

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

ALISSON DE MELLO DELOSS

**EFEITO DO MANEJO E DA ADUBAÇÃO MINERAL NO
CRESCIMENTO DE *Eucalyptus saligna* Smith NA SEGUNDA ROTAÇÃO**

Santa Maria, RS

2021

Alisson de Mello Deloss

**EFEITO DO MANEJO E DA ADUBAÇÃO MINERAL NO CRESCIMENTO DE
Eucalyptus saligna Smith NA SEGUNDA ROTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Titular Dr.nat.techn. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS
2021

Deloss, Alisson
EFEITO DO MANEJO E DA ADUBAÇÃO MINERAL NO CRESCIMENTO
DE *Eucalyptus saligna* Smith NA SEGUNDA ROTAÇÃO / Alisson
Deloss.- 2021.
53 p.; 30 cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2021

1. Biomassa 2. Ciclagem de nutriente 3. Resíduos
florestais 4. Nutrição florestal I. Valdir Schumacher,
Mauro II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ALISSON DELOSS, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Alisson de Mello Deloss

**EFEITO DO MANEJO E DA ADUBAÇÃO MINERAL NO CRESCIMENTO DE
Eucalyptus saligna Smith NA SEGUNDA ROTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 15 de junho de 2021:



**Mauro Valdir Schumacher, Dr.nat.techn. (UFSM) - Videoconferência
(Presidente Orientador)**



Grasiela Dick, Dra. (UFSM) - Videoconferência



Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2021

DEDICATÓRIA

A minha esposa e meu filho por mostrar o sentido da vida e me apoiar durante a minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, Paulo, e minha mãe, Maria, os quais sempre me apoiaram em minhas decisões, dando-me força para seguir em frente.

Ao meu filho Bento, que trouxe muita alegria e momentos especiais. A minha esposa por me estar ao meu lado nesta caminhada e pelos bons momentos vivenciados.

À Universidade Federal de Santa Maria pelo ensino gratuito de qualidade.

Ao CNPq pelo apoio financeiro por meio da concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Dr.nat.techn. Mauro Valdir Schumacher pela confiança, pela orientação e atenção dispensada e ao conhecimento compartilhado.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO), alunos de graduação e pós-graduação por todo o apoio para a realização deste trabalho. Ao Eng. Florestal Dr. Rudi Witschoreck pelos ensinamentos e apoio nas análises.

À empresa CMPC Brasil, em especial, ao Eng. Florestal M.Sc. Elias Frank Araújo e M.Sc Bruno Pimentel Morales pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

A empresa RS Florestal, ao encarregado Juarez, assim como todos os trabalhadores da empresa, pela colaboração para instalação, condução e monitoramento em campo, sendo fundamentais para a realização das coletas de solo e adubação.

Aos membros da banca, Dr^a. Grasielle Dick e Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel, pela atenção na leitura do trabalho e contribuições para o trabalho.

Agradeço a todos os amigos que de alguma forma me ajudaram e apoiaram, especialmente ao Mat. Diego Nunes e Dr^a Rosangela Gonçalves.

RESUMO

EFEITO DO MANEJO E DA ADUBAÇÃO MINERAL NO CRESCIMENTO DE *Eucalyptus saligna* Smith NA SEGUNDA ROTAÇÃO

AUTOR: Alisson de Mello Deloss
ORIENTADOR: Mauro Valdir Schumacher

A fertilidade do solo e a exportação de nutrientes são importantes para a gestão dos resíduos florestais oriundos da colheita. A exportação de nutrientes pode ser maior ou menor dependendo do tipo e quantidade de resíduo deixado no campo. A sustentabilidade da produção e o crescimento da floresta é dependente de inúmeros fatores, sendo a reposição dos nutrientes uma prática que pode minimizar os impactos da exportação de nutrientes pela colheita. Diante disso, este trabalho tem por objetivo avaliar se doses de adubação mineral, em diferentes sistemas de manejo de resíduos da colheita da primeira rotação, influenciam o crescimento e a fertilidade do solo na segunda rotação de *Eucalyptus saligna* Smith em São Gabriel, RS. Antes da colheita do povoamento anterior ao plantio de *Eucalyptus saligna* Smith foi determinada a quantidade de nutrientes em cada componente da biomassa das árvores, utilizada para realizar a adubação adicional como forma de repor 50% e 100% dos nutrientes exportados pela colheita da primeira rotação. Assim o experimento foi conduzido com os seguintes tratamentos: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. O N, P e K estão presentes em maior concentração nas folhas da planta. Já o Ca e o Mg estão presente em maior concentração na casca. A madeira detém a maior quantidade de N, P, K e Mg, devido a maior proporção de biomassa desse componente. A quantidade de nutrientes total seguiu a seguinte ordem de distribuição $Ca > N > K > Mg$ e P. É possível observar que se for realizado a colheita da madeira com casca, poderá ter a exportação de mais de 70% de cada um dos macronutrientes avaliados. A reposição de 100% dos nutrientes exportados pela colheita resultou em maior crescimento de *Eucalyptus saligna* Smith, aos dois anos após o plantio no tratamento sem resíduo de colheita da primeira rotação. A manutenção dos resíduos de colheita apresenta uma tendência de aumento da matéria orgânica, quando comparado com os tratamentos com remoção de resíduos, especialmente até a camada de 0-20 cm.

Palavras-chave: biomassa. ciclagem de nutriente. resíduos florestais. nutrição florestal

ABSTRACT

EFFECT OF MANAGEMENT AND MINERAL FERTILIZATION ON THE GROWTH OF *Eucalyptus saligna* Smith IN THE SECOND ROTATION

AUTHOR: Alisson de Mello Deloss
ADVISER: Mauro Valdir Schumacher

Soil fertility and nutrient export are important for the management of forest residues from harvesting. Nutrient exports can be higher or lower depending on the type and amount of residue left in the field. The sustainability of production and forest growth depends on numerous factors, and nutrient replacement is a practice that can minimize the impacts of nutrient export through harvesting. Therefore, this work aims to evaluate whether doses of mineral fertilization, in different waste management systems from the first rotation harvest, influence the growth and soil fertility in the second rotation of *Eucalyptus saligna* Smith in São Gabriel, RS. Before the harvest of the forest stand prior to the planting of *Eucalyptus saligna* Smith, the amount of nutrients in each component of tree biomass was determined, used to carry out additional fertilization as a way to replace 50% and 100% of the nutrients exported by the harvest of the first rotation. Thus, the experiment was conducted with the following treatments: T1- With residues + base fertilization; T2- With residues + base fertilization + cover fertilization; T3- No residues + base fertilization; T4- No residues + base fertilization + cover fertilization; T5- No residues + base fertilization + 50% of the nutrients exported by the harvest; T6- No residues + base fertilization + 100% of the nutrients exported by the harvest. The N, P and K are present in greater concentration in the leaves of the plant. Ca and Mg are present in greater concentration in the bark. Wood holds the greatest amount of N, P, K and Mg, due to the greater proportion of biomass in this component. The amount of total nutrients followed the following distribution order: Ca > N > K > Mg and P. It is possible to observe that if wood with bark is harvested, more than 70% of each of the evaluated macronutrients can be exported. The replacement of 100% of the nutrients exported by harvest resulted in greater growth of *Eucalyptus saligna* Smith, two years after planting in the treatment without harvest residue from the first rotation. The maintenance of harvest residues has a tendency to increase organic matter, when compared to treatments with residue removal, especially up to the 0 – 20 cm layer.

Keywords: biomass. nutrient cycling. forest residues. forest nutrition

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tratamentos aplicados na área de estudo na segunda rotação.	23
Tabela 2 - Caracterização química do solo da área experimental dois meses após o plantio da segunda rotação.	27
Tabela 3 - Caracterização física do solo da área experimental dois meses após o plantio da segunda rotação.	28
Tabela 4 - Biomassa e concentração de nutrientes por componentes da biomassa (madeira, galho, casca e folha) em plantio com 120 meses de idade.	30
Tabela 5 - Quantidade de nutrientes presente em cada componente da biomassa em plantio com 120 meses de idade (primeira rotação).....	31
Tabela 6 - Estimativa de exportação de nutrientes em simulação de três intensidades de colheita da primeira rotação (120 meses).	33
Tabela 7 - Atributos químicos da área experimental 24 meses após o plantio da segunda rotação.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação acumulada, temperatura média, mínima e máxima para 24 meses após a implantação do experimento.	21
Figura 2 - Croqui do experimento, com os blocos e os tratamentos (direita da figura) e parcela (esquerda da figura).....	24
Figura 3 - Profundidades de coleta de solo para análises químicas e caracterização do solo....	25
Figura 4 - Profundidades de coleta de solo para análises químicas após aplicação dos tratamentos.	26
Figura 5 - Distribuição relativa de nutrientes por componente da biomassa em plantio com 120 meses de idade (primeira rotação).	31
Figura 6 - Altura das plantas quatro meses após o plantio da segunda rotação.	35
Figura 7 - Coeficiente de variação da altura aos quatro meses após o plantio para cada tratamento.	36
Figura 8 - Altura das plantas 16 meses após o plantio da segunda rotação.	37
Figura 9 - Coeficiente de variação da variável altura, 16 meses após o plantio.....	38
Figura 10 - Altura das plantas 24 meses após o plantio da segunda rotação.	39
Figura 11 - DAP das plantas 24 meses após o plantio da segunda rotação.....	40
Figura 12 - Volume sem casca por hectare ($\text{Vol sc m}^3 \text{ ha}^{-1}$) das plantas quatro meses após o plantio da segunda rotação.	41
Figura 13 - Volume com casca por hectare ($\text{Vol cc m}^3 \text{ ha}^{-1}$) das plantas quatro meses após o plantio da segunda rotação.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	<i>Eucalyptus saligna</i> SMITH.....	13
2.2	CICLAGEM DE NUTRIENTES	15
2.3	MANEJO DE RESÍDUOS DE COLHEITA FLORESTAL	17
2.4	PRODUTIVIDADE DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO	20
3.2	BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES DA PRIMEIRA ROTAÇÃO E REPOSIÇÃO DA ADUBAÇÃO PARA A SEGUNDA ROTAÇÃO	22
3.3	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	23
3.4	COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO PARA ANÁLISE QUÍMICA	25
3.5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO	28
3.6	AValiação DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	BIOMASSA	29
4.2	CRESCIMENTO DAS PLANTAS	34
4.3	NUTRIENTES NO SOLO.....	42
5	CONCLUSÕES	45

1 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais plantadas no Brasil, atingindo a marca de 6,97 milhões de ha em 2019 (IBÁ, 2020). Este gênero apresenta altas produtividades, podendo atingir cerca de 80 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em condições experimentais (STAPE et al., 2010; PULITO et al., 2015). Segundo Rocha (2017), as condições climáticas favoráveis, o trabalho de melhoramento genético, a silvicultura e o avanço do manejo florestal proporcionam esta alta produtividade. Em se tratando de silvicultura, o adequado espaçamento de plantio, o cultivo mínimo, a manutenção dos resíduos florestais sobre o solo, o controle de plantas daninhas e a fertilização são diferenciais para alcançar a elevada produtividade (ROCHA, 2017).

