89	12,25

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

¹: primeira avaliação (60 DAP); ²: segunda avaliação (88 DAP); ³: terceira avaliação (116 DAP).

Os compostos DGC 75 e DGC 90 propiciaram maior acúmulo de N na parte aérea das plantas de eucalipto em relação à testemunha e não diferiram do Padrão (Tabela 8). O composto DGC obtido da mistura de dregs, grits e cinzas apresenta 0,094% de N (Tabela 3). Assim, a principal fonte de N para as plantas de eucalipto foi proveniente das formulações de adubo (12-

24-12 e 09-00-30, N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente) e uma pequena parte proveniente do composto DCG associado ao adubo (Tabela 9).

A aplicação do DGC aumentou o pH do solo em relação à testemunha e ao Padrão (Tabela 9). O fornecimento de dregs, grits e cinzas de forma isolada ou a associação entre eles propiciaram a elevação do pH do solo (Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Maeda; Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015). A correção da acidez do solo com a elevação do pH pode ter influenciado no aumento da disponibilidade de N no mesmo (Malavolta, 1979). e, consequentemente, resultou maior absorção e acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas de eucalipto (Tabela 8).

Tabela 8. Acúmulo de macro e micronutrientes e de sódio (Na) na parte aérea de mudas de eucalipto em função dos tratamentos.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg planta ⁻¹					
Testemunha (T)	127,0 b	11,3 b	212,6 b	121,5 a	56,5 b	14,2 b
Padrão (P)	491,2 ab	41,4 ab	674,5 a	272,0 a	102,3 ab	32,3 ab
DGC45	573,5 ab	32,6 ab	658,4 a	302,1 a	117,2 ab	34,9 ab
DGC60	576,5 ab	48,7 ab	722,4 a	347,8 a	133,3 ab	42,9 a
DGC75	645,7 a	48,3 ab	717,4 a	334,1 a	159,9 a	40,5 a
DGC90	629,4 a	55,8 a	696,8 a	338,8 a	132,9 ab	43,6 a
D.M.S (5%)	476,8	40,3	367,9	234,8	87,9	22,9
C.V. (%)	39,17	37,06	24,98	34,20	31,31	27,50
Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	mg planta ⁻¹					
Testemunha (T)	0,61 b	0,11 b	1,76 b	7,74 b	0,35 b	36,98 b
Padrão (P)	20,22 a	0,22 b	3,81 ab	23,04 a	0,65 ab	84,13 ab
DGC45	20,26 a	0,43 ab	3,46 ab	21,23 a	0,58 ab	114,46 a
DGC60	24,08 a	1,28 a	5,36 a	27,19 a	1,21 a	118,84 a
DGC75	24,75 a	0,84 ab	5,24 a	30,73 a	0,85 ab	116,22 a
DGC90	24,25 a	1,32 a	4,80 a	24,50 a	1,01 ab	107,21 a
D.M.S (5%)	13,04	0,98	2,63	12,73	0,82	69,13
C.V. (%)	28,56	58,05	26,91	23,67	44,17	29,91

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os estoques de nutrientes na parte aérea das plantas de *Eucalyptus* seguiram a ordem decrescente K > N > Ca > Mg > P > S (Tabela 8).

A redução de 140 kg ha⁻¹ de Superfosfato simples (00-17-00) e o acréscimo de 60 kg ha⁻¹ de 12-24-12 associados ao composto (Tabela 4) propiciou fornecimento de P semelhantes ao do Padrão da empresa. Na parte aérea, o acúmulo foi maior com DGC 90, diferindo da testemunha. No solo, o teor de P aumentou com a aplicação do composto DGC e o Padrão em relação à testemunha (Tabela 9).

O teor de K no solo aumentou com a aplicação do composto DGC45 e o Padrão em relação à testemunha (Tabela 9). No acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas, todos os compostos e o Padrão proporcionaram esse efeito em relação à testemunha (Tabela 8). As cinzas, um dos constituintes do composto, podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, apresentando vantagens sobre esses por disponibilizarem, além de Ca e Mg, o K (Maeda; Bognola, 2013). A sua aplicação pode aumentar a disponibilidade de K no solo e, consequentemente, maior produção de eucalipto (Cabral *et al.*, 2008; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015). Também tem em sua composição o dregs e o grits em que a sua aplicação aumentou o teor de K no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008).

Tabela 9. Análise química do solo após o cultivo de mudas de eucalipto em função dos tratamentos.

Tratamento	P _{resina} mg dm ⁻³	S-SO ₄	K	Ca	Mg	SB
Testemunha (T)	1,5 b	11,0 b	0,3 b	2,7 b	1,7 b	4,6 c
Padrão (P)	31,0 ab	24,5 a	2,6 a	24,5 b	12,0 ab	39,1 bc
DGC45	44,0 a	9,7 b	2,1 a	74,0 a	14,7 ab	90,7 a
DGC60	41,7 a	7,3 b	1,4 ab	65,3 a	18,7 a	85,4 a
DGC75	49,0 a	10,7 b	1,8 ab	63,0 a	16,3 a	91,5 a
DGC90	36,7 ab	9,7 b	1,8 ab	59,0 a	17,3 a	78,2 ab
D.M.S (5%)	35,9	8,1	1,6	24,8	13,1	40,7
C.V. (%)	38,51	24,39	35,97	18,77	35,63	22,88
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
	mg dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³
Testemunha (T)	0,07 b	0,6 a	17,5 a	7,9 a	0,3 b	4
Padrão (P)	1,42 a	1,1 a	15,5 a	6,8 a	3,3 a	0
DGC45	1,30 a	0,8 a	10,0 b	9,6 a	1,4 ab	0
DGC60	0,98 ab	0,8 a	10,3 b	9,8 a	1,8 ab	0
DGC75	1,42 a	0,6 a	8,7 b	8,4 a	1,2 ab	0
DGC90	1,02 ab	0,6 a	8,0 b	7,0 a	1,3 ab	0
D.M.S (5%)	1,03	0,8	4,1	3,2	2,4	-
C.V. (%)	36,33	38,06	12,70	14,12	55,70	-
	pH	MO	CTC	H+Al	V	m
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³		%	
Testemunha (T)	4,6 c	8,5 a	17,6 c	13,0 a	26,0 c	46
Padrão (P)	6,6 b	9,5 a	50,6 bc	11,5 a	77,0 b	0
DGC45	7,4 a	9,0 a	99,4 a	8,7 b	91,0 a	0
DGC60	7,4 a	8,7 a	93,4 a	8,0 b	91,3 a	0
DGC75	7,3 a	9,0 a	100,1 a	8,7 b	91,0 a	0
DGC90	7,3 a	8,0 a	86,8 ab	8,7 b	89,7 a	0
D.M.S (5%)	0,4	1,5	40,0	2,8	8,9	-
C.V. (%)	2,23	6,30	19,52	10,47	4,16	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

O suprimento de Ca para as mudas de eucalipto pelos tratamentos DGC e Padrão propiciaram maiores teores de Ca no solo em relação à testemunha (Tabela 9) e não resultou no maior acúmulo de Ca na parte aérea das plantas de eucalipto (Tabela 8). No entanto, propiciou maior produção de matéria seca de plantas (Tabela 7). As cinzas, um dos constituintes do

composto, podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, por disponibilizarem Ca (Maeda; Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015). Também tem em sua composição o dregs e o grits que apresentam altas concentrações de Ca, nas formas de carbonatos e óxidos de cálcio (Pajara *et al.*, 2003). A sua aplicação aumenta a disponibilidade de Ca no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Medeiros *et al.*, 2009).

A redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico associado ao composto DGC (Tabela 4) propiciou fornecimento de Ca semelhante à aplicação de 1100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (padrão da empresa). Produtos alternativos como as cinzas de biomassa de eucalipto fornece Ca em plantações florestais (Rocha *et al.*, 2019), podendo ser utilizada como fertilizante na floresta (SCHEEPERS; du TOIT, 2016), são mais equilibradas nutricionalmente em relação à lama de cal e podem, com restrições, ser comparadas aos fertilizantes formulados (Maeda *et al.*, 2021) e pode substituir a calagem (Barreto, 2008). Portanto, o suprimento adequado de Ca pelos resíduos constituintes do composto DGC resultou em maior produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 7).

O Ca tem efeitos sinérgicos sobre o N com o aumento da concentração de Ca, sendo que o fornecimento moderado de Ca é crucial para garantir melhor crescimento de plantas e absorção de N (Xing *et al.*, 2021). Nesse sentido, o maior acúmulo de N relatado anteriormente pode também ser atribuído a maior disponibilidade de Ca no solo em função da aplicação do composto em relação à testemunha (Tabela 9).

A aplicação dos tratamentos DGC60, DGC75, DGC90 e Padrão proporcionaram maior teor de Mg no solo em relação à testemunha (Tabela 9). No entanto, apenas o DGC75 resultou no maior acúmulo desse nutriente na parte aérea das plantas em relação à testemunha e não diferiu dos demais tratamentos (Tabela 8). O composto apresenta baixa concentração de Mg (0,96% de Mg) (Tabela 3) em relação ao calcário dolomítico (12% de Mg) (Tabela 2). Assim, a principal fonte de Mg para as plantas de eucalipto foi proveniente da aplicação de 900 kg ha⁻¹ de calcário (Tabela 4). Portanto, a redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico associado ao composto DGC (Tabela 4) propiciou fornecimento de Mg semelhante a aplicação de 1100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (padrão da empresa).

As cinzas, um dos constituintes do composto, podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, por disponibilizarem Mg (Maeda; Bognola, 2013). Também tem em sua composição o dregs e o grits que apresentam altas concentrações de Ca (Pajara *et al.*, 2003). A sua aplicação aumenta a disponibilidade de Ca e Mg no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008). Porém, o uso de produtos com alta concentração de Ca sem o fornecimento de Mg pode induzir uma deficiência de Mg (Rocha *et al.*, 2019).