Contudo, o desafio da silvicultura é a produção sustentável de madeira, pois a rápida taxa de crescimento dessas espécies eleva a demanda sobre os recursos do solo, principalmente por água e nutrientes (BELLOTE et al., 2008). Neste sentido, os estudos sobre a ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto permitem avaliar as possíveis alterações que resultam de técnicas de manejo aplicadas, e a partir destas é possível inferir sobre a sustentabilidade da produção florestal (ZAIA e GAMA-RODRIGUES, 2004).

A colheita florestal pode elevar estas perdas de forma significativa (VITAL, 1996). A fim de garantir a manutenção da fertilidade do solo em regiões de produção de *Eucalyptus* no Brasil, é sugerido que o intervalo entre as rotações deve ser superior a 7 anos e que seja retirado da área apenas a madeira comercializável, deixando no local as folhas, ramos e casca (POGGIANI e SHUMACHER, 1997). Além do suprimento nutricional, a manutenção dos resíduos da colheita pode afetar de forma positiva as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (ROCHA et al., 2016; ACHAT et al., 2015; NAMBIAR E HARWOOD, 2014; MENDHAM et al., 2014).

Os povoamentos florestais são considerados sistemas abertos sujeitos a um grande número de entradas e saídas de elementos químicos, muitos destes são importantes para a nutrição vegetal (EPSTEIN e BLOOM, 2006; PALLARDY, 2008). O conhecimento sobre a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais é essencial para a compreensão e a predição dos efeitos da nutrição no desenvolvimento da floresta (LANDSBERG, 1986). Além disso, este é um ponto importante para a manutenção da produtividade florestal (REIS e BARROS, 1990). A identificação dos processos de ciclagem de nutrientes são informações relevantes para auxiliar na tomada de decisões sobre alternativas de manejo e de aplicação de fertilizantes.

A demanda por fontes de energia renovável tem aumentado, e os resíduos florestais são potenciais objetos de estudos para fins de geração de energia no Brasil e no mundo. Dentre os

motivos para a utilização dos resíduos florestais está a viabilidade técnica e econômica, além do aspecto ambiental como destacado no trabalho de Ribeiro et al., (2017). Adicionalmente, estudos apontam benefícios climáticos da utilização dos resíduos florestais para energia em substituição ao carvão, mitigando assim as mudanças do clima (GUSTAVSSON et al., 2015) e destacam as vantagens econômicas e energéticas da utilização de resíduos florestais para produção de biogás (KABIR et al., 2014). Porém, é necessário compreender a dinâmica dos resíduos florestais e sua interação com o sistema solo – planta, de forma a conhecer as implicações do manejo de resíduos da colheita na sustentabilidade nutricional dos sítios.

Diante disso, as hipóteses testadas são: A exportação de nutrientes pela colheita afeta a disponibilidade de nutrientes para as rotações futuras. A reposição de 50% e 100% dos nutrientes aumenta a fertilidade do solo e crescimento das plantas. A entrada de nutrientes via adubação promove maior crescimento das plantas no sistema que mantém os resíduos de colheita florestal. A retirada dos resíduos de colheita florestal afeta o crescimento do povoamento florestal.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar se doses de adubação mineral, em diferentes sistemas de manejo de resíduos da colheita da primeira rotação, influenciam o crescimento e a fertilidade do solo da segunda rotação de *Eucalyptus saligna* Smith em São Gabriel, RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos da exportação de nutrientes da primeira rotação.
- Avaliar os efeitos da fertilidade do solo, sob diferentes tipos de manejo dos resíduos da colheita da primeira rotação, com e sem adubação mineral, na segunda rotação.
- Avaliar o crescimento de *Eucalyptus saligna* Smith, na segunda rotação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Eucalyptus saligna* SMITH

As espécies originárias do gênero *Eucalyptus* estão distribuídas desde a Tasmânia, no sul da Austrália, até ilhas da Indonésia e Papua-nova-guiné, abrangendo áreas de clima temperado até tropicais, ocorrendo em várias regiões fisiogeográficas (BELLÉ, 2018).

Eucalyptus saligna Smith é uma espécie que apresenta como características a versatilidade, adaptada aos solos hidromórficos e/ou arenosos e tolera diferentes altitudes, indicada para usos múltiplos. Espécie apta para regiões sem ocorrência de geadas e situações de déficits hídricos acentuados, é tolerante ao fogo e possui elevada capacidade de regeneração por brotação (ALZATE, 2004; RECH, 2003).

Esta espécie tem como característica fuste reto e alto, crescendo à alturas de 30 a 55 m e DAP de até 2 m. O tronco tem cinza pálido suave ou casca branca com uma longa “saia” (1-4 m de altura) de casca marrom áspera na base. As folhas são verdes escuras, dispostas alternadamente ao longo das hastes e tem de 10-17 cm de comprimento por 2-3 cm de largura (BENSON E MCDUGALL, 1998).

Esta espécie produz celulose a partir de madeira clara e de baixa densidade, podendo ser utilizada para outras finalidades (MORA e GARCIA, 2000). Segundo Kikuti e Namikawa (1990) esta espécie apresenta elevado potencial de adaptação e crescimento. Marchiori e Sobral (1997) também caracterizam a espécie como sendo de rápido crescimento e prefere regiões de clima temperado e subtropical. Segundo o mapa do zoneamento clima, a espécie *Eucalyptus saligna* Smith, é classificada com aptidão climática média para a metade sul do Rio Grande do Sul (FLORES et al., 2016).

Muitas espécies de eucaliptos crescem relativamente bem quando cultivadas em solos de baixa fertilidade, fato que pode colaborar para o aumento de áreas de implantação com estas espécies, muitas vezes onde não se praticava silvicultura, por estar ligado à baixa exigência nutricional e à eficiência de utilização de nutrientes (REIS et al., 1990).

São José et al. (2020), estudaram o crescimento inicial de *Eucalyptus saligna* Smith em solo com cinco estratégias alternativas de manejo de resíduos de colheita em solo arenoso. Foi avaliado a altura total, o diâmetro à altura do peito (DAP), o volume individual após doze meses. Os autores concluíram que a manutenção dos resíduos de colheita proporcionou aumento da altura, DAP e o do volume individual quando comparado com a remoção dos resíduos da colheita e da serapilheira. Esse resultado está associado prevalente ao aporte de nutrientes ao solo, em função da decomposição e mineralização dos resíduos, e retenção de umidade no solo.

As restrições químicas dos solos têm tendência de influenciar o crescimento dos povoamentos florestais de *Eucalyptus saligna* Smith em taxas constantes, pois povoamentos

adubados e não adubados por exemplo, podem apresentar uma tendência de crescimento semelhante, porém, a produção final é superior quando adubado (BARROS et al., 1984).

2.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES

Um dos aspectos fundamentais para a sustentabilidade da atividade florestal é a ciclagem de nutrientes (SOUZA e MARQUES, 2010). Através do manejo deve-se buscar a manutenção de um fluxo contínuo, entre o que é depositado no solo e o que é assimilado pelas raízes das plantas (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001). No primeiro e segundo ano começa a queda de folhas e galhos finos, e a contar do terceiro e quarto ano, começam a cair também a casa, a partir de então, se estabelece o processo de decomposição, liberação e absorção de nutrientes, integrando a ciclagem de nutrientes (VITAL, 2007).

Segundo Ramezov (1959), a ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais pode ser dividida em três ciclos principais, o geoquímico, bioquímico e biogeoquímico. O ciclo geoquímico envolve os processos de entrada e saída de nutrientes do ecossistema. O ciclo bioquímico diz respeito sobre as transferências (acúmulo, translocação, retranslocação) de nutrientes no interior das árvores. Switzer e Nelson (1972) caracterizam o ciclo biogeoquímico como sendo as transferências de nutrientes entre o sistema solo-planta.

As deposições atmosféricas (seca e úmida), o intemperismo geológico, a fixação biológica de nitrogênio e a fertilização são exemplos de entradas de nutrientes no sistema. Por outro lado, as saídas incluem a volatilização pelas queimadas ou pela desnitrificação, lixiviação e erosão hídrica, assim como, a colheita da biomassa (PRITCHETT, 1990). Em muitos casos a colheita florestal é considerada a via principal de exportação de nutrientes dos sítios florestais, isso é mais evidente quando consideramos as rotações curtas e quando envolve outros componentes da biomassa, além da madeira (SCHUMACHER et al., 2013; BELLOTE et al., 2008).

A aplicação de fertilizantes inorgânicos apesar de ser indispensável, pode não ser capaz de suprir as necessidades das rotações futuras. Pois, a fertilização compensa apenas o déficit nutricional, e a microbiologia do solo é responsável pela transformação da matéria orgânica através da decomposição (MOMOLLI e SCHUMACHER, 2019).

Segundo Viera et al. (2012), com a implantação florestal em regiões com baixo potencial produtivo, é importante buscar compreender as características do sistema – solo planta de forma a utilizar as melhores técnicas silviculturais para aumentar a produtividade dos povoamentos e

manter a sustentabilidade nutricional para rotações futuras. Neste sentido é importante conhecer a nutrição florestal, principalmente sobre o adequado suprimento de nutrientes.

Os povoamentos florestais de curta rotação geram grandes quantidades de serapilheira e resíduos (GATTO et al., 2010). A manutenção dos resíduos de colheita no solo é uma prática importante para a ciclagem de carbono e nutrientes (LACLAU et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2018).

A biomassa do eucalipto é rica em lignina e tem uma alta relação C:N (FERREIRA et al., 2018), mas os componentes da biomassa, como folhas, galhos, casca e raízes podem se decompor em taxas diferentes em função da bioquímica de cada um (WALELA et al., 2014). Neste sentido, a casca é considerada recalcitrante por causa da abundância em compostos poliméricos (por exemplo, lignina, taninos, terpeno) (LIMA et al., 2013).

A decomposição dos resíduos florestais no solo tem comportamento significativo em termos de nutrição das árvores e manejo da conservação do solo. No início a decomposição é caracterizada por um estágio rápido (Berg, 2000, Rocha et al. 2016), caracterizado pela rápida perda de carboidratos não estruturais e fenólicos de baixo peso molecular (Hattenschwiler & Jørgensen, 2010; Hattenschwiler et al., 2011). Nessa fase, está envolvido principalmente a decomposição de folhas e galhos fino, que são nutricionalmente ricos e, como consequência, a maioria dos nutrientes são liberados neste momento, concomitante com a fase de alta demanda por nutrientes pelo novo plantio de árvores. No próximo estágio, a decomposição dos galhos e cascas é regulada pela degradação da lignina. Esses componentes são nutricionalmente pobres, porém tem importante função na proteção do solo contra a erosão e compactação.

Os nutrientes contidos nos resíduos florestais podem ser “liberados”, porém, não estão imediatamente disponíveis para as plantas, pois podem fazer parte da matéria orgânica do solo. O K é a exceção, por não formar compostos dentro da planta, por isso é facilmente lixiviado do resíduo para o solo, ficando prontamente disponível (MILLS E JONES JUNIOR, 1996).

Solos altamente intemperizados podem conservar mais C com o aumento da matéria orgânica, porque o P frequentemente limita a decomposição (COMPTON E COLE, 1998). Essa limitação de P pode afetar os processos conduzidos por microorganismos, como a mineralização de N. Já os solos de ecossistemas de clima temperado, que geralmente são limitados em N, podem armazenar N mineral adicionado por longos períodos. Solos de ecossistema tropical limitado em P pode perder rapidamente grandes quantidades de N mineral (NO_3^- e NH_4^+) após a fertilização com N (HALL E MATSON, 2003). Portanto, essa limitação de nutrientes em solos tropicais não apenas diminuem a produtividade das plantas como também afetam as taxas de decomposição e os processos de imobilização, consequentemente a

capacidade do solo de armazenar e completar o ciclo do C e N (WALMSLEY et al., 2009; ROCHA et al., 2016).

Segundo Couteaux et al. (1995), Hernandez et al. (2009), Purahong et al. (2014) e Ferreira et al. (2016), a decomposição e liberação dos nutrientes são influenciados por diversos fatores, como por exemplo: espécie plantada, densidade do plantio, qualidade do resíduo, organismos decompositores, variações climáticas e fertilidade do solo.

As variações climáticas e a qualidade dos resíduos foram os principais reguladores das taxas de decomposição em escala global, conforme observado por Zhang et al. (2008). Estes autores também verificaram que os resíduos vegetais com as maiores concentrações de nutrientes, principalmente N, P, K, Ca e Mg tem elevadas taxas de decomposição, por outro lado, as menores taxas de decomposição estão associadas aos componentes com maior teor de lignina, relação C:N e lignina:N. As folhas apresentam maior taxa de decomposição e menor tempo de meia vida do que a casca e galho (HERNANDEZ et al., 2009; HERNANDEZ et al., 2016). De acordo com Gonçalves et al. (2002), a partir da mineralização dos resíduos ocorre a liberação dos nutrientes, porém a imobilização destes pode ocorrer para suprir a demanda nutricional dos organismos decompositores, de modo que estes processos são correlacionados com as relações C:N, C:P, C:S.

A manutenção dos resíduos de colheita florestal atenua a compactação do solo promovida pelas passadas do forwarder, especialmente com a manutenção da casca das árvores na área. O tráfego do forwarder na colheita do eucalipto da rotação anterior sobre o solo sem resíduos promove a redução da qualidade física do solo, com o aumento da densidade, resistência a penetração e redução na porosidade e condutividade hidráulica. A remoção dos resíduos, particularmente quando há remoção da casca, causa a redução do carbono orgânico total e de frações mais lábeis de C e N do solo ao final da rotação seguinte. A manutenção dos resíduos teve tendência de aumento nos teores de carbono lábil e carbono orgânico total, evidenciando que a maior entrada de C no sistema leva a maiores teores de matéria orgânica do solo (JESUS et al., 2015).

2.3 MANEJO DE RESÍDUOS DE COLHEITA FLORESTAL

O conteúdo estimado de nutrientes acumulados na copa e na casca do eucalipto corresponde, em média, 65, 70, 64, 79 e 79% de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, até 6,5 anos de idade (SANTANA et al., 2008). De acordo com Paes et al. (2013), a manutenção dos resíduos da colheita florestal (folhas, galhos, ponteiros e casca) é uma prática que pode reduzir

o impacto da exportação de nutrientes no solo. Dependendo do sistema de colheita, em maiores intensidades de remoção da biomassa serão necessárias maiores doses de fertilizantes para repor os nutrientes exportados (PAES et al., 2013).

Quando o processo de colheita florestal tiver como resultante a remoção de nutrientes superior às entradas, o balanço nutricional do sistema solo-planta será negativo, desta forma o potencial produtivo do sítio fica comprometido (PAES et al., 2013). Conforme Leite et al. (2010), quando estudaram as alterações de propriedades químicas de solos cultivados com eucalipto em cinco regiões no Vale do Rio Doce, MG, verificaram que, para manter e melhorar as propriedades químicas do solo, o balanço de nutrientes deve ser estritamente controlado, desta forma tem-se a necessidade de uma eficiente gestão dos resíduos da colheita, da adubação e da calagem.

A prática de deixar os resíduos no local da colheita pode sustentar a qualidade do solo em se tratando da produtividade da espécie de médio a longo prazo (XU et al., 2012; ROCHA et al., 2016). Essa prática colabora para melhorar os reservatórios de nutrientes e também o conteúdo de matéria orgânica no solo (VITOUSEK et al., 2009). Após a decomposição dos resíduos, as plantas das rotações futuras podem absorver prontamente alguns dos nutrientes, reduzindo assim a necessidade de fertilização ou outros métodos de preparo do solo, os quais podem causar impactos nas propriedades físicas e químicas do solo (PENG et al., (2008); HOLUB et al., 2013). Além disso, os resíduos geram uma camada protetora que ajuda a reduzir o aquecimento da superfície do solo e perda de água por evaporação, adicionalmente reduz a perda de solo por erosão (MARCELLA et al., 2016).

De acordo com Rocha, (2017), a manutenção dos resíduos florestais tem como principal benefício incorporar matéria orgânica no solo e reduzir a exportação de nutrientes, resultado em ganhos de produtividade em curto prazo. Adicionalmente, segundo os autores, se os nutrientes exportados pela colheita são repostos por meio de adubação, não serão observadas reduções significativas na produtividade do povoamento florestal na primeira rotação (curto prazo). É enfatizado que os estudos com remoção de resíduos florestais foram realizados em parcelas relativamente planas, com taxa de erosão insignificante. À medida em que os resíduos florestais são removidos, o processo erosivo pode ser acelerado, por mais que seja realizado a reposição nutricional via adubação, é esperada perdas de produtividade já no primeiro ciclo de cultivo do povoamento florestal (SILVA et al., 2011; PIRES et al., 2006; BRITO et al., 2005).

Conforme Viera (2012), no planejamento da colheita deve se evitar a retirada dos resíduos oriundos da colheita florestal, de forma a contribuir para a sustentabilidade, por meio do aumento da disponibilidade de nutrientes após a decomposição desse material, então não

serão necessários uma adubação mais pesada para repor os nutrientes. A falta ou excesso de um ou mais nutrientes pode provocar anormalidades nas condições das árvores, ocasionando perda de produtividade (SILVEIRA et al., 2000).

Estudos enfatizam a importância da manutenção dos resíduos de colheita no solo, especialmente quando o tipo de solo tem baixa capacidade tampão, alta produtividade e ciclo curto dos povoamentos florestais (NAMBIAR, et al. 2014; ROCHA, et al. 2016; LACLAU, et al. 2010; KUMARASWAMY, et al. 2014;). Nestas condições, a remoção de resíduos florestais por resultar em perda de produtividade da madeira de até 40% devido aos baixos reservatórios de nutrientes que permanecem no solo (Rocha, et al. 2016).

Nos últimos anos, tem crescido o interesse pelo uso de resíduos florestais para fins de bioenergia. Porém, os modelos de aproveitamento desses resíduos levam em consideração pesquisas realizadas em regiões de clima temperado, onde os solos tendem a apresentar maiores capacidades tampão e maiores teores de C orgânico. Neste sentido Menegale et al (2016) enfatizam que em condições tropicais o uso de resíduos florestais para fins de bioenergia deve ser considerado com cautela e que deve ser levado em consideração as condições específicas de cada local. Em locais com terreno inclinado e/ou com baixa capacidade tampão é importante manter todos os resíduos no solo para evitar erosão (Candido, et al. 2014) e o esgotamento dos reservatórios de nutrientes do solo (NAMBIAR, et al. 2014; ROCHA, et al. 2016; LACLAU, et al. 2010; MENDHAM, et al. 2014; KUMARASWAMY, et al. 2014; SILVA, et al. 2016).

Em se tratando das concentrações de N, mesmo em locais com alta produção de colheita, a aplicação de N via fertilização pode não ter resposta em termos de produtividade de madeira para as condições brasileiras (PULITO, et al. 2015).

2.4 PRODUTIVIDADE DOS POVOAMENTOS FLORESTAIS

A adoção de boas práticas de manejo, o melhoramento genético e as condições edafo-climáticas do País levaram a um reconhecimento mundial da alta produtividade brasileira, em comparação com os demais países, considerando o volume de madeira produzido por área ao ano e por um dos menores ciclos entre o plantio e a colheita do mundo. Em 2019, o Brasil apresentou uma produtividade média de 35,3 m³/ha ao ano nos plantios de eucalipto. Essa ligeira queda pode estar associada ao efeito das mudanças climáticas, expansão para novas áreas, fatores bióticos e abióticos (IBA, 2020).

Segundo Hernández et al. (2016), embora os maiores valores de DAP e altura podem ser encontrados para os tratamentos sem resíduos e ou com resíduos nas fileiras de tocos, esse

efeito pode ser atribuído ao preparo de solo que melhora as condições físicas do solo favorecendo o crescimento inicial das árvores. Parâmetros de crescimento mais baixos foram encontrados para árvores plantadas sem o preparo adequado do solo (resíduos superficiais e, em menor medida, resíduos incorporados), onde a imobilização de nutrientes durante a decomposição dos resíduos também pode ter contribuído negativamente, sugerindo que a incorporação de resíduos provavelmente promoveu a imobilização de N mineral no solo, privando as plantas de parte do N mineralizado da matéria orgânica do solo (MOS). Adicionalmente, outra possível causa da falta de resposta à maior disponibilidade de nutrientes quando os resíduos são incorporados ao solo, pode ser devido à disponibilidade relativamente alta de nutrientes para todos os tratamentos no estudo de Hernández et al. (2016).

Segundo Dedecek et al. (2007), quatro anos após o plantio de *Eucalyptus grandis*, foi possível concluir, considerando o tipo de solo e as espécies que a manutenção de todos os resíduos da colheita das árvores na superfície do solo favorece um maior crescimento do eucalipto, em relação à altura e DAP.