A aplicação dos tratamentos DGC60, DGC75, DGC90 proporcionaram maior acúmulo de S na parte aérea das plantas em relação à testemunha e não diferiram do Padrão (Tabela 8). Logo, a redução de 140 kg ha⁻¹ de Superfosfato simples (00-17-00 + 10% de S) associado ao composto DGC (Tabela 4) propiciou fornecimento de S semelhante a aplicação do tratamento Padrão. No entanto, após o término do cultivo das plantas de eucalipto, os teores de S no solo que receberam os compostos DGC foram menores que o tratamento Padrão e não diferiu da testemunha (Tabela 9).

Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs + grits resultou na elevação do pH do solo e, conseqüentemente, no aumento da disponibilização de S no mesmo. Assim, o aumento de S no solo pode ser atribuído de forma indireta ao aumento do pH do solo (Malavolta, 1979). No entanto, o teor de MOS é baixa (Tabela 9), sendo essa a principal fonte de S do solo (Malavolta, 2006). Nesse sentido, o aumento do acúmulo S nas plantas pode ser atribuído ao seu fornecimento pela aplicação do composto DCG e tratamento Padrão. Vale destacar que a redução do seu fornecimento via adubo mineral (00-17-00 + 10% de S) não diferiu do composto DGC.

Na literatura, alguns estudos não avaliaram o teor de S no solo em função da aplicação de cinzas (Maeda, Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015), sendo que apenas um demonstrou que a sua aplicação aumentou o acúmulo de S na matéria seca do capim Massai, no entanto, não foi capaz de gerar incrementos de S no solo (Moretti Neto, 2020).

A aplicação dos compostos DGC45, DGC75 e do tratamento Padrão propiciaram maior teor de B no solo em relação à testemunha (Tabela 9) e maior acúmulo de B na parte aérea das plantas em relação à testemunha (Tabela 8).

O solo utilizado no experimento apresenta baixo teor de B (0,09 mg dm⁻³ de B) e o composto aplicado tem baixíssima concentração de B em sua composição (0,0007% de B) (Tabela 3). No manejo nutricional da empresa, o B é fornecido para a cultura do eucalipto pelos adubos 00-17-00 (0,5% de B) e 09-00-30 (1,8% de B) (Tabela 2). Nesse sentido, o fornecimento de B para a planta está associada ao fornecimento do adubo 09-00-30 e uma pequena parte proveniente do composto.

A aplicação dos tratamentos não influenciou nos teores de Cu no solo (Tabela 9). No entanto, o uso dos compostos DGC60 e DGC90 propiciaram maior acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas em relação à testemunha e ao Padrão (Tabela 8). Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs + grits não influenciou na disponibilidade de Cu no solo, mas diminuiu o seu acúmulo no híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*.

Tal efeito, pode ser explicado pelo aumento do pH em função da aplicação de resíduos (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Maeda; Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015). Pois a correção da acidez do solo com a elevação do pH do mesmo reduz a disponibilidade dos microcatiônicos (Malavolta, 1979; Bataglia, 1991; Rhoton, 2000; Aubert *et al.*, 2010; Dechen *et al.*, 2018).

No presente estudo a aplicação do composto DGC aumentou o pH do solo (Tabela 9). No entanto, não influenciou na disponibilidade do Cu no solo. O composto DGC associado ao adubo 12-24-12 que tem 0,7% de Cu, o que evidencia que correção da acidez do solo, aliada ao fornecimento de Cu pela adubação não afeta na disponibilidade desse nutriente no solo. A adubação com Cu associada ao fornecimento de Ca e Mg pela calagem pode promover implicações positivas no aumento da disponibilidade de Cu no solo para beneficiar o estado nutricional das árvores de *E. grandis* e melhorar o desenvolvimento das plantas (Florentino *et al.*, 2021). Nesse sentido, deve-se ter cuidado na aplicação de resíduos que elevam muito o pH do solo sem o devido fornecimento de Cu.

A aplicação dos compostos resultou na menor disponibilidade de Fe no solo em relação à testemunha e ao Padrão (Tabela 9). Tal efeito, está associado a elevação do pH do solo com a aplicação do composto, sendo que esse propiciou maior pH em relação ao Padrão. A correção da acidez do solo com a elevação do pH do mesmo reduz a disponibilidade dos microcatiônicos (Malavolta, 1979; Bataglia, 1991; Rhoton, 2000; Aubert *et al.*, 2010; Dechen *et al.*, 2018).

Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs não influenciou na disponibilidade de Fe no solo e no seu acúmulo nas plantas *Eucalyptus*. Maeda *et al.* (2015) constataram que a aplicação de cinzas não modificou a concentração foliar de Fe do *E. benthammi*. O menor teor de Fe deve-se também a maior absorção do nutriente, que pode ser constatada pelo seu maior acúmulo na parte aérea das plantas com a aplicação dos tratamentos DGC60, DGC75 e DGC90 em relação à testemunha.

A aplicação dos tratamentos não influenciou nos teores de Mn no solo (Tabela 9). No entanto, a aplicação dos compostos DGC e Padrão propiciaram maior acúmulo de Mn na parte aérea das plantas em relação à testemunha (Tabela 8). Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs + grits não influenciou na disponibilidade de Mn no solo, mas diminuiu o seu acúmulo nas plantas *Eucalyptus*. Maeda *et al.* (2015) constataram que a aplicação de cinzas reduziu a concentração foliar de Mn do *E. benthammi*.

Na presente pesquisa, a aplicação do composto DGC aumentou o pH do solo. Vários estudos constataram aumento do pH em função da aplicação de resíduos (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Maeda; Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*,

2015). Pois a correção da acidez do solo com a elevação do pH do mesmo reduz a disponibilidade dos microcatiônicos (Malavolta, 1979; Bataglia, 1991; Rhoton, 2000; Aubert *et al.*, 2010) e, conseqüentemente, ocorre a redução da absorção de Cu, Zn e Mn (Dechen *et al.*, 2018).

As espécies de *Eucalyptus* parece não ter nenhum mecanismo para reduzir a absorção de Mn sob condições de elevada disponibilidade de Mn (Rocha *et al.*, 2019). Tal fato pode ser constatado pelo maior acúmulo de Mn nas plantas de eucalipto em relação aos outros micronutrientes, com seguinte ordem de acúmulo: $Mn > B > Fe > Zn > Cu$ (Tabela 8).

As espécies de *Eucalyptus* são mais suscetíveis a toxicidade propiciada por elevados níveis de Mn no solo do que Al (Gomes *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2019). Além disso, são altamente tolerantes a solos ácidos e a altos níveis de Al, e em baixa concentração é um elemento benéfico para espécie (Rocha *et al.*, 2019). Nesse sentido, a aplicação do composto DGC possibilita a redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico.

Em relação ao Zn, a aplicação do Padrão propiciou maior teor no solo em relação à testemunha e não diferiu dos outros tratamentos (Tabela 9). Para o acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas, apenas o tratamento DGC60 foi maior que a testemunha e não diferiu do Padrão (Tabela 8). Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs + grits não influenciou na disponibilidade de Zn no solo, mas diminuiu o seu acúmulo no híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*.

O composto DGC associado ao adubo 12-24-12 + 0,7% de Zn, o que evidencia que, a correção da acidez do solo, aliada ao fornecimento de Zn pela adubação não afeta no suprimento do nutriente para as plantas. A adubação com Zn associada ao fornecimento de Ca e Mg pela calagem pode promover implicações positivas no aumento da disponibilidade de Zn no solo para beneficiar o estado nutricional das árvores de *E. grandis* e melhorar o desenvolvimento das plantas (Florentino *et al.*, 2021). Nesse sentido, deve-se ter cuidado na aplicação de resíduos que elevam muito o pH do solo sem o devido fornecimento de Zn.

A aplicação dos compostos DGC (14,1 a 28,3 kg ha⁻¹ de Na) resultaram no maior acúmulo de Na em relação à testemunha e não diferiram do Padrão (Tabela 8). Esses tratamentos propiciaram maior teor de Ca e Mg no solo em relação à testemunha (Tabela 9). Os cátions trocáveis apresentam uma energia de retenção aos colóides do solo, seguindo uma série liotrópica ($Al^{3+} >> Ca^{2+} > Mg^{2+} >> K^+ > Na^+$), assim os cátions monovalentes (K e Na) tendem a ficar mais na solução do solo (Raij, 2011), portanto mais passíveis de serem perdidos pelo processo da lixiviação, sendo o processo mais intenso para o Na. Nesse sentido, parte do elemento foi absorvido e a outra perdida pelo processo de lixiviação.

A aplicação de elevadas doses de resíduos (dregs e grits) aumenta o teor de Na no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Cabral *et al.*, 2008) que pode influenciar negativamente nos atributos físicos do solo (ARRUDA, 2012; Maciel *et al.*, 2015), na contaminação das águas subterrâneas, na diminuição da atividade microbiana do solo e causar fitotoxidez nas folhas (Trigueiro, 2006). Assim, pode influenciar negativamente na qualidade do solo, o que causa prejuízos para o crescimento e desenvolvimentos das plantas.

Na presente pesquisa, as quantidades fornecidas de Na foi inferior em relação ao avaliado em alguns estudos (Almeida *et al.*, 2010; Battie-Laclau *et al.*, 2013; Castro *et al.*, 2017) sendo constatado nesses, alguns benefícios do elemento para a cultura do eucalipto. Assim, as quantidades aplicadas do composto DGC não influenciaram negativamente no crescimento das plantas de eucalipto (Tabela 7).

A aplicação de todos os tratamentos do composto DGC e Padrão neutralizaram todo o Al e m% do solo em relação à testemunha (Tabela 9). A redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico associado ao composto DGC (Tabela 4) propiciou neutralização de Al semelhante a aplicação de 1100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (padrão da empresa). Tal fato, pode ser atribuído a presença de dregs + grits no composto, pois a sua aplicação proporcionou a redução nos teores de Al no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Barreto, 2008). Também, a presença de cinzas no composto, pois a sua aplicação proporcionou a redução nos teores de Al no solo (Maeda; Bognola, 2013).

A aplicação dos compostos DGC propiciaram maior SB e CTC do solo em relação à testemunha e o Padrão e não influenciaram na MOS (Tabela 9). O aumento dos cátions trocáveis (K, Ca e Mg) no solo, principalmente, de Ca (Tabela 9) em função da aplicação dos compostos, como a CTC efetiva é calculada pela soma dos cátions trocáveis, esse atributo aumentou com a aplicação dos resíduos.