De acordo com o estudo de Paes et al. (2013), em plantio do segundo ciclo de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* constaram que a manutenção de todos os resíduos florestais na área, após a colheita da madeira do primeiro ciclo, resultou em aumento de 36,6% ($71,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) no volume de madeira produzido, quando comparado ao tratamento em que houve remoção de todos os resíduos vegetais, após a colheita florestal. A remoção desses resíduos acarretou na exportação de grandes quantidades de nutrientes do talhão, os quais se não forem repostos em quantidades adequadas, podem comprometer a produtividade do povoamento florestal. A demanda nutricional do eucalipto não foi suprida somente com a adubação de plantio (200 kg ha^{-1} N-P-K 06:26:13), como resultando ocorreu o decréscimo da produtividade de madeira. Portanto, quando os resíduos florestais são removidos pela colheita aumenta a necessidade de repor os nutrientes via fertilização, resultando na elevação do custo da adubação.

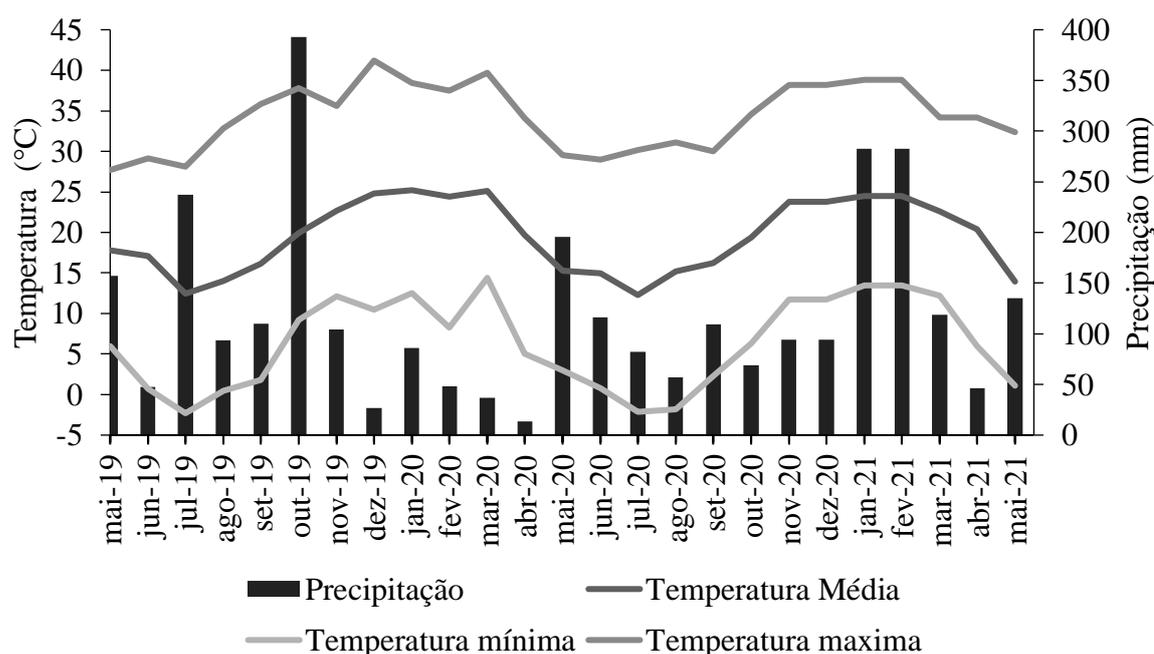
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

O experimento foi realizado no Horto Florestal Santa Clara, no município de São Gabriel – RS, cuja as coordenadas geográficas são 30°29 '330 "S e 54° 34' 667" W. O clima é classificado como Cfa segundo a classificação de Köppen, caracterizado por apresentar distribuição de chuvas ao longo do ano (média histórica é de 1854 mm) e temperara média do

mês mais frio (junho) e mês mais quente (janeiro), com 12,6°C e 24,2°C, respectivamente (ALVARES et al., 2014). Na Figura 1 pode-se observar as informações climáticas para o município de São Gabriel, RS referente ao período de maio de 2019 a maio de 2020. Os dados foram gerados pela estação A832 (INMET, 2021).

Figura 1 - Precipitação acumulada, temperatura média, mínima e máxima para 24 meses após a implantação do experimento.



Fonte: Autor, 2021.

O relevo do local é plano a suave ondulado com altitude de 157 metros em relação ao nível médio do mar. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013), ou seja, apresentam como características horizonte B textural, horizonte mineral de textura franco-arenosa e acréscimo de argila quando comparado aos horizontes mais superficiais, drenagem imperfeita e com no máximo um metro de profundidade.

A região pertence ao bioma pampa, onde a fitofisionomia é caracterizada principalmente por campos nativos (BOLDRINI et al., 2010). Além disso, ao longo dos cursos d'água ocorre a formação de capões florestais com espécies típicas das Floresta Estacional Subtropical (PILLAR et al., 2009).

3.2 BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES DA PRIMEIRA ROTAÇÃO E REPOSIÇÃO DA ADUBAÇÃO PARA A SEGUNDA ROTAÇÃO

Antes da instalação do presente experimento, na área de estudo foi plantado o clone da espécie *Eucalyptus saligna* Smith, em 2008, com espaçamento de 3,5 m x 2,14 m e densidade inicial de 1.335 plantas ha⁻¹. Aos 120 meses foi realizada a cubagem e determinação da biomassa acima do solo. Os estoques de nutrientes nesta biomassa foram determinados no presente estudo, sendo assim, para o componente madeira de cada árvore com diâmetro intermediário de cada classe foi obtido uma amostra composta, misturando proporcionalmente a madeira da posição da base, meio e topo. O mesmo procedimento foi realizado para a componente casca. Estas amostras e as amostras dos componentes folha e galhos foram submetidas a análise química para determinação dos teores de nutrientes (TEDESCO et al., 1995).

De posse dessas informações foi calculada a concentração de nutrientes, quantidade de nutrientes para cada componente da biomassa acima do solo. A quantidade de nutrientes exportados pela colheita da biomassa foi utilizada como base para a calcular a quantidade de fertilizante necessária para repor 50% e 100% dos nutrientes exportados pela colheita na primeira rotação, para formular os tratamentos que compõem o presente estudo. Como resíduo de colheita florestal, considerou-se todos os resíduos orgânicos remanescentes sobre o solo após a colheita, sendo eles: folhas, galhos, cascas e serapilheira.

Além disso, foi determinado a distribuição relativa de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) por componente de biomassa. A distribuição relativa de nutrientes foi calculada da seguinte forma:

$$1. DR_{madeira} = \frac{QM}{QT} \times 100$$

$$2. DR_{galho} = \frac{QG}{QT} \times 100$$

$$3. DR_{casca} = \frac{QC}{QT} \times 100$$

$$4. DR_{folha} = \frac{QF}{QT} \times 100$$

Onde:

DR_{madeira} = Distribuição relativa de nutriente no componente madeira, em %;

DR_{galho} = Distribuição relativa de nutriente no componente galho, em %;

DR_{casca} = Distribuição relativa de nutriente no componente casca, em %;

DR_{folha} = Distribuição relativa de nutriente no componente folha, em %;

QM = Quantidade de nutriente no componente madeira, em kg ha⁻¹;

QG = Quantidade de nutriente no componente galho, em kg ha⁻¹;

QC = Quantidade de nutriente no componente casca, em kg ha⁻¹;

QF = Quantidade de nutriente no componente folha, em kg ha⁻¹;

QT = Quantidade de nutriente na biomassa acima do solo, em kg ha⁻¹.

Foi realizado a estimativa de exportação de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) para três intensidades de colheita, simulando a retirada da madeira sem casca, madeira com casca e biomassa acima do solo. A quantidade de nutrientes exportado pela remoção somente do fuste é equivalente a quantidade de nutriente presente no componente madeira. A quantidade de nutrientes exportado pela remoção da madeira com casca foi obtida pela soma da quantidade de nutriente presente no componente madeira mais a quantidade de nutriente presente no componente casca. Já a quantidade de nutriente exportado pela remoção da biomassa acima do solo foi obtida pela soma de nutriente presente no componente madeira, casca, ganho e folha.

3.3 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E DEFINIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O experimento consiste em três blocos com seis tratamentos por bloco distribuídos conforme delineamento experimental de blocos ao acaso (Tabela 1).

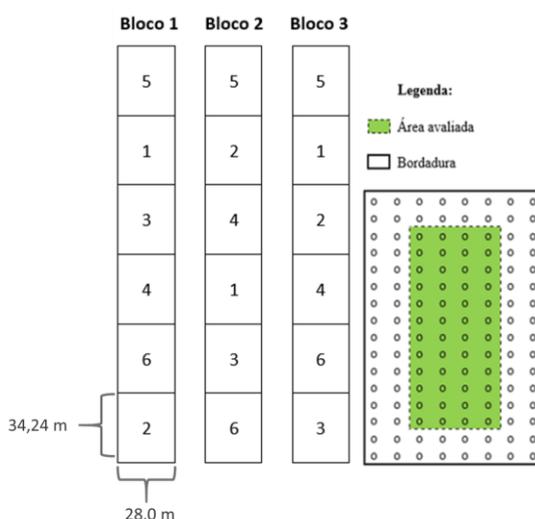
Tabela 1 - Tratamentos aplicados na área de estudo na segunda rotação.

Tratamento	Descrição
T1	Com resíduos + adubação de base
T2	Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura
T3	Sem resíduos + adubação de base
T4	Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura
T5	Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita
T6	Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita

Fonte: Autor, 2021.

Cada parcela tem 28 metros de largura e 34,24 metros de comprimento, que compreende oito linhas de plantio, contendo 16 plantas por linha considerando a bordadura dupla para isolar possíveis interações e interferências nos dados com relação aos tratamentos aplicados nas parcelas vizinhas (Figura 2).

Figura 2 - Croqui do experimento, com os blocos e os tratamentos (esquerda da figura) e parcela (direita da figura).



Fonte: Autor, 2021.

Após a coleta das amostras para a biomassa, foi realizado o corte raso das árvores do povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith com 120 meses. Foi realizado o corte e baldeio da madeira e a demarcação do experimento. Durante a operação de baldeio foi feito a retirada dos resíduos para estabelecimento das parcelas do T3, T4, T5 e T6 (sem resíduos).

O preparo de área para o plantio iniciou com o combate a formiga (isca formicida blitz), posteriormente foi realizada a eliminação química da brotação mecanizada, capina química pré-plantio com herbicida a base de glifosato (SCOUT®) e limpeza de linha de plantio. Foi realizado a subsolagem e adubação de base utilizando o fertilizante N-P₂O₅-K₂O 10:27:10 com dosagem de 400 kg ha⁻¹ aplicado no sulco de preparo e realizado gradagem com beding (levantamento de camaleão). O plantio das mudas de *Eucalyptus saligna* Smith foi realizado no dia 22 de maio de 2019. Um mês após o plantio foi realizada a capina química pré-emergente utilizando herbicida a base de Oxifluorfen (GOAL®). A aplicação de calcário dolomítico foi realizada utilizando a dose de 2.000 kg ha⁻¹ em agosto de 2019.