O composto tem em sua composição o dregs e o grits que apresentam alta concentração de Ca (Pajara *et al.*, 2003). A sua aplicação propicia aumento de Ca mais intenso no solo em relação ao calcário (Medeiros *et al.*, 2009), aumentando assim a disponibilidade de Ca no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008). Também, é constituído pelas cinzas de biomassa de eucalipto, no qual a sua aplicação aumentou o teor de Ca do solo (Maeda; Bognola, 2013; Maciel *et al.*, 2015; Maeda *et al.* 2018, Moretti Neto, 2020), o que resultou no aumento da CTC e SB do solo.

A aplicação do composto DGC propiciou maior V% e reduziu H+Al em relação à testemunha e o Padrão (Tabela 9). Esse tem em sua composição o dregs e o grits, em que a sua aplicação aumentou saturação por bases do solo (V%) (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro,

2006; Barreto, 2008) e a cinza de biomassa de eucalipto, no qual a sua aplicação aumentou a V% do solo (Maeda *et al.*, 2015).

5.1.3 Composto 2 - DLC 1:2:1

Na primeira avaliação, apenas o composto DLC60, na segunda os compostos DLC45, DLC60 e DLC90 e na última os compostos DLC60 e DLC90 propiciaram maior altura das plantas de eucalipto em relação à testemunha e não diferiram do tratamento Padrão (Tabela 10). O diâmetro do caule foi maior com a aplicação dos compostos DLC45, DLC60 e DLC90 em relação à testemunha e não diferiram do tratamento Padrão. Em relação a matéria seca da parte aérea das plantas, todos os tratamentos do composto DLC e o Padrão foram superiores à testemunha. Assim, a aplicação de todas as quantidades do composto e da adubação Padrão da empresa propiciaram crescimento semelhantes, sendo superiores à testemunha (Tabela 10).

O ICF mede indiretamente a quantidade de clorofila das folhas e, consequentemente, o estado nutricional de N na planta. Pois os teores indiretos de clorofila correlacionam com as concentrações de N em plantas jovens de *Eucalyptus globulus* (Madeira *et al.*, 2009), o que sugere a possibilidade de medições indiretas de clorofila como indicador do estado nutricional de N no *E. globulus* (Ribeiro *et al.*, 2009). É uma ferramenta de diagnóstico rápida e eficaz para monitorar o status do N nas mudas de *E. globulus* (Acevedo *et al.*, 2020). Nesse sentido, é esperado que maiores valores de ICF estejam associados ao bom suprimento de N às plantas e, consequentemente, no seu maior crescimento.

Apenas na segunda avaliação a aplicação do composto DLC90 propiciou maior ICF em relação à testemunha e não diferiu dos outros tratamentos e em todas as avaliações o tratamento Padrão proporcionou maior ICF em relação à testemunha e não diferiu dos outros tratamentos (Tabela 10). Isso sugere de forma indireta que o composto DLC supriu adequadamente as plantas de eucalipto por N.

Tabela 10. Altura (ALT), diâmetro do caule (DC), matéria seca da parte aérea (MSPA) e índice de clorofila foliar (ICF) de mudas de eucalipto em função dos tratamentos.

Tratamento	ALT1	ALT2 cm	ALT3	DC mm	MSPA g planta ⁻¹
Testemunha (T)	48,0 b	52,2 b	58,2 b	7,7 b	18,0 b
Padrão (P)	52,2 ab	64,2 a	73,0 a	10,2 a	41,0 a
DLC45	54,2 ab	62,0 a	67,7 ab	10,5 a	41,5 a
DLC60	57,0 a	67,2 a	75,0 a	10,9 a	44,5 a
DLC75	52,2 ab	60,0 ab	64,7 ab	9,3 ab	34,0 a
DLC90	54,2 ab	63,2 a	69,5 a	10,4 a	38,0 a
D.M.S (5%)	8,4	9,2	10,7	2,0	12,4
C.V. (%)	7,05	6,63	6,97	9,25	15,23

Tratamento	ICF1	ICF2 adim.	ICF3
Testemunha (T)	27,9 b	29,0 b	22,7 b
Padrão (P)	48,9 a	44,3 a	39,3 a
DLC45	42,7 ab	39,6 ab	29,4 ab
DLC60	44,2 ab	39,2 ab	29,4 ab
DLC75	39,3 ab	40,1 ab	28,6 ab
DLC90	44,6 ab	44,6 a	31,6 ab
D.M.S (5%)	17,5	13,9	13,1
C.V. (%)	18,89	15,68	19,31

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

¹: primeira avaliação (60 DAP); ²: segunda avaliação (88 DAP); ³: terceira avaliação (116 DAP).

Todos os compostos DLC e o Padrão propiciaram maior acúmulo de N, K e S na parte aérea das plantas. Os compostos DLC45, DLC60, DLC75 e o Padrão proporcionaram maior acúmulo de P em relação à testemunha e o DLC60 e DLC90 maior para Ca e Mg em relação à testemunha e não diferiram do Padrão (Tabela 11). Estudos com a aplicação de resíduos de forma isolada na cultura do eucalipto não constataram efeito na concentração de N nas folhas (Barreto, 2008; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015; Pfleger *et al.*, 2020), sendo que Trigueiro (2006) concluiu que a aplicação da mistura dregs + grits (4,0 t ha⁻¹) aumentou a concentração de N nas folhas de um clone de *E. grandis* x *E. urophylla* em Neossolo Quartzarênico, atribuindo esse efeito a elevação do pH do solo e, consequentemente, no aumento da disponibilização de N no solo.

No presente estudo, a associação do composto com adubação Padrão não influenciou nas concentrações de N na parte aérea das plantas. Os valores de ICF com a aplicação do composto evidenciam menor suprimento de N para as plantas. No entanto, essa condição não limitou o seu crescimento, visto que propiciou aumento da altura, matéria seca da parte aérea e diâmetro do caule das plantas em relação à testemunha (Tabela 10). Os outros macronutrientes não foram influenciados pela aplicação dos tratamentos

O composto DLC apresenta baixíssima concentração de N (0,103% de N) (Tabela 3). Assim, a principal fonte de N para as plantas de eucalipto foi proveniente das formulações de adubo (12-24-12 e 09-00-30, N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente), associado ao composto (Tabela 5).

A redução de 140 kg ha⁻¹ de Superfosfato simples (00-17-00) e 40 kg ha⁻¹ (12-24-12) associado ao composto (Tabela 5) propiciou fornecimento de P semelhante a aplicação do Padrão da empresa, pois acúmulo de P na parte aérea das plantas entre o Padrão e o DLC não diferiram (Tabela 11), sendo superior à testemunha. As cinzas podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, apresentando vantagens sobre esses por disponibilizarem, além de Ca e Mg, os nutrientes P (Maeda; Bognola, 2013). A sua aplicação pode aumentar a disponibilidade de P no solo e, conseqüentemente, maior produção de eucalipto (Maeda *et al.*, 2014).

Em relação à lama de cal, alguns estudos evidenciaram que em termos de fornecimento de P para o solo, as cinzas de biomassa de eucalipto foram mais expressivas (Maeda; Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2015). A baixa concentração de P no dregs não foi capaz de elevar a concentração desse nutriente no solo. No entanto, promoveu incremento superior de P nas folhas do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, em relação ao tratamento que não recebeu o resíduo (Trigueiro, 2006).

As cinzas, um dos constituintes do composto, podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, apresentando vantagens sobre esses por disponibilizarem, além de Ca e Mg, o K (Maeda; Bognola, 2013). A sua aplicação pode aumentar a disponibilidade de K no solo e, conseqüentemente, maior produção de eucalipto (Cabral *et al.*, 2008; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015). Também tem em sua composição o dregs e o grits em que a sua aplicação aumentou o teor de K no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008).

O teor de K no solo foi menor com a aplicação do composto, sendo inferior ao Padrão e superior em relação à testemunha (Tabela 12). No entanto, a aplicação de todos os compostos e o Padrão resultaram no maior acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas em relação à testemunha (Tabela 11).

Tabela 11. Acúmulo de nutrientes e sódio (Na) na parte aérea de mudas de eucalipto em função dos tratamentos.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	mg planta ⁻¹					
Testemunha (T)	127,0 b	11,3 b	212,6 b	121,5 b	56,5 b	14,2 b
Padrão (P)	491,2 a	41,4 a	674,5 a	272,0 ab	102,3 ab	32,3 a
DLC45	363,7 a	36,7 a	627,6 a	304,8 ab	107,9 ab	37,2 a
DLC60	523,4 a	44,2 a	641,9 a	349,2 a	129,2 a	36,9 a
DLC75	383,8 a	32,1 a	655,3 a	303,3 ab	107,7 ab	32,5 a
DLC90	372,0 a	30,0 ab	635,0 a	346,6 a	115,6 a	33,2 a
D.M.S (5%)	198,3	19,8	262,7 a	184,2	70,5	13,6
C.V. (%)	21,93	22,18	19,05	27,13	28,47	18,21
Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	mg planta ⁻¹					
Testemunha (T)	0,61 b	0,11 a	1,76 b	7,74 b	0,35 b	36,98 b
Padrão (P)	20,22 a	0,22 a	3,81 a	23,04 a	0,65 a	84,14 ab
DLC45	21,79 a	0,78 a	4,03 a	21,70 a	0,63 ab	101,64 a
DLC60	26,62 a	1,13 a	4,15 a	20,11 a	0,71 a	109,83 a
DLC75	20,40 a	0,78 a	4,30 a	21,99 a	0,53 ab	115,52 a
DLC90	21,61 a	1,05 a	3,67 ab	21,69 a	0,63 ab	95,33 ab
D.M.S (5%)	64,93	1,19	1,93	8,05	0,29	59,80
C.V. (%)	14,57	73,17	22,17	17,31	20,83	27,51

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os estoques de nutrientes na parte aérea das plantas de *Eucalyptus* seguiram a ordem K > N > Ca > Mg > P > S (Tabela 11). Na condição de omissão de N, P, K Ca e Mg em duas rotações de *E. grandis* o K foi o nutriente que mais afetou a produtividade da madeira (Rocha *et al.*, 2019b). Em plantas de *Eucalyptus* a adubação potássica favorece o aumento da área foliar (ALMEIDA, 2009; CHRISTINA *et al.*, 2015). Portanto, o fornecimento de K resultou em maior intensidade de interceptação da luz solar e nos processos fotossintéticos, que por sua vez propiciou maior produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 10).

A menor disponibilidade de K no solo é em função do aumento expressivo dos teores de Ca e Mg no solo com a aplicação dos compostos DLC (Tabela 12). Os cátions trocáveis apresentam uma energia de retenção aos colóides do solo, seguindo uma série liotrópica ($Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} > Na^{+}$), assim os cátions monovalentes (K e Na) tendem a ficar mais na solução do solo (Raij, 2011), portanto mais passíveis de serem perdidos pelo processo da lixiviação, sendo o processo mais intenso para o K. Nesse sentido, parte do nutriente foi absorvido e a outra perdida pelo processo de lixiviação.

O suprimento de Ca para as mudas de eucalipto pelos tratamentos DLC e Padrão propiciaram maior teor de Ca no solo em relação à testemunha (Tabela 12) e acúmulo de Ca na parte aérea das plantas de eucalipto (Tabela 11). As cinzas, um dos constituintes do composto,

podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, por disponibilizarem Ca (Maeda; Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015).

Os dregs que estão na composição, apresentam altas concentrações de Ca, nas formas de carbonatos e óxidos de cálcio (Pajara *et al.*, 2003). A sua aplicação aumenta a disponibilidade de Ca no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Medeiros *et al.*, 2009). A lama de cal em comparação a cinzas e o calcário apresenta maior solubilidade (Maeda *et al.*, 2014). Portanto, a aplicação desse resíduo aumentou mais intensamente o teor de Ca no solo em relação ao calcário (Medeiros *et al.*, 2009).

A principal prática utilizada para fornecer esse nutriente para a cultura do eucalipto é pela calagem, que tem como função principal de suprir as espécies florestais e os híbridos de *Eucalyptus* em Ca e Mg e não de corrigir a acidez do solo (Gonçalves *et al.*, 2022), pois são adaptadas a solos ácidos e, portanto, toleram altos teores de AI (Rocha *et al.*, 2019). A aplicação de calcário dolomítico aumenta a fertilidade do solo, principalmente pelo aumento do pH e da disponibilidade de Ca e Mg, o que melhorou o índice de área foliar e o desempenho nutricional das plantas de *E. grandis* (Florentino *et al.*, 2021).

Tabela 12. Análise química do solo após o cultivo de mudas de eucalipto em função dos tratamentos.

Tratamento	P _{resina} mg dm ⁻³	S-SO ₄	K	Ca mmol _c dm ⁻³	Mg	SB
Testemunha (T)	1,5 b	11,0 b	0,3 c	2,7 c	1,7 b	4,6 d
Padrão (P)	31,0 a	24,5 a	2,6 a	24,5 c	12,0 a	39,1 cd
DLC45	40,3 a	10,7 b	1,3 b	217, a	9,7 ab	228,3 a
DLC60	54,3 a	9,3 b	1,4 b	152,0 ab	13,7 a	167,0 ab
DLC75	46,3 a	10,7 b	2,0 ab	113,3 b	11,0 ab	126,3 b
DLC90	41,7 a	9,7 b	1,9 b	98,0 b	14,3 a	114,2 bc
D.M.S (5%)	27,4	4,7	0,7	71,7	10,3	77,7
C.V. (%)	27,83	13,54	16,58	25,79	36,09	24,99
	B	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Zn	Al mmol _c dm ⁻³
Testemunha (T)	0,07 b	0,6 a	17,5 a	7,9 a	0,3 a	4
Padrão (P)	1,42 ab	1,1 a	15,5 ab	6,8 a	3,3 a	0
DLC45	0,69 ab	1,8 a	7,3 c	5,9 a	2,5 a	0
DLC60	1,58 a	0,8 a	9,0 bc	8,1 a	1,0 a	0
DLC75	0,95 ab	0,6 a	5,3 c	4,8 a	1,2 a	0
DLC90	1,21 ab	0,8 a	6,0 c	5,1 a	1,7 a	0
D.M.S (5%)	1,49	2,6	7,1	6,2	4,4	-
C.V. (%)	55,14	97,58	25,59	34,81	97,0	-
	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	CTC mmol _c dm ⁻³	H+Al	V	m
Testemunha (T)	4,6 c	8,5 a	17,6 d	13,0 a	26,0 c	46
Padrão (P)	6,6 b	9,5 a	50,6 cd	11,5 a	77,0 b	0
DLC45	7,7 a	8,7 a	236,3 a	8,0 b	96,3 a	0
DLC60	7,7 a	9,0 a	175,0 ab	8,0 b	95,3 a	0
DLC75	7,7 a	8,7 a	134,3 b	8,0 b	94,0 a	0
DLC90	7,7 a	9,7 a	122,2 bc	8,0 b	92,7 a	0
D.M.S (5%)	0,1	2,1	77,7	2,3	8,2	-
C.V. (%)	0,83	8,49	23,10	8,94	3,74	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
(Tabela Elaborada pelo próprio autor.)

A redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico associado ao composto DLC (Tabela 5) propiciou fornecimento de Ca semelhante a aplicação de 1100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (padrão da empresa). Produtos alternativos como as cinzas de biomassa de eucalipto fornece Ca em plantações florestais (Rocha *et al.*, 2019), podendo ser utilizada como fertilizante na floresta (Scheepers; Du Toit, 2016), são mais equilibradas nutricionalmente em relação a lama de cal e podem, com restrições, ser comparadas aos fertilizantes formulados (Maeda *et al.*, 2021) e pode substituir a calagem (Barreto, 2008). Portanto, o suprimento adequado de Ca pelos resíduos constituintes do composto DLC resultou em maior produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 10).

O fornecimento de Mg para as mudas de eucalipto pelos tratamentos DLC e Padrão propiciaram maior teor de Mg no solo em relação à testemunha (Tabela 12), e acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas de eucalipto (Tabela 11).

O composto DLC apresenta baixa concentração de Mg (0,625% de Mg) (Tabela 3) em relação ao calcário dolomítico (12% de Mg) (Tabela 2). Assim, a principal fonte de Mg para as plantas de eucalipto foi proveniente da aplicação de 900 kg ha⁻¹ de calcário (Tabela 5). Portanto, a redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico associado ao composto DLC (Tabela 5) propiciou fornecimento de Mg semelhante a aplicação de 1100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (padrão da empresa).

As cinzas, um dos constituintes do composto, podem ser utilizadas como sucedâneos aos calcários, por disponibilizarem Mg (Maeda; Bognola, 2013). Também tem em sua composição o dregs que apresentam altas concentrações de Ca (Pajara *et al.*, 2003). A sua aplicação aumenta a disponibilidade de Ca e Mg no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008). A inibição da absorção de Mg é induzida pelo aumento nas concentrações de Ca na solução do solo (Marschner, 2012). Portanto, o uso de produtos com alta concentração de Ca sem o fornecimento de Mg pode induzir uma deficiência de Mg (Rocha *et al.*, 2019). Nesse sentido, a aplicação do calcário dolomítico foi a principal fonte de Mg para as plantas de eucalipto.

A aplicação de todos os compostos DLC e o Padrão proporcionaram maior acúmulo de S na parte aérea das plantas em relação à testemunha (Tabela 11). A redução de 140 kg ha⁻¹ de Superfosfato simples (00-17-00 + 10% de S) associado ao composto DLC (Tabela 5) propiciou fornecimento de S semelhante a aplicação do Padrão. No entanto, após o término do cultivo das plantas de eucalipto, os teores de S no solo que receberam os compostos DLC foram menores que o tratamento Padrão e não diferiram da testemunha (Tabela 12).

Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs + grits resultou na elevação do pH do solo e, conseqüentemente, no aumento da disponibilização de S no mesmo. Assim, o aumento de S no solo pode ser atribuído de forma indireta ao aumento do pH do solo (Malavolta, 1979). No entanto, o teor de MOS é baixa (Tabela 12), sendo essa a principal fonte de S do solo (Malavolta, 2006). Nesse sentido, o aumento do acúmulo S nas plantas pode ser atribuído ao seu fornecimento pela aplicação do composto DLC associado a adubação da empresa e tratamento Padrão, sendo que a aplicação do composto disponibilizou mais o nutriente em função da correção da acidez do solo. Vale destacar que a redução do seu fornecimento via adubo mineral (00-17-00 + 10% de S) não diferiu do composto DLC.

Trigueiro (2006) também constatou que a aplicação de dregs + grits não influenciou nos teores de B no solo, entretanto, diminuiu o acúmulo do nutriente do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. O solo utilizado no experimento apresenta baixo teor de B ($0,09 \text{ mg dm}^{-3}$ de B) e o composto de DLC aplicado tem baixíssima concentração de B em sua composição (0,0005% de B) (Tabela 3). No manejo nutricional da empresa, o B é fornecido para a cultura do eucalipto pelos adubos 00-17-00 (0,5% de B) e 09-00-30 (1,8% de B) (Tabela 2). Nesse sentido, o fornecimento desse nutriente no solo está associado ao adubo 09-00-30, sendo que a remoção total da formulação 00-17-00 não causou prejuízos para o crescimento das plantas de eucalipto (Tabela 10). A aplicação do composto DLC60 propiciou maior teor de B no solo em relação à testemunha (Tabela 12) e acúmulo de B na parte aérea das plantas em relação à testemunha (Tabela 11).

A aplicação do composto DLC aumentou o pH do solo (Tabela 12). Tal efeito, pode ser explicado pelo aumento do pH em função da aplicação de resíduos (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Maeda; Bognola, 2013; Maeda *et al.*, 2014; Maeda *et al.*, 2015). A correção da acidez do solo com a elevação do pH do mesmo reduz a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Malavolta, 1979; Bataglia, 1991; Rhoton, 2000; Aubert *et al.*, 2010; Dechen *et al.*, 2018).