A adubação adicional dos tratamentos T5 (50% dos nutrientes exportados pela colheita na primeira rotação) e T6 (100% dos nutrientes exportados pela colheita na primeira rotação) foi realizada com base na informação gerada pela determinação da biomassa e quantidade de nutrientes exportados pela colheita. A adubação do T6 foi dividida em duas doses, sob a justificativa de que a super dose de adubo por planta poderia causar algum prejuízo para as plantas. Nos meses de setembro e outubro de 2020 foi realizada a adubação do tratamento T5 e primeira dose do T6, onde nesta ocasião foi aplicado 0,43 kg planta⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (22:00:22)

e 0,21 kg planta⁻¹ de superfosfato simples. Para a segunda dose do T6 foi aplicado 0,43 kg planta⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (22:00:22+1% B+0,5% CU) e 0,21 kg planta⁻¹ de superfosfato simples.

3.4 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO PARA ANÁLISE QUÍMICA

Nos tratamentos T1 e T3 foi realizada a coleta de solo para análises químicas dois meses após o plantio das mudas. A coleta de solo foi realizada a partir da abertura de trincheiras na entre linha de plantio, onde as profundidades amostradas foram de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm (Figura 3). Portanto, foram 6 pontos amostrais com 5 profundidades, totalizando 30 amostras de solo.

Figura 3 - Profundidades de coleta de solo para análises químicas e caracterização do solo.

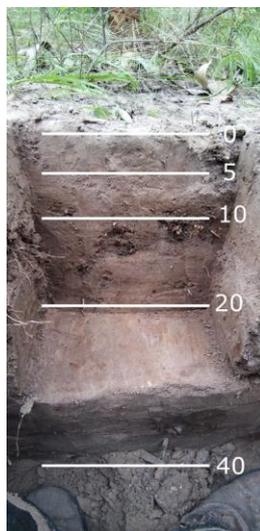


Fonte: Autor, 2021.

As amostras foram armazenadas em sacos plástico e enviadas ao laboratório de Ecologia Florestal da UFSM. No laboratório as amostras de solo foram secas em estufa de circulação de ar a 40° C, moídas e peneiradas (malha de 2 mm) para posterior análises químicas.

Sob a justificativa de verificar o efeito dos diferentes manejos de resíduos e adubação (tratamentos) ao longo do tempo, foi realizado uma segunda coleta de solo para as análises químicas 24 meses após o plantio. A coleta de solo foi realizada no centro de cada parcela nos tratamentos T1, T5 e T6. As amostras de solo foram retiradas nas profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm na linha de plantio (Figura 4).

Figura 4 - Profundidades de coleta de solo para análises químicas após aplicação dos tratamentos.



Fonte: Autor, 2021.

Foi feito a determinação da matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), pH em água ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{eff}), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC a pH 7,0), alumínio (Al), acidez potencial ($\text{H}+\text{Al}$), saturação por base trocável (V), saturação por alumínio trocável (s) e soma de bases (SB) (TEDESCO et al. 1995). A primeira coleta de solo foi realizada de forma a caracterizar os dois tratamentos contrastante (Tabela 2). Os resultados da segunda coleta de solo serão apresentados na sessão resultados. As análises foram realizadas no laboratório particular que presta serviço para CMPC. Foi realizada a análise de variância e o teste Tukey, a 5 % de probabilidade, para comparar as médias dos tratamentos utilizando o software SISVAR.

Tabela 2 - Caracterização química do solo da área experimental dois meses após o plantio da segunda rotação.

Tratamento	Profundidade cm	MO	pH H ₂ O	AL	H+Al	CTC _{efet}	CTC _{pH7}	P	K	Ca	Mg	m	V	Sb
		%	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
					cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³			%	
T1	0-20	1,76	4,90	2,66	9,89	5,96	13,26	24,50	96,59	2,45	0,60	44,33	29,33	3,37
T1	20-40	1,76	4,80	2,94	11,40	6,14	14,71	43,10	68,25	2,42	0,61	46,33	25,00	3,31
T1	40-60	1,45	4,90	3,53	16,14	7,46	20,23	7,30	93,08	2,81	0,88	47,00	20,00	4,09
T1	60-80	0,79	5,37	1,49	6,27	5,86	10,89	3,57	115,18	2,98	1,09	24,00	44,33	4,62
T1	80-100	0,55	5,77	0,43	2,15	9,50	11,51	3,50	107,38	6,36	2,44	5,33	79,66	9,37
T3	0-20	2,15	4,60	0,86	8,97	3,77	11,91	11,87	72,80	2,00	0,72	20,00	26,00	2,94
T3	20-40	1,82	4,77	1,18	5,58	4,30	8,75	23,07	47,06	2,29	0,71	26,66	38,00	3,17
T3	40-60	1,48	5,70	1,60	7,01	9,22	14,82	20,10	75,92	5,73	1,70	20,66	53,66	7,81
T3	60-80	0,75	6,03	0,75	3,81	11,63	14,90	3,57	78,13	7,97	2,70	10,00	73,33	11,08
T3	80-100	0,63	6,53	0,27	1,66	12,59	14,08	3,40	81,38	8,84	3,26	4,33	84,33	12,42

Onde: MO = matéria orgânica, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, pH_{H2O} = pH em água, CTC_{efet} = capacidade de troca de cátions efetiva, CTC_{pH7,0} = capacidade de troca de cátions a pH 7,0, Al = alumínio, H+Al = acidez potencial, V = saturação por base trocável, m = saturação por alumínio trocável e SB = soma de bases; T1- Com resíduos + adubação de base; T3- Sem resíduos + adubação de base. Fonte: Autor, 2021.

3.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO

As amostras para determinação da densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e textura foram coletadas nas mesmas trincheiras abertas para coleta de solo para as análises químicas em 2019.

Amostras indeformadas de solo foram coletadas nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm e 80-100 cm utilizando anéis volumétricos (coletados a profundidade de 8,5cm do início de cada camada). Os anéis volumétricos foram medidos quanto o diâmetro e altura de cada um dos anéis. Estas amostras foram coletadas na entre linha de plantio, e foram utilizadas para determinar a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total.

A macroporosidade, microporosidade e porosidade total foi determinada utilizando o método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico utilizando a relação solo seco/volume. Já a textura foi determinada em um laboratório particular que presta serviço para a empresa CMPC.

Na Tabela 3 encontra-se os resultados dos atributos físicos do experimento dois meses após o plantio das mudas.

Tabela 3 - Caracterização física do solo da área experimental dois meses após o plantio da segunda rotação.

Trat.	Prof. cm	Micro ----- -----	Macro cm ³ cm ⁻³	Poros. total ----- -----	Densidade g cm ⁻³	Areia grossa ----- -----	Areia fina % -----	Silte -----	Argila -----
T1	0-20	0,339	0,074	0,413	1,36	29,8	37,7	9,1	23,3
	20-40	0,338	0,058	0,396	1,40	26,5	35,0	10,2	28,3
	40-60	0,435	0,047	0,482	1,28	16,3	29,4	13,5	40,8
	60-80	0,450	0,032	0,482	1,39	22,8	16,4	16,6	44,2
	80-100	0,470	0,034	0,505	1,38	22,4	15,1	16,7	45,8
T3	0-20	0,336	0,076	0,412	1,33	26,9	41,6	9,0	22,5
	20-40	0,338	0,047	0,385	1,48	24,9	38,7	9,7	26,7
	40-60	0,436	0,042	0,478	1,40	17,2	26,0	14,3	42,5
	60-80	0,421	0,030	0,451	1,50	20,6	18,4	16,9	44,2
	80-100	0,410	0,031	0,441	1,58	17,7	18,6	17,1	46,7

Onde: profundidade de coleta das amostras (Prof.); porosidade total (Poros. total); T1- Com resíduos + adubação de base; T3- Sem resíduos + adubação de base. Fonte: Autor 2021.

3.6 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS

Foi realizada a medição da altura total aos quatro meses após o plantio e no segundo momento 16 meses após o plantio da segunda rotação. A segunda medição da altura foi realizada no intervalo entre a aplicação da adubação do tratamento T6. Para medição da altura das plantas foi utilizado mira falante de 6 metros.

Quando o povoamento completou 24 meses foi medido o diâmetro a altura do peito (DAP = 1,3 m da superfície do solo) e a altura total de todas as plantas da parcela útil. Os dados de DAP e a altura total foram utilizados para determinar o volume de madeira com casca por hectare (Vol cc ha⁻¹) e volume de madeira sem casca por hectare (Vol sc ha⁻¹). A estimativa do volume foi realizada através de um modelo de afilamento, por meio de uma equação de potência fracionária de 5°. Os coeficientes desse modelo são divididos por grupos de materiais genéticos e classes de DAP em intervalos de DAP de 5 cm. O modelo foi ajustado pela equipe de inventário da CMPC. Foi realizado o processamento dos dados em aplicativo disponibilizado pela equipe de inventário, considerando como variáveis de entrada DAP, altura e material genético.

Foi realizada a análise de variância e o teste Tukey, a 5 % de probabilidade, para comparar as médias dos tratamentos das alturas aos 4, 16 e 24 meses após o plantio, DAP, Vol sc ha⁻¹, Vol cc ha⁻¹, utilizando o software SISVAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 BIOMASSA

Na tabela abaixo são apresentados os valores da quantidade da biomassa e da concentração de nutrientes por componentes das árvores do povoamento de *E. saligna*, com 120 meses de idade (Tabela 4). Os elementos N, P e K estão presentes em maior concentração nas folhas da planta. Já o Ca e o Mg estão presentes em maior concentração na casca e em segundo lugar nas folhas. A concentração dos nutrientes no componente madeira aparece em menor valor para todos os nutrientes avaliados.

Tabela 4 - Biomassa e concentração de nutrientes por componentes da biomassa (madeira, galho, casca e folha) em plantio com 120 meses de idade.

Componente	Biomassa* Mg ha ⁻¹	N	P	K g kg ⁻¹	Ca	Mg
Madeira	239,7	1,3 c	0,1 c	0,4 c	0,7 c	0,3 d
Galho	8,7	4,1 b	0,4 bc	2,6 b	5,5 b	2,0 c
Casca	16,0	3,3 b	0,5 b	3,1 b	16,7 a	4,3 a
Folha	4,8	24,2 a	1,5 a	5,8 a	7,9 b	2,9 b

Onde: *Biomassa acima do solo na área anterior a instalação do experimento (MOMOLLI et al., 2019); Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; Fonte: Autor, 2021.