No presente estudo a aplicação do composto DLC não influenciou na disponibilidade de Cu no solo e no seu acúmulo na parte aérea das plantas (Tabela 11 e 12). O composto associado ao adubo 12-24-12 que tem 0,7% de Cu, o que evidencia que correção da acidez do solo, aliada ao fornecimento de Cu pela adubação não afeta na disponibilidade do nutriente no solo. A adubação com Cu associada ao fornecimento de Ca e Mg pela calagem pode promover implicações positivas no aumento da disponibilidade de Cu no solo para beneficiar o estado nutricional das árvores de *E. grandis* e melhorar o desenvolvimento das plantas (Florentino *et al.*, 2021). Nesse sentido, deve-se ter cuidado na aplicação de resíduos que elevam muito o pH do solo sem o devido fornecimento de Cu.

A aplicação dos compostos DLC resultou na menor disponibilidade Fe no solo em relação à testemunha e ao Padrão (Tabela 12). Tal efeito, está associado à elevação do pH do solo com a aplicação do composto, sendo que esse propiciou maior pH em relação ao Padrão. A correção da acidez do solo com a elevação do pH do mesmo reduz a disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Malavolta, 1979; Bataglia, 1991; Rhoton, 2000; Aubert *et al.*, 2010; Dechen *et al.*, 2018).

Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs não influenciou na disponibilidade de Fe no solo e no seu acúmulo nas plantas *Eucalyptus*. Maeda *et al.* (2015) constataram que a

aplicação de cinzas não modificou a concentração foliar de Fe do *E. benthammi*. O menor teor de Fe deve-se também a maior absorção do nutriente, que pode ser constatada pelo seu maior acúmulo na parte aérea das plantas com a aplicação dos compostos DLC em relação à testemunha (Tabela 11).

A aplicação dos tratamentos não influenciou nos teores de Mn no solo (Tabela 12). No entanto, a aplicação dos compostos DLC e Padrão propiciaram maior acúmulo de Mn na parte aérea das plantas em relação à testemunha (Tabela 11). Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs + grits não influenciou na disponibilidade de Mn no solo, mas diminuiu o seu acúmulo nas plantas de *Eucalyptus*. Maeda *et al.* (2015) constataram que a aplicação de cinzas reduziu a concentração foliar de Mn do *E. benthammi*. Embora seja esperado que com a correção da acidez do solo ocorra a redução na disponibilidade dos microcatiônicos (Malavolta, 1979; Bataglia, 1991; Rhoton, 2000; Aubert *et al.*, 2010) e, consequentemente, na absorção de Mn (Dechen *et al.*, 2018). Na presente pesquisa, a aplicação do composto DLC aumentou o pH do solo, mas não influenciou nos teores do nutriente no mesmo (Tabela 12).

As espécies de *Eucalyptus* são mais suscetíveis a toxicidade propiciada por elevados níveis de Mn no solo do que Al (Gomes *et al.*, 2019; Rocha *et al.*, 2019). Além disso, são altamente tolerantes a solos ácidos e a altos níveis de Al, e em baixa concentração é um elemento benéfico para espécie (Rocha *et al.*, 2019). Nesse sentido, a aplicação do composto DLC possibilita a redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico.

Em relação ao Zn, a aplicação do DLC60 e Padrão propiciaram maior acúmulo do nutriente na parte aérea das plantas, sendo superior à testemunha (Tabela 11). No entanto todos os tratamentos não influenciaram no teor de Zn no solo (Tabela 12). Embora seja esperado que com a correção da acidez do solo ocorra a redução na disponibilidade dos micronutrientes catiônicos (Malavolta, 1979; Bataglia, 1991; Rhoton, 2000; Aubert *et al.*, 2010) e, consequentemente, na absorção de Zn (Dechen *et al.*, 2018).

Trigueiro (2006) constatou que a aplicação de dregs + grits não influenciou na disponibilidade de Zn no solo, mas diminuiu o seu acúmulo no híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. O composto DLC associado ao adubo 12-24-12 que tem 0,7% de Zn, o que evidencia que, a correção da acidez do solo, aliada ao fornecimento de Zn pela adubação não afeta no suprimento do nutriente para as plantas. A adubação com Zn associada ao fornecimento de Ca e Mg pela calagem pode promover implicações positivas no aumento da disponibilidade de Zn no solo para beneficiar o estado nutricional das árvores de *E. grandis* e melhorar o desenvolvimento das plantas (Florentino *et al.*, 2021). Nesse sentido, deve-se ter cuidado na aplicação de resíduos que elevam muito o pH do solo sem o devido fornecimento de Zn.

A aplicação dos compostos DLC45, DLC60 e DLC75 resultaram no maior acúmulo de Na em relação à testemunha (Tabela 11). Tal efeito, deve-se a aplicação de Na presente em maior quantidade nesses compostos (Tabela 10) que foram suficientes para aumentar o seu acúmulo na parte aérea das plantas de eucalipto em relação à testemunha. No entanto, esse maior conteúdo do elemento na parte aérea das plantas de eucalipto não influenciou negativamente no seu crescimento (Tabela 10). Esses tratamentos propiciaram maior teor de Ca e Mg no solo em relação à testemunha (Tabela 12). Os cátions trocáveis apresentam uma energia de retenção aos coloides do solo, seguindo uma série liotrópica ($Al^{3+} >> Ca^{2+} > Mg^{2+} >> K^+ > Na^+$), assim os cátions monovalentes (K e Na) tendem a ficar mais na solução do solo (Raij, 2011), portanto mais passíveis de serem perdidos pelo processo da lixiviação, sendo o processo mais intenso para o Na. Nesse sentido, parte do elemento foi absorvido e a outra perdida pelo processo de lixiviação.

A aplicação de elevadas doses de resíduos (dregs e grits) aumenta o teor de Na no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008; Cabral *et al.*, 2008) que pode influenciar negativamente nos atributos físicos do solo (Arruda, 2012; Maciel *et al.*, 2015), na contaminação das águas subterrâneas, na diminuição da atividade microbiana do solo e causar fitotoxidez nas folhas (Trigueiro, 2006). Assim, pode influenciar negativamente na qualidade do solo, o que pode causar prejuízos para o crescimento e desenvolvimentos das plantas.

Na presente pesquisa, as quantidades fornecidas de Na foi inferior em relação ao avaliado em alguns estudos (Almeida *et al.*, 2010; Battie-Laclau *et al.*, 2013; Castro *et al.*, 2017) sendo constatado nesses, alguns benefícios do elemento para a cultura do eucalipto. Assim, as quantidades aplicadas do composto DLC não influenciaram negativamente no crescimento das plantas de eucalipto (Tabela 10).

A aplicação dos compostos DLC propiciaram maior SB e CTC do solo em relação à testemunha e o Padrão e não influenciaram na MOS (Tabela 12). O aumento dos cátions trocáveis (K, Ca e Mg) no solo, principalmente, de Ca (Tabela 12) em função da aplicação dos compostos, como a CTC efetiva é calculada pela soma dos cátions trocáveis, esse atributo aumentou com a aplicação dos resíduos.

O composto tem em sua composição o dregs que apresenta alta concentração de Ca (Pajara *et al.*, 2003), elevando assim a disponibilidade de Ca no solo (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008). Também, é constituído pelas cinzas de biomassa de eucalipto, no qual a sua aplicação aumentou o teor de Ca do solo (Maeda; Bognola, 2013; Maciel *et al.*, 2015; Maeda *et al.* 2018, Moretti Neto, 2020). O composto tem em sua composição a lama de

cal que propicia aumento de Ca mais intenso no solo em relação ao calcário (Medeiros *et al.*, 2009), o que resultou no aumento da CTC e SB do solo.

A aplicação de todos os tratamentos do composto DLC e Padrão neutralizaram todo o Al e m% do solo em relação à testemunha (Tabela 12). A redução de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico associado ao composto (Tabela 5) propiciou neutralização de Al semelhante a aplicação de 1100 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (padrão da empresa). Tal fato, pode ser atribuído a presença de cinzas no composto, pois a sua aplicação proporcionou a redução nos teores de Al no solo (Maeda; Bognola, 2013). Quando combinada com a lama de cal reduziu o Al e m% do solo (Maeda *et al.*, 2015).

A aplicação do composto DLC propiciou maior V% e reduziu H+Al em relação à testemunha e o Padrão (Tabela 12). Esse tem em sua composição o dregs, em que a sua aplicação aumentou saturação por bases do solo (V%) (Albuquerque *et al.*, 2002; Trigueiro, 2006; Barreto, 2008) e a cinza de biomassa de eucalipto e a lama de cal, no qual a sua aplicação aumentou a V% do solo (Maciel *et al.*, 2015; Maeda *et al.*, 2015).

6. CONCLUSÕES

Ambos compostos combinados ao adubo mineral propiciaram maior crescimento e acúmulo de nutrientes às mudas de eucalipto em comparação à testemunha e não diferiram da adubação Padrão da empresa (fertilizantes e corretivos no manejo nutricional da empresa).

O uso dos dois compostos permite eliminar totalmente o uso do adubo (00-17-00) sem prejudicar o fornecimento de P, Ca, B, Cu e Zn no manejo nutricional. Além disso, a quantidade de calcário dolomítico aplicada pode ser reduzida. Em teoria, este poderia ser completamente removido, caso uma fonte alternativa ao calcário dolomítico (12% de Mg) fosse utilizada para suprir o magnésio, uma vez que a baixa concentração desse nutriente nos compostos (mistura de resíduos) não atende à demanda da planta no manejo nutricional da empresa.

Quanto às quantidades dos compostos aplicados, podem ser utilizadas as doses mínimas de 2,8 e 4,3 t ha⁻¹ (DGC e DLC, respectivamente), pois não houve diferença na eficiência entre os níveis de 45, 60, 75 e 90% (da maior para a menor dose, respectivamente). Essas porcentagens correspondem à quantidade teórica de nutrientes solubilizados e, portanto, liberados para o solo após a aplicação.