Uma parte dos nutrientes tem a tendência de ficarem alocados prioritariamente nas folhas, pois é nesse componente onde encontra-se a grande maioria das células vivas responsáveis pela fotossíntese e transpiração (VIERA et al., 2012). Segundo Salvador et al. (2015), normalmente a madeira tem menor concentração de nutrientes por estar associada à retranslocação interna de nutrientes, além de ter uma atividade fisiológica com menor intensidade quando comparado aos demais componentes.

A estrutura da casca apresenta grande quantidade de cálcio, porém esse elemento possui pouca retranslocação na planta (VERGUTZ et al., 2012), logo o descascamento a campo pode reduzir o impacto sobre as reservas de Ca e Mg no solo (SANTANA et al., 2008).

A madeira apresenta as menores concentrações de nutrientes, por outro lado, este é o componente que geralmente apresenta o maior estoque de nutrientes por consequência dos elevados valores de biomassa nos povoamentos, portanto este fato deve ser levado em consideração no momento da colheita (CONSENSA, 2017).

A madeira é o componente que aumenta a biomassa relativa em função da idade ao passo que a componente folha, galho, casca apresentam redução da biomassa relativa em função da idade (SCHUMACHER et al., 2011).

A quantidade de nutrientes presente em cada componente da biomassa é apresentada na Tabela 5. A componente madeira detém a maior quantidade de N, P, K e Mg. O maior valor para o Ca está presente na casca. A quantidade de nutrientes total seguiu a seguinte ordem de distribuição Ca > N > K > Mg e P.

Tabela 5 - Quantidade de nutrientes presente em cada componente da biomassa em plantio com 120 meses de idade (primeira rotação).

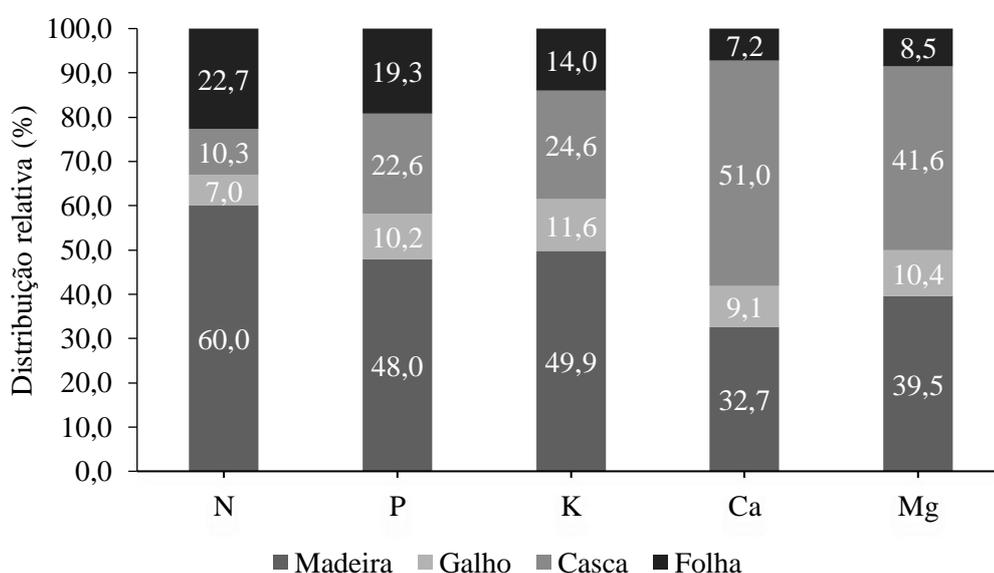
Componente	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹					
Madeira	239,7	305,0 a	17,4 a	98,9 a	170,8 b	64,7 a
Galho	8,7	35,7 b	3,7 b	23,0 c	47,7 c	17,0 b
Casca	16,0	52,5 b	8,2 b	48,7 b	266,5 a	68,2 a
Folha	4,8	115,2 b	7,0 b	27,8 c	37,8 c	13,9 b
TOTAL	269,2	508,6	36,2	198,3	522,8	163,8

Onde: *Biomassa total acima do solo na área anterior a instalação do experimento (MOMOLLI et al., 2019); Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey; Fonte: Autor, 2021.

Vieira et al. (2012) encontraram a magnitude total da quantidade de nutrientes na biomassa seguindo a ordem decrescente $Ca > N > K > Mg > P$, corroborando com os resultados encontrados no presente trabalho. Quando observado a distribuição relativa dos nutrientes por componente de biomassa em plantio com 120 meses de idade, cabe destacar que cerca de 60,0% do nitrogênio está presente na madeira, ao passo que o fósforo e o potássio são distribuídos 48% e 49,9%, respectivamente, nesse componente (Figura 5).

Consensa (2017) verificou que os componentes folha e casca apresentam o menor valor de biomassa, por outro lado, apresentam elevadas quantidade de N e Mg, para o componente folha. A casca apresenta uma constituição significativa de Ca e K.

Figura 5 - Distribuição relativa de nutrientes por componente da biomassa em plantio com 120 meses de idade (primeira rotação).



Fonte: Autor 2021.

Santana et al., (2008), também notaram que existe uma tendência de redução dos nutrientes alocados na copa e aumento dos nutrientes alocados no tronco, com o aumento da idade. Segundo Gonçalves et al. (2000), isso pode ser explicado pelas fases nutricionais das árvores, ou seja, em um primeiro momento, antes do fechamento das copas e depois de adaptadas ao campo, ocorre um intenso crescimento em que a grande maioria dos fotoassimilados sintetizados na planta são canalizados para a formação da copa e sistema radicular. Nesta fase não ocorre competição por fatores de crescimento, onde apenas as próprias condições fisiológicas podem limitar o crescimento. Na fase seguinte tem-se o fechamento das copas das árvores, nesse momento o acúmulo de nutrientes ocorre com mais intensidade no tronco, pois a formação da copa atinge relativa estabilidade, consequência do sombreamento. Porém, cabe ressaltar que a espécie, a fertilidade do solo e a densidade de plantio também podem afetar a distribuição percentual da biomassa nos diferentes componentes das árvores. Larcher (2000), aponta que nos anos iniciais os carboidratos são usados para a produção de folhas e galhos, e a medida que o dossel fecha a produção relativa de madeira aumenta significativamente.

Hernández et al. (2016), ao estudar uma plantação de *Eucalyptus grandis* no Uruguai, com 12 anos de idade, verificaram que 77% da biomassa pertencia ao componente madeira, porém representou apenas 39% do total de nutrientes adsorvidos nesse componente, enquanto nos resíduos de colheita apresentaram 61% dos nutrientes (variando de 49% para P a 64% para Ca). Segundo os autores, esse resultado evidencia a necessidade de manter os resíduos da colheita e evitar práticas como o descasque na beira da estrada ou a retirada dos resíduos, que comprometem a sustentabilidade dos sistemas de produção. Em seu estudo, Santana et al. (2008), constataram que aproximadamente, 75 % de N, P, K, Ca e Mg estão em outros componentes da parte aérea da árvore, e não no lenho, evidenciando a importância do descascamento e manutenção da copa no campo.

Hernández et al. (2016), observaram que a incorporação dos resíduos a 20 cm de profundidade acelera a taxa de decomposição quando comparado a taxa de decomposição dos resíduos deixados na superfície do solo. Esse efeito é mais marcado para resíduos grosseiros (casca e galhos). A liberação de nutrientes dos resíduos também é mais rápida quando os resíduos são enterrados, liberação de N, P, K, Ca e Mg aumentaram em 22, 26, 5, 20 e 13%, respectivamente.

A partir da estimativa de exportação de nutrientes considerando três cenários de colheita (madeira, madeira com casca, biomassa acima do solo), é possível observar que se for realizado a colheita da madeira com casca, poderá ter a exportação de mais de 70% de cada um dos macronutrientes avaliados (Tabela 6). Os nutrientes Ca e Mg teriam um maior impacto com a colheita da madeira com casca, da ordem de 83,6% e 81,1%, respectivamente.

Tabela 6 - Estimativa de exportação de nutrientes em simulação de três intensidades de colheita da primeira rotação (120 meses).

Intensidade de colheita	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹				
madeira sem casca	305,0 ^(60,0)	17,4 ^(48,0)	98,9 ^(49,9)	170,8 ^(32,7)	64,7 ^(39,5)
madeira com casca	357,6 ^(70,3)	25,6 ^(70,5)	147,6 ^(74,4)	437,3 ^(83,6)	132,9 ^(81,1)
biomassa acima do solo	508,6 ⁽¹⁰⁰⁾	36,2 ⁽¹⁰⁰⁾	198,3 ⁽¹⁰⁰⁾	522,8 ⁽¹⁰⁰⁾	163,8 ⁽¹⁰⁰⁾

Onde: Valores dentro dos parênteses indicam a porcentagem em relação ao total da quantidade de nutrientes presente na biomassa. Fonte: Autor 2021.

Quando o produto final da colheita é a madeira com casca, a exportação de aumenta significativamente, principalmente no caso do Ca, resultando na redução dos estoques de nutrientes disponíveis para o próximo ciclo de plantio (HERNÁNDEZ et al., 2016). Neste caso, as raízes passam a ter uma contribuição importante para a ciclagem de nutrientes e carbono conforme destaca Scheffer e Aerts (2000). Portanto, em um cenário onde a biomassa acima do solo é colhida e removida para a produção de energia, a ciclagem de nutrientes seria restrita aos nutrientes liberados pela decomposição da raiz.

Segundo Viera et al. (2015), considerando a colheita da madeira com casca, todos os nutrientes iriam sofrer remoção superior a 45% da quantidade acumulada na biomassa acima do solo. A medida que for realizado somente a remoção da madeira, a remoção seria inferior a 50%, com exceção do Cu e Zn, podendo alcançar até 10% para o Ca, em relação ao total contido na biomassa. Os principais nutrientes que poderão se tornar limitantes na produtividade nas próximas rotações seriam o P e o Ca, quando considerada a colheita da madeira com casca (VIERA et al., 2015).

Se for realizado somente a colheita da madeira, as relações nutricionais podem ser alteradas, aumentando a expectativa de produção na escala de 5, 3, 2 e 1,7 vezes, respectivamente para o Ca, Mg, P e K, conforme Santana et al. (2012). Assim, segundo os autores, tal fato seria importante para a manutenção dos teores de Ca no solo, pois de forma geral, os solos cultivados com eucalipto apresentam baixos teores deste nutriente.

Complementar a isso, em média, 58% do total do Ca adsorvido é exportado pela colheita da casca. Desta forma, futuramente o K poderá se tornar limitante para o próximo ciclo.

Segundo Bellote et al., (2008), manter os resíduos de colheita no sítio melhora o estado nutricional das árvores e a produtividade do sítio. Com a remoção dos resíduos da colheita, e não for realizada a reposição correta, pode ocorrer a queda de produtividade dos plantios florestais.

Muitos plantios florestais foram estabelecidos em áreas com solos predominantemente de baixa fertilidade e altamente dependentes da ciclagem de nutrientes advindo da serapilheira e da decomposição de resíduos de colheita florestal (SÃO JOSÉ et al., 2020). O manejo de resíduos de colheita é tema na comunidade científica internacional (ACHAT et al., 2015; CARNEIRO et al., 2009; KUMARASWAMY et al., 2014).

Alguns autores verificaram que a manutenção dos resíduos de colheita aumenta a disponibilidade de nutrientes do solo (HERNÁNDEZ et al., 2016; MENEGALE et al., 2016; MENDHAM et al., 2014) e matéria orgânica (ACHAT, et al., 2015; EPRON et al., 2015) além de contribuir para a atividade microbiana do solo (NAMBIAR e HARWOOD, 2014; WU et al., 2011).

A remoção dos resíduos na primeira rotação promoveu a redução de 25% da matéria orgânica na camada superficial (0 – 0,05 m), ao passo que na segunda rotação com remoção dos resíduos da colheita a diferença aumentou para 50 % nove meses após a reinstalação do experimento (ROCHA et al., 2018).

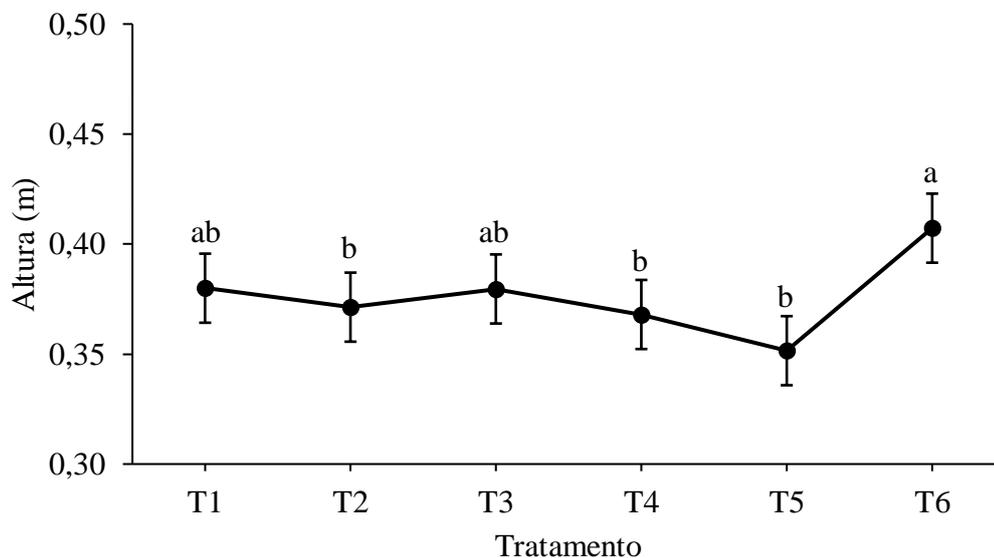
Segundo Laclau et al. (2010), a sustentabilidade das plantações com espécies de crescimento rápido é fonte de preocupação principalmente devido aos custos dos fertilizantes, pois grandes quantidades de nutrientes são removidos com a biomassa a cada ciclo. Para os autores, é necessário compreender a dinâmica nutricional demandada pelas árvores, associando com os regimes de fertilização. Considerando o balanço de entradas e saídas de nutrientes sugere-se que as plantações de eucalipto aproveitam a fertilidade do solo herdada de usos anteriores, porém a longo prazo será exigido um aumento nas entradas de alguns nutrientes (LACLAU et al., 2010).

4.2 CRESCIMENTO DAS PLANTAS

A altura das plantas quatro meses após o plantio foi significativamente maior no tratamento T6 quando comparada ao tratamento T2, T4 e T5. O tratamento T5 apresentou a

menor média, apesar de não ter diferença significativa para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 (Figura 6).

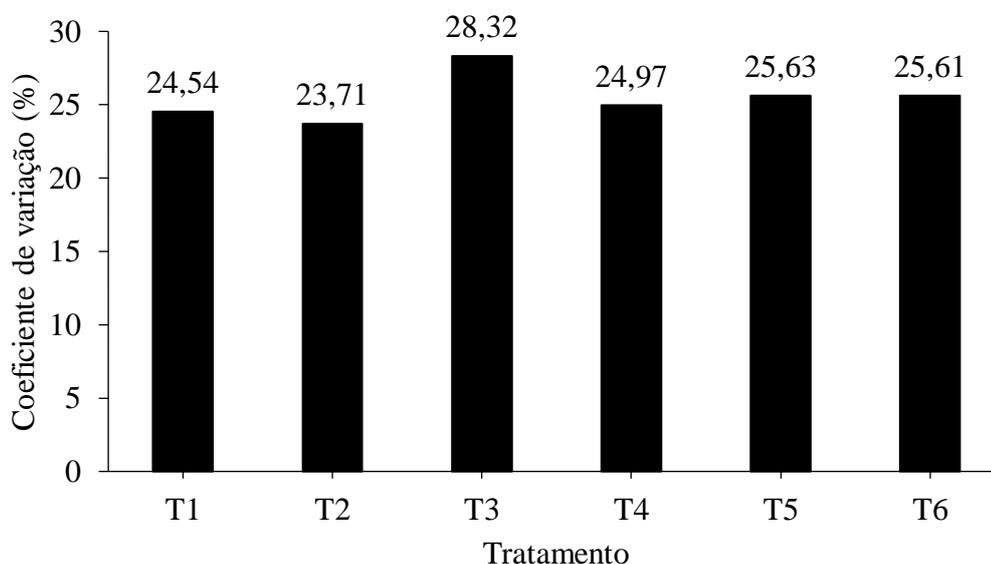
Figura 6 - Altura das plantas quatro meses após o plantio da segunda rotação.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Diferença mínima significativa para altura é 0,031m, representada pela barra vertical. Fonte: Autor 2021.

Outra informação importante de se destacar é que o plantio se mostrou heterogêneo, pois é o que indica a figura abaixo (Figura 7). Quanto mais alto o CV%, mais heterogênea é a floresta e quanto mais baixo o CV%, mais homogênea.

Figura 7 - Coeficiente de variação da altura aos quatro meses após o plantio para cada tratamento.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Fonte: Autor 2021.

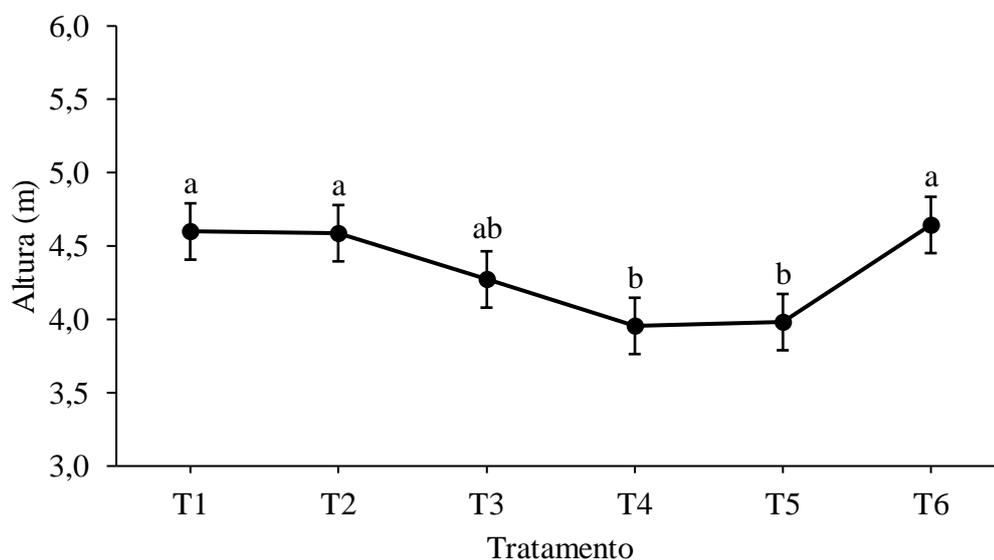
A diferença para os tratamentos dificilmente pode ter efeito do manejo dos resíduos aos quatro meses de idade, pois os resíduos pós colheita ainda estavam em processo de decomposição. O tempo necessário para a decomposição de 50% dos resíduos de colheita (meia vida) pode chegar a 13 meses (SOUZA, 2012). Com relação a casca de eucalipto, Shammass et al. (2003) e Hernández et al. (2009), relatam que a meia vida deste componente pode chegar a 40 e 64 meses, respectivamente. A alta taxa encontrada por Souza (2012), mesmo com o provável maior aporte de compostos recalcitrantes a partir da manutenção da casca (QUILHÓ et al., 1999), pode ter sido afetada pela atuação de microrganismos especializados na degradação de componentes com maior quantidade de lignina (CORBEELS et al., 2003). A componente casca pode proporcionar maior cobertura do solo e conseqüentemente maior retenção de umidade que está associada a redução da superfície de evaporação e menor variação de temperatura, pode favorecer a atividade dos microrganismos que fazem a decomposição (GHOLZ et al., 2000).

A taxa de decomposição dos resíduos florestais seguiu a ordem folhas > casca > galhos (ROCHA et al. 2016). A diferença na taxa de decomposição entre esses componentes foi atribuída a diferença na concentração de nutrientes, conteúdo de extrativos (CORBEELS et al.,

2005; PURAHONG et al., 2014) e a área de superfície de resíduos florestais (BRADY E WEIL, 2013).

Após 16 meses após o plantio, as médias das alturas do T4 e T5 são significativamente menores que os tratamentos T1, T2 e T6 (Figura 8). Como essa medição foi realizada próxima da data da adubação complementar dos tratamentos T5 e T6 ainda não é possível atribuir a variação das médias de alturas para essa adubação, mas sim para aquela realizada no momento do preparo de solo. O tratamento com manutenção dos resíduos (T1 e T2) tem a tendência de se manter com crescimento maior em relação aos demais tratamentos onde foi feito a remoção dos resíduos de colheita.

Figura 8 - Altura das plantas 16 meses após o plantio da segunda rotação.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Diferença mínima significativa para altura é 0,384m, representada pela barra vertical. Fonte: Autor 2021.