O composto DGC (composto por 50,0% de dregs, 8,3% de grits e 41,7% de cinzas) destacou-se em comparação ao DLC, por ser uma mistura equilibrada de resíduos e conter uma quantidade significativa de cinzas de biomassa de eucalipto. Isso o torna nutricionalmente mais balanceado em relação ao dregs e grits, resultando em uma relação adequada de Ca:Mg e Ca:K, o que evita o desbalanceamento dos nutrientes.

A utilização da lama de cal no composto DLC proporcionou maior crescimento das mudas de eucalipto em relação à testemunha e não diferiram da adubação padrão. Porém, o resíduo neutralizou muito a acidez do solo (alta saturação por bases), o que pode ocasionar além das perdas de K pelo processo da lixiviação (menor presença de K no complexo de troca e mais na solução do solo), a menor absorção do nutriente em função alta relação Ca:K em decorrência da elevada quantidade de Ca na constituição da lama de cal.

Por fim, para validação dos resultados é de suma importância a avaliação da aplicação dos melhores tratamentos obtidos na pesquisa na condição de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: **Resíduos sólidos** – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ARRUDA, O. G., *et al.* Comparação de custos de implantação de eucalipto com resíduo celulósico em substituição ao fertilizante mineral. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 576-583, 2011.

ARRUDA, O. G. **Uso de resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de cerrado cultivado com eucalipto e espécie arbórea nativa**. 2012. 101 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2012.

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da Madeira de Clones de Eucalyptus grandis e Eucalyptus Saligna e Eucalyptus grandis x urophylla**. Piracicaba SP. ESALQ/USP. 151p. 2004 (Tese de Doutorado).

ALBUQUERQUE, J. A. *et al.* Propriedades físicas e químicas de solos incubados com resíduo alcalino da indústria de celulose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 1065–1073, dez. 2002.

ALMEIDA, H. C. *et al.* **Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (DREGS)**. Química Nova, v. 30, n. 7, p. 1669–1672, 2007

BARRETTO, V. C. M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto**. 2008. vii, 64 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.

BELLOTE, A. *et al.* **RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM PLANTIOS FLORESTAIS**. Boletim de Pesquisa Florestal, v. 37, p. 99–106, 1998.

BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D. da; Andrade, G. de C. **Efecto de la aplicacion de ceniza de caldera y residuo de celulosa en el suelo y en el crecimiento de Eucalyptus grandis**. Bosque, Valdivia, v.16, n.1, p.95-100, 1995.

BEAR, F. E., TOTH, S. J. **Influence of Ca on availability of other soil cations**. Soil Science, v. 65, n. 1, p. 69-75, 1948.

BROOKER, I.; KLEINIG, D. **Field guide to eucalypts**. Melbourne, Vic: Bloomings Books, 1999.

BONINI, C. S. B., *et al.* Produção de braquiária em área degradada em recuperação utilizando lodo de esgoto e adubação mineral. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 4, n. 3, p. 166-174, 2010.

BONINI, C. S. B. **Restauração ecológica de um solo decapitado sob intervenção antrópica há 17 anos**. Ilha Solteira: FEIS/UNESP, 2012. 167p. Tese Doutorado

BONINI, C. S. B. *et al.* **Green manure and sewage sludge used to recover the fertility of a degraded Oxisol.** *International Journal of Sciences*, v. 2, p. 49-57, 2013.

BONINI, C. S. B. *et al.* Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015a.

BONINI, C. S. B. *et al.* Recuperação da estrutura de um Latossolo vermelho degradado utilizando lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 1, p. 34-42, 2015b.

Cabral, F., VASCONCELOS, E. **Agricultural use of combined primary/ secondary pulpmill sludge.** *Agrochimica*, v. 37, p. 409-417, 1993.

CASTRO, F. *et al.* **Utilisation of pulp and paper industry wastes as raw materials in cement clinker production.** *International Journal of Materials Engineering Innovation*, v. 1, n. 1, p. 74-90, 2009.

CASTRO, M. M. **Custo com adubação de plantio de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) utilizando programação linear: estudo de caso de uma propriedade rural do Distrito Federal - BR.** 2011. 21 f. Dissertação Parcial (Mestrado em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

CAMBERATO, J. J., *et al.* Pulp and paper mill by-products as soil amendments and plant nutrient sources. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 86, n. 4, p. 641-653, 2006.

Cprh; **Roteiro complementar de licenciamento e fiscalização: indústria de papel e celulose**, Companhia Pernambucana do Meio Ambiente: Recife, 1998.

Cohn, P. E.; Ribeiro, R. N.; **Resumos do 35º Congresso e Exposição Anual da Celulose e Papel**, São Paulo, Brasil, 2002.

CHIGBO, C., *et al.* **Use of pulp mill biosolids to stimulate forest plant growth on an industrial footprint with marginal soil.** *Environmental Challenges*, v. 8, 100545, 2022.

DEDECEK, R. A.; Bellote, A. F. J. **Uso de resíduos de colheita e industriais em plantações de eucaliptos.** Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 4 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 221).

EIKELBOOM, M., *et al.* **A multi-criteria decision analysis of management alternatives for anaerobically digested kraft pulp mill sludge.** *PLOS ONE*, v. 13, n. 1, e0188732, 2018.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v. 6, n. 1, p. 36-41, 2008

GALLARDO, F., *et al.* Kraft mill sludge to improve vegetal production in Chilean Andisol. *Water Science & Technology*, v. 55, n. 6, p. 31-37, 2007.

GALLARDO, F., *et al.* Use of sludge from kraft mil wastewater treatment as improver of volcanic soils: effect on soil biological parameters. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, v. 10, n. 1, p. 48-61, 2010.

GALLARDO, F., *et al.* Effect of pulp mill sludge on soil characteristics, microbial community and vegetal production of *Lolium Perenne*. *Journal of Environmental Management*, v. 95, p. 193-198, 2012

GIÁCOMO, R. G. *et al.* Soil fauna: Bioindicator of soil recovery in Brazilian savannah. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.2, p.236-243, 2017a.

GIÁCOMO, R. G. *et al.* Litterfall and Nutrient Input in a Degraded Area. **Floresta e Ambiente**, v. 24: e20160028, 2017b.

GIÁCOMO, R. G. *et al.* Performance of species *Mabea fistulifera* and *Eucalyptus urograndis* with use of cellulose residue in degraded áreas. **Floresta**, v. 49, n. 2, p. 363-372, 2019b.

GRATTAPAGLIA, D.; KIRST, M. *Eucalyptus* applied genomics: from gene sequences to breeding tools. **New Phytologist**, v. 179, n. 4, p. 911–929, 6 ago. 2008.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. Relatório 2021. 2021. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2023.

KINNARINEN, T. *et al.* Separation, treatment and utilization of inorganic residues of chemical pulp mills. **Journal of Cleaner Production**, v. 133, p. 953-964, 2016.

MAEDA, S.; Bognola, I. A. **Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 169-177, 2013.

MAEDA, S., *et al.* **Resultados de pesquisa com lodo gerado na estação de tratamentos de efluentes de aparas de papel como insumo florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2013. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 2013).

MAEDA, S., *et al.* **Crescimento de *Eucalyptus benthamii* submetido à aplicação de lama de cal e cinza de madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2015. 9 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 373)

MAEDA, S., *et al.* **Aplicação de resíduos agropecuários, urbanos e industriais em plantios de eucalipto**. In: Oliveira, E. B.; PINTO JUNIOR, J. E. (Eds.). O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Embrapa Florestas, 2021, p. 556-587.

MALAVOLTA, E., *et al.* **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 317 p.

MACIEL, T. M. S., *et al.* Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo da extração de celulose. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n.1, p. 84-90, 2015.

MACHADO, S. *et al.* **GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO Governador: Miguel Arraes de Alencar SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/celulose.pdf>>.

MACHADO, C.C.; SANTANNA, G.L.; LIMA, D.C.; CARVALHO, C.A.; PEREIRA, R.S.; FERNANDES, D.C.M. Comportamento geotécnico de misturas granulométricas de solo-grits. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.555-562, 2009

MANIRAKIZA, E., *et al.* **Nitrogen mineralization and microbial biomass carbon and nitrogen in response to co-application of biochar and paper mill biosolids**. Applied Soil Ecology, S092913931831446X, 2019.

MARTINS, F. M. *et al.* Mineral phases of green liquor dregs, slaker grits, lime mud and wood ash of a kraft pulp and paper mill. **Journal of Hazardous Materials**, v. 147, p. 610-617, 2007.

MEDEIROS, J. C, *et al.* Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 29, n. 4, p. 799-806, 2008.

MEDEIROS C. J. *et al.* Calagem superficial com resíduo alcalino na indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 6, p. 1657-1665. 2009.

MESQUITA, L. *et al.* **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO RESÍDUO DE CELULOSE (GRITS) PARA SEU EMPREGO EM ARGAMASSAS: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/58/PDF/13-101.pdf>. Acesso em: 27 maio. 2023.

MORRIS, L.A.; NUTTER, W.L. **Pinus taeda seedling growth following application of ash and sludge residues from Kraft pulp mills: glasshouse and first year field trial.** In . POLGLASE, P.J.; TUNNIGLEY (eds.). **14 LAND TREATMENT COLECTIVE MEETING - LAND APPLICATION OF WASTES IN AUSTRALIA AND NEW ZEALAND RESEARCH AND PRATICE Proceedings.** Camberra: 1994, p. 56-66.

MORETTI NETO, M. J. **Cinza de biomassa de eucalipto como corretivo de acidez de solo e fonte de nutrientes para o capim massai inoculado ou não com Azospirillum brasilense.** 2020. 142 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2020.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A Cultura do Eucalipto no Brasil.** São Paulo: SBS, 112p. 2000.

MONTE, M.C. *et al.* **Waste management from pulp and paper production in the European Union.** *Waste management*, v. 29, n. 1, p. 293-308, 2009

NUNES, J. R., *et al.* **Short-term effects on soil properties and wheat production from secondary paper sludge application on two Mediterranean agricultural soils.** *Bioresource Technology*, v. 99, n. 11, p. 4935-4942, 2008.

NURMESNIEMI, H. *et al.* **A case study of waste management at the Northern Finnish pulp and paper mill complex of Stora Enso Veitsiluoto Mills.** *Waste Management*, v. 27, n. 12, p. 1939-1948, 2007.

NURMESNIEMI, H. *et al.* **Total and extractable heavy metal, phosphorous and sulfur concentrations in slaker grits from the causticizing process of a pulp mill for use as a soil amendment.** *Chemical Speciation and Bioavailability*, v.22, p. 87-97, 2010.

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. **Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais.** In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). *Nutrição e fertilização florestal.* Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 386-414

OLIVEIRA, J. T.; S. HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; FILHO, M. T. **Caracterização da Madeira de Sete Espécies de Eucaliptos para a Construção Civil: 1- Avaliações Dendrométricas das Árvores.** *Scientia Forestalis* n. 56, p. 113-124, dez. 1999.

OKSANEN, J. *et al.* **Comparison of Untreated, Lime-Stabilised and Composted Wastewater Sludges from a Pulp, Board and Paper Mill Integrate as a Fertiliser Product.** *Journal of Ecological Engineering*, v. 22, n. 5, p. 47-58, 2021.

PERTILE, P., *et al.* Application of alkaline waste from pulp industry to acid soil with pine. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 939-950, 2012.

PEREIRA, J.C.D.; *et al.* **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. Embrapa Florestas. Documentos, 38.

PINHEIRO, A. L.; PINHEIRO, D. T.; COUTO, L. Dendrologia. In: VALE, A. B. *et al.* **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa, MG: SIF, 2014

PÖYKIÖ, R., *et al.* **Characterization of primary and secondary wastewater treatment sludge from a pulp and board mill complex to evaluate the feasibility of utilization as a soil amendment agent and a fertilizer product**. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, v. 3, n. 3, p. 88-95, 2018.

QUEIROZ, L.R.S. & BARRICHELLO, L.E.G. 1. ed. **O Eucalipto: um século no Brasil – 1908-2008**. Antônio Belline. Duratex. São Paulo, 2007.

QUEIROZ, A. M., SILVA, Z. A. P. G. **Aspectos econômicos dos plantios com eucalipto (*Eucalyptus* spp.) na região do baixo Acre**. *Floresta*, v. 46, p. 287-296, 2016.

RAIJ, B. van., *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

ROYER-TARDIF, S. *et al.* **Can alkaline residuals from the pulp and paper industry neutralize acidity in forest soils without increasing greenhouse gas emissions?** *Science of the Total Environment*, v. 663, p. 537-547, 2019.

STAPE, J. L.; BALLONI, E. A. **O uso de resíduos da indústria de celulose como insumo na produção florestal**. IPEF, n. 40, p. 33-37, 1988.

SANTOS, H. G. *et al.* (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 2014. 376 p.

SCARPINELLA, G. D' A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Kyoto**. 2002. 182f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2002.

SÉRGIO, V.; VALERI. universidade estadual paulista “júlio de mesquita filho” faculdade de ciências agrárias e veterinárias campus de jaboticabal. **RESÍDUOS DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NA FERTILIDADE DO SOLO E NO DESENVOLVIMENTO DE EUCALIPTO** Vitor Corrêa de Mattos Barretto. 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/105180/barretto_vcm_dr_jabo.pdf?sequence=1>.

SIMÃO, L. *et al.* **Wastes from pulp and paper mills - a review of generation and recycling alternatives**. *Cerâmica*, v. 64, n. 371, p. 443-453, 2018.

STAPE, J. L.; BALLONI, E. A. **O uso de resíduos da indústria de celulose como insumo na produção florestal**. IPEF, n. 40, p. 33-37, 1988.

SOUZA, T. I.; CARDOSO, A. V. **Utilização de resíduos sólidos da indústria de celulose kraft na fabricação de cimento: caracterização físicoquímica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 18., 2008. Porto das Galinhas. Anais...Porto das Galinhas, 2008. 1 CD-ROM.

Sperling, M. von; Costa, A. M. L. M. da; Castro, A.; **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**, DESA/UFMG: Belo Horizonte, 1995.

SUZANO CELULOSE E PAPEL. **Visão geral do setor**. 2009. Disponível em: <<http://suzano.foinvest.com.br/modulos/doc.asp?arquivo=00406030.wan&doc=ian370.doc&language=ptb>>. Acesso em: 02 jun. 2023.

Trigueiro, R. M. **Efeito de “dregs e grits” nos atributos de um Neossolo Quartzarenico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 85 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

TOLEDO, F. H. S. F., *et al.* Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, p. 711-716, 2015.

UGURLU, M., *et al.* The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by electrocoagulation. **Journal of Environmental Management**, v. 87, n. 3, p. 420-428, 2008.

VENTURIN, N. *et al.* Histórico. In: VALE, A. B. *et al.* **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa, MG: SIF, 2014.

VOEGEL H. *et al.* **UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CALDEIRA DE BIOMASSA COMO FONTE DE NUTRIENTES EM *Acacia mearnsii* DE WILD**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Voluntario_66.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2023.

Wang, Q. R.; Cui, Y. S. ; Liu, X. M. ; Dong, Y. T. ; Christie, P. ; *J. Environ. Sci. H., Part A: - Toxic/H. Subst. & Environ. Eng.* **2003**, 38, 174.

WALDEMAR, C. J.; HERRERA, J. **Avaliação do potencial de utilização de Dregs e do Grits como corretivo da acidez e fertilizante na agricultura**. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 19., 1986, São Paulo. Anais... São Paulo: ABCP, 1986. p. 447-453.

ZHANG, X., *et al.* **Soil phosphorus fractionation as affected by paper mill biosolids applied to soils of contrasting properties**. *Frontiers in Environmental Science*, v. 8, 2020.

ANEXO I - Características físico-químicas dos resíduos (Dregs, Grits, Cinzas e Lama de cal) proveniente da produção de celulose de eucalipto obtida junto a Eldorado Brasil de Três Lagoas - MS.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise: C 3

No. Cliente: 9647

[Interessado]

Nome: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço.: RODOVIA BR 158 S/N.

Município: TRES LAGOAS, MS

[Proprietário]

Propriedade: DREGS

Município.: TRES LAGOAS, SP

Identificação da amostra: AMOSTRA

No. Laboratório: C- 1568

RESULTADOS DE ANALISE DE CORRETIVOS

Determinação	Análise	%
Oxido de Calcio	CaO	18,37
Oxido de Magnésio	MgO	4,84
Soma de Oxidos		23,21
Carbonato de calcio	CaCO ₃	32,88
Carbonato de magnésio	MgCO ₃	12,00
Soma de carbonatos		44,88
Silica e insolúveis		0,74
P N		38,70
Granulometria	Tyler abertura Mesh (mm)	
	10 2,000	100,00
	20 0,840	100,00
	50 0,297	99,17
P R N T		38,57

(**) Elemento não analisado.

Data de emissão: 02/09/2014

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-

R\$ 69,00



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise F02

No. Cliente: 9647

Proprietário: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço.....: DREGS

Município....: TRES LAGOAS, MS

Identificação da amostra: AMOSTRA 5

No. de laboratório: R- 2667

Data de emissão: 08/09/2014

RESULTADOS DE ANALISES DE MATERIAL ORGANICO

DETERMINAÇÕES	UMIDADE NATURAL	BASE SECA	
		60-65°C	110°C
pH em CaCl ₂ 0,01M.....	10,8		
Densidade(g/cm ³).....	0,78		
Umidade perdida a 60-65°C(%).....	60,06		
Umidade perdida entre 65 e 110°C(%)...	0,64		
Umidade total(%).....	60,70		
Inertes.....	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica total (combustão)(%)...	3,11	7,79	7,91
Matéria orgânica compostável(%).....	2,14	5,36	5,45
Matéria org. resistente à compost.(%)...	0,98	2,45	2,49
Carbono total (orgânico e mineral)(%)...	1,73	4,33	4,40
Carbono orgânico(%).....	1,19	2,98	3,03
Resíduo mineral total(%).....	36,19	90,61	92,09
Resíduo mineral insolúvel(%).....	0,34	0,85	0,87
Resíduo mineral solúvel(%).....	35,85	89,76	91,22
Nitrogênio total(%).....	0,14	0,15	0,15
Fósforo (P ₂ O ₅) total(%).....	0,17	0,43	0,43
Potássio (K ₂ O) total(%).....	0,04	0,10	0,10
Calcio (Ca) total(%).....	11,98	29,99	30,48
Magnésio (Mg) total(%).....	1,23	3,08	3,13
Enxofre (S) total(%).....	0,55	1,38	1,40
Relação C/N (C total e N total).....	31/1	31/1	31/1
Relação C/N (C orgânico e N total)....	21/1	21/1	21/1
Cobre (Cu) total(mg/kg).....	159	398	405
Manganês (Mn) total(mg/kg).....	6625	16587	16858
Zinco (Zn) total(mg/kg).....	336	841	855
Ferro (Fe) total(mg/kg).....	2967	7429	7550
Boro (B) total(mg/kg).....	1	3	3
Sódio (Na) total(mg/kg).....	6922	17331	17613

(**) Elemento não analisado. (Amostra fornecida pelo interessado).

R\$ 124.00

Prof.Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise: C 3

No.Cliente: 9647

[Interessado]

Nome: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço.: RODOVIA BR 158 S/N.

Município: TRES LAGOAS, MS

[Proprietário]

Propriedade: GRITS

Município.: TRES LAGOAS, SP

Identificação da amostra: AMOSTRA

No.Laboratório: C- 1569

RESULTADOS DE ANALISE DE CORRETIVOS

Determinação	Análise	%
Oxido de Calcio	CaO	50,06
Oxido de Magnésio	MgO	0,64
Soma de Oxidos		50,70
Carbonato de calcio	CaCO ₃	89,61
Carbonato de magnésio	MgCO ₃	1,59
Soma de carbonatos		91,20
Silica e insolúveis		2,34
P N		89,50
Granulometria	Tyler abertura Mesh (mm)	
	10 2,000	46,65
	20 0,840	35,57
	50 0,297	20,14
P R N T		28,29

(**) Elemento não analisado.

Data de emissão: 02/09/2014

Prof.Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-

R\$ 69,00



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise F02

No.Cliente: 9647

Proprietário: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço..... GRITS

Município.... TRES LAGOAS, MS

Identificação da amostra: AMOSTRA 6

No. de laboratório: R- 2668

Data de emissão: 08/09/2014

RESULTADOS DE ANALISES DE MATERIAL ORGANICO

DETERMINAÇÕES	UMIDADE NATURAL	BASE SECA	
		60-65°C	110°C
pH em CaCl ₂ 0,01M.....	12,3		
Densidade(g/cm ³).....	1,28		
Umidade perdida a 60-65°C(%).....	13,47		
Umidade perdida entre 65 e 110°C(%)...	0,41		
Umidade total(%).....	13,88		
Inertes.....	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica total (combustão)(%).....	0,78	0,90	0,91
Matéria orgânica compostável(%).....	0,47	0,54	0,55
Matéria org. resistente à compost.(%).....	0,31	0,36	0,36
Carbono total (orgânico e mineral)(%).....	0,44	0,51	0,51
Carbono orgânico(%).....	0,26	0,30	0,30
Resíduo mineral total(%).....	85,34	98,62	99,09
Resíduo mineral insolúvel(%).....	1,95	2,25	2,26
Resíduo mineral solúvel(%).....	83,39	96,37	96,83
Nitrogênio total(%).....	0,12	0,14	0,14
Fósforo (P ₂ O ₅) total(%).....	1,06	1,23	1,23
Potássio (K ₂ O) total(%).....	0,08	0,09	0,09
Calcio (Ca) total(%).....	36,81	42,34	42,74
Magnésio (Mg) total(%).....	0,45	0,52	0,52
Enxofre (S) total(%).....	0,27	0,31	0,31
Relação C/N (C total e N total).....	4/1	4/1	4/1
Relação C/N (C orgânico e N total).....	2/1	2/1	2/1
Cobre (Cu) total(mg/kg).....	11	13	13
Manganês (Mn) total(mg/kg).....	138	159	160
Zinco (Zn) total(mg/kg).....	45	52	52
Ferro (Fe) total(mg/kg).....	3243	3748	3766
Boro (B) total(mg/kg).....	3	3	3
Sódio (Na) total(mg/kg).....	13403	15489	15563

(##) Elemento não analisado. (Amostra fornecida pelo interessado).

R\$ 124,00

Prof.Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise: C 3

No.Cliente: 9647

[Interessado]

Nome: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço.: RODOVIA BR 158 S/N.

Município: TRES LAGOAS, MS

[Proprietário]

Propriedade: CINZAS

Município.: TRES LAGOAS, SP

Identificação da amostra: AMOSTRA

No.Laboratório: C- 1572

RESULTADOS DE ANALISE DE CORRETIVOS

Determinação	Análise	%
Oxido de Calcio	CaO	10,19
Oxido de Magnésio	MgO	0,56
Soma de Oxidos		10,75
Carbonato de calcio	CaCO ₃	18,24
Carbonato de magnésio	MgCO ₃	1,39
Soma de carbonatos		19,63
Silica e insolúveis		60,24
P N		17,10
Granulometria	Tyler abertura Mesh (mm)	
	10 2,000	99,81
	20 0,840	95,35
	50 0,297	81,58
P R N T		15,52

(**) Elemento não analisado.

Data de emissão: 02/09/2014

Prof.Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-

R\$ 69,00



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise F02

No. Cliente: 9647

Proprietário: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço.....: CINZAS

Município....: TRES LAGOAS, MS

Identificação da amostra: AMOSTRA 7

No. de laboratório: R- 2671

Data de emissão: 08/09/2014

RESULTADOS DE ANALISES DE MATERIAL ORGANICO

DETERMINAÇÕES	UMIDADE NATURAL	BASE SECA	
		60-65°C	110°C
pH em CaCl ₂ 0,01M.....	12,3		
Densidade(g/cm ³).....	1,11		
Umidade perdida a 60-65°C(%).....	10,40		
Umidade perdida entre 65 e 110°C(%)...	2,20		
Umidade total(%).....	12,60		
Inertes.....	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica total (combustão)(%)	4,82	5,38	5,51
Matéria orgânica compostável(%).....	2,90	3,24	3,32
Matéria org. resistente à compost.(%)...	1,92	2,14	2,20
Carbono total (orgânico e mineral)(%)...	2,68	2,99	3,07
Carbono orgânico(%).....	1,61	1,80	1,84
Resíduo mineral total(%).....	82,58	92,17	94,49
Resíduo mineral insolúvel(%).....	61,32	68,44	70,16
Resíduo mineral solúvel(%).....	21,26	23,73	24,32
Nitrogênio total(%).....	0,13	0,15	0,15
Fósforo (P ₂ O ₅) total(%).....	0,66	0,74	0,76
Potássio (K ₂ O) total(%).....	2,41	2,69	2,73
Calcio (Ca) total(%).....	6,37	7,33	7,52
Magnésio (Mg) total(%).....	0,75	0,84	0,86
Enxofre (S) total(%).....	1,33	1,48	1,52
Relação C/N (C total e N total).....	21/1	21/1	21/1
Relação C/N (C orgânico e N total)....	13/1	13/1	13/1
Cobre (Cu) total(mg/kg).....	49	55	56
Manganês (Mn) total(mg/kg).....	2681	2992	3068
Zinco (Zn) total(mg/kg).....	65	73	74
Ferro (Fe) total(mg/kg).....	12198	13614	13957
Boro (B) total(mg/kg).....	14	16	16
Sódio (Na) total(mg/kg).....	1296	1446	1483

(##) Elemento não analisado. (Amostra fornecida pelo interessado).

R\$ 124.00

Prof.Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise: C 3

No. Cliente: 9647

[Interessado]

Nome: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço.: RODOVIA BR 158 S/N.

Município: TRES LAGOAS, MS

[Proprietário]

Propriedade: LAMA

Município.: TRES LAGOAS, SP

Identificação da amostra: AMOSTRA

No. Laboratório: C- 1570

RESULTADOS DE ANALISE DE CORRETIVOS

Determinação	Análise	%
Oxido de Calcio	CaO	46,48
Oxido de Magnésio	MgO	0,56
Soma de Oxidos		47,04
Carbonato de calcio	CaCO ₃	83,20
Carbonato de magnésio	MgCO ₃	1,39
Soma de carbonatos		84,59
Silica e insolúveis		0,18
P N		82,70
Granulometria	Tyler abertura Mesh (mm)	
	10 2,000	100,00
	20 0,840	100,00
	50 0,297	100,00
P R N T		82,70

(**) Elemento não analisado.

Data de emissão: 02/09/2014

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-

R\$ 69,00

Avenida Pádua Dias, 11 - CP. 09 - Piracicaba, SP - Cep 13418.900 - Fone (19) 3417-2117 / 3429-4171 - Fax (19) 3417-2110
E-mail: lsn@esalq.usp.br - Home-page: <http://www.solos.esalq.usp.br>



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DO SOLO

Análise F02

No. Cliente: 9647

Proprietário: ELDORADO BRASIL CELULOSE S/A.

Endereço..... LAMA

Município.... TRES LAGOAS, MS

Identificação da amostra: AMOSTRA 7

No. de laboratório: R- 2669

Data de emissão: 08/09/2014

RESULTADOS DE ANALISES DE MATERIAL ORGANICO

DETERMINAÇÕES	UMIDADE NATURAL	BASE SECA	
		60-65°C	110°C
pH em CaCl ₂ 0,01M.....	12,1		
Densidade(g/cm ³).....	0,58		
Umidade perdida a 60-65°C(%).....	18,20		
Umidade perdida entre 65 e 110°C(%)...	0,07		
Umidade total(%).....	18,27		
Inertes.....	0,00	0,00	0,00
Matéria orgânica total (combustão)(%)...	0,73	0,89	0,89
Matéria orgânica compostável(%).....	0,40	0,49	0,49
Matéria org. resistente à compost.(%)...	0,33	0,40	0,40
Carbono total (orgânico e mineral)(%)...	0,41	0,50	0,50
Carbono orgânico(%).....	0,22	0,27	0,27
Resíduo mineral total(%).....	81,00	99,02	99,11
Resíduo mineral insolúvel(%).....	0,10	0,12	0,12
Resíduo mineral solúvel(%).....	81,30	99,39	99,47
Nitrogênio total(%).....	0,11	0,13	0,13
Fósforo (P ₂ O ₅) total(%).....	1,40	1,71	1,71
Potássio (K ₂ O) total(%).....	0,04	0,02	0,02
Calcio (Ca) total(%).....	24,75	42,52	42,55
Magnésio (Mg) total(%).....	0,26	0,32	0,32
Enxofre (S) total(%).....	0,05	0,06	0,06
Relação C/N (C total e N total).....	4/1	4/1	4/1
Relação C/N (C orgânico e N total)....	2/1	2/1	2/1
Cobre (Cu) total(mg/kg).....	16	20	20
Manganês (Mn) total(mg/kg).....	84	103	103
Zinco (Zn) total(mg/kg).....	29	35	35
Ferro (Fe) total(mg/kg).....	219	268	268
Boro (B) total(mg/kg).....	3	4	4
Sódio (Na) total(mg/kg).....	9815	11999	12009

(**) Elemento não analisado. (Amostra fornecida pelo interessado).

R\$ 124,00

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti
-Coordenador-

ANEXO II - Imagens das avaliações realizadas.



Figura 1. Solo coletado



Figura 2. Imagens da análise ICF e diâmetro da base

ANEXO III - Imagens do comparativo entre os tratamentos (Testemunha, Padrão e Compostos)



Figura 3. Testemunha; Padrão; DGC45; DGC60; DGC75 e DGC90 (Da esquerda para a direita, respectivamente).
Obs.: comprimento da barra de madeira = 1,53 m.



Figura 4. Testemunha; Padrão; DLC45; DLC60; DLC75 e DLC90 (Da esquerda para a direita, respectivamente).
Obs.: comprimento da barra de madeira = 1,53 m.