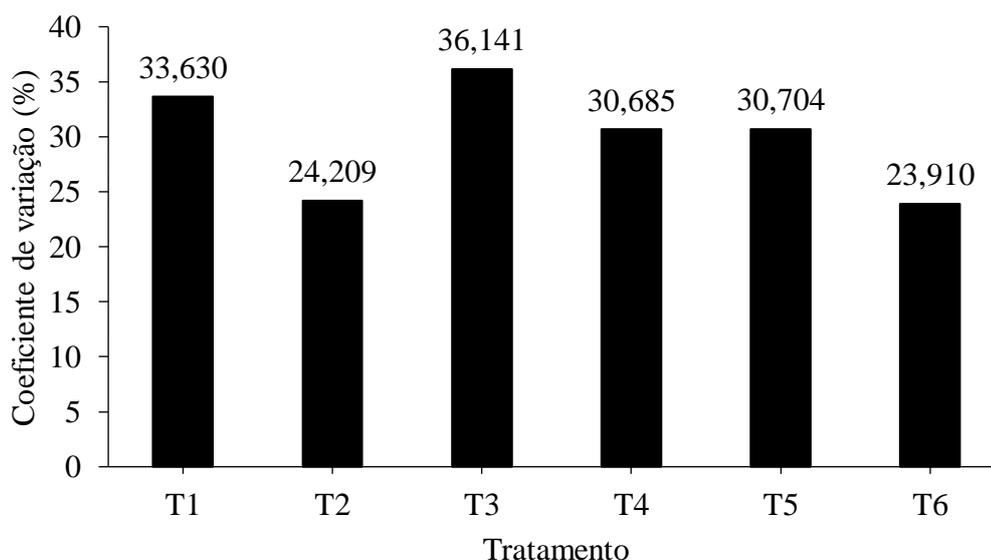
A adubação nos tratamentos T5 e T6 foi realizada no intervalo da medição realizada aos 16 meses após o plantio, por isso não foi possível observar uma tendência sobre esses tratamentos.

São José et al. (2020), concluíram que a manutenção dos resíduos da colheita aumentou a altura, o DAP e o volume individual quando compara com a remoção dos resíduos da colheita e da serapilheira. Além disso, os autores destacam que a manutenção dos resíduos e da serapilheira para o crescimento das árvores tem efeito positivo, pois ocorre o aporte de

nutrientes ao solo, como consequência da decomposição e mineralização dos resíduos, aumento da retenção de água no solo.

O coeficiente de variação para a altura 16 meses após o plantio aumentou comparado com os valores encontrados após quatro meses (Figura 9). Cabe destacar que o T6 tem uma tendência de apresentar floresta mais homogênea, seguido do T2.

Figura 9 - Coeficiente de variação da variável altura, 16 meses após o plantio.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Fonte: Autor 2021.

O comportamento mais uniforme possível do povoamento florestal pode ser alcançado a partir do avanço do melhoramento genético, desenvolvimento de materiais específicos para determinados tipos de clima e solo, com o emprego do método de preparo de solo, controle de mata competição e adubação (GONÇALVES et al., 2004; SMETHURST, 2010). Porém, os fatores que podem gerar uma significativa heterogeneidade no crescimento das árvores e por consequência impactando na produtividade de plantios florestais são a disponibilidade e variabilidade espacial de água, nutrientes e luz (RYAN et al., 2010; STAPE et al., 2010; ASPINWALL et al., 2011).

De acordo com Rocha et al. (2018), a remoção de resíduos florestais ou a colheita de árvores inteiras (camada de serapilheira mantida no solo) resultou na pequena redução não significativa da produtividade da madeira em comparação com a manutenção de todos os resíduos florestais no solo, considerando a primeira rotação. Contudo, na segunda rotação com

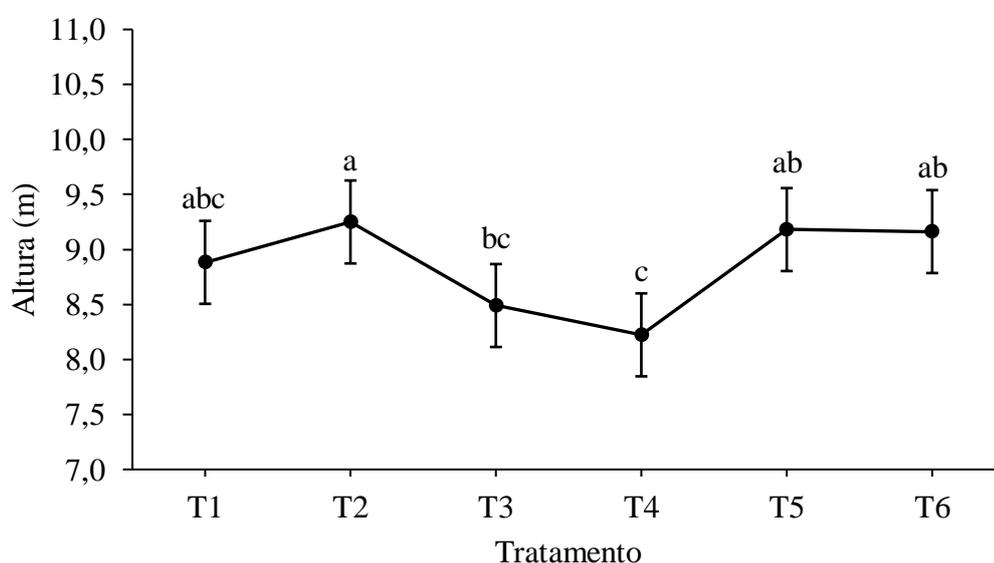
remoção dos resíduos da colheita, a produção de madeira é prejudicada mesmo com altas taxas de fertilizantes, chegando a reduzir a produtividade da floresta em 15%.

Quando os resíduos florestais são removidos em duas rotações consecutivas ocorre a redução do conteúdo de carbono orgânico total do solo (COT), principalmente a fração lábil do COT é a mais afetada, conseqüentemente essa redução associado a outros fatores resulta na redução dos teores de C e N da biomassa microbiana (ROCHA et al. 2018).

Soares et al. (2002) e Gómez-Rey (2008) constaram crescimento precoce mais rápido quando os resíduos da colheita são mantidos no solo em comparação com a remoção ou incorporação ao solo. Outros estudos também demonstram que a manutenção dos resíduos na superfície do solo aumentou a produtividade (PAES et al., 2013; ROCHA et al., 2018).

Aos 24 meses após o plantio a média das alturas foi significativamente maior para o tratamento T2 quando comparado ao T3 e T4, onde foi realizada a retirada de resíduos após a colheita do primeiro ciclo (Figura 10). Os tratamentos com adubação complementar de 50% e 100% dos nutrientes exportados pela colheita, T5 e T6 respectivamente, não diferiram dos tratamentos onde o resíduo foi mantido (T1 e T2).

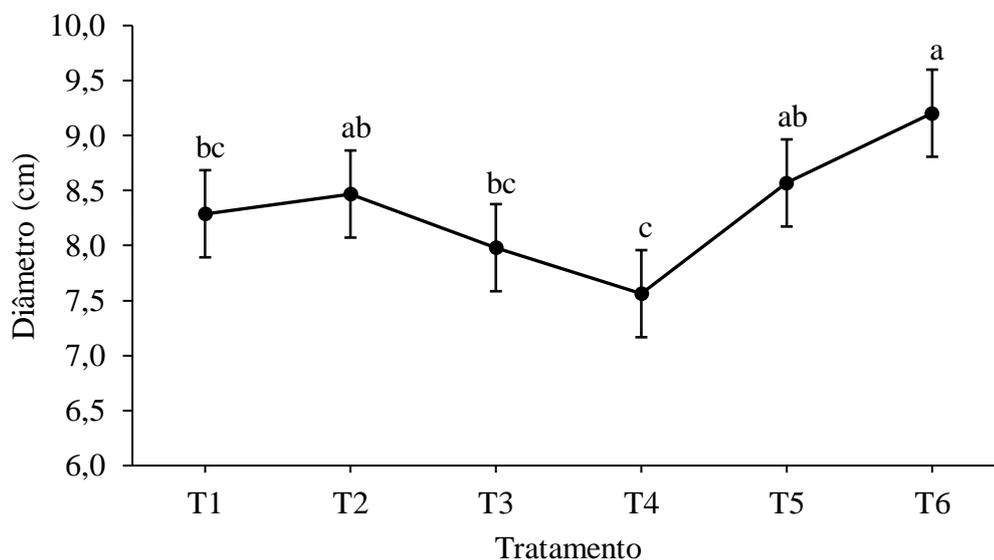
Figura 10 - Altura das plantas 24 meses após o plantio da segunda rotação.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Diferença mínima significativa para altura é 0,755m, representada pela barra vertical. Fonte: Autor 2021.

Quanto ao DAP, é possível observar que o tratamento T6 apresentou maior média que o T1, T3 e T4. Já o tratamento T2, T5 e T6 não diferem estatisticamente (Figura 11).

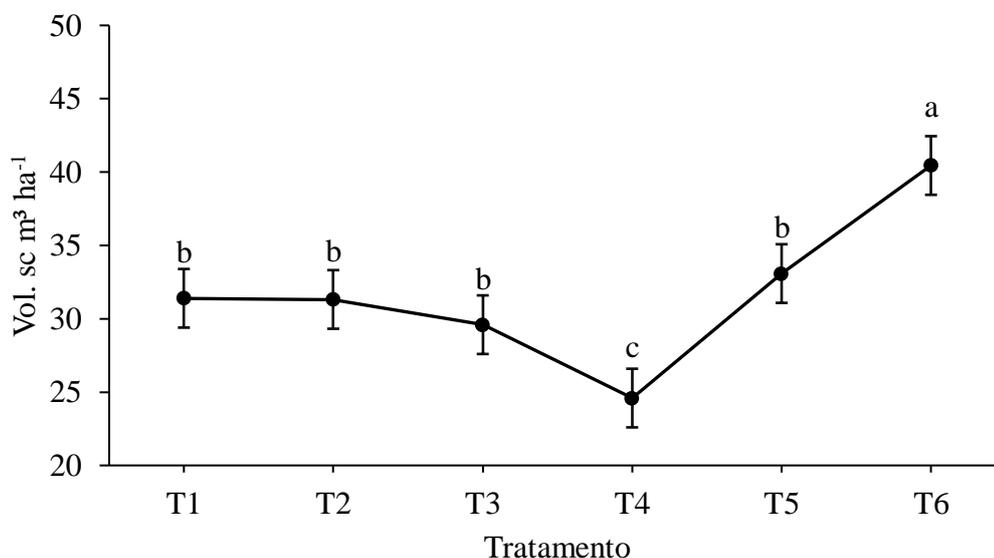
Figura 11 - DAP das plantas 24 meses após o plantio da segunda rotação.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Diferença mínima significativa para altura é 0,791m, representada pela barra vertical. Fonte: Autor 2021.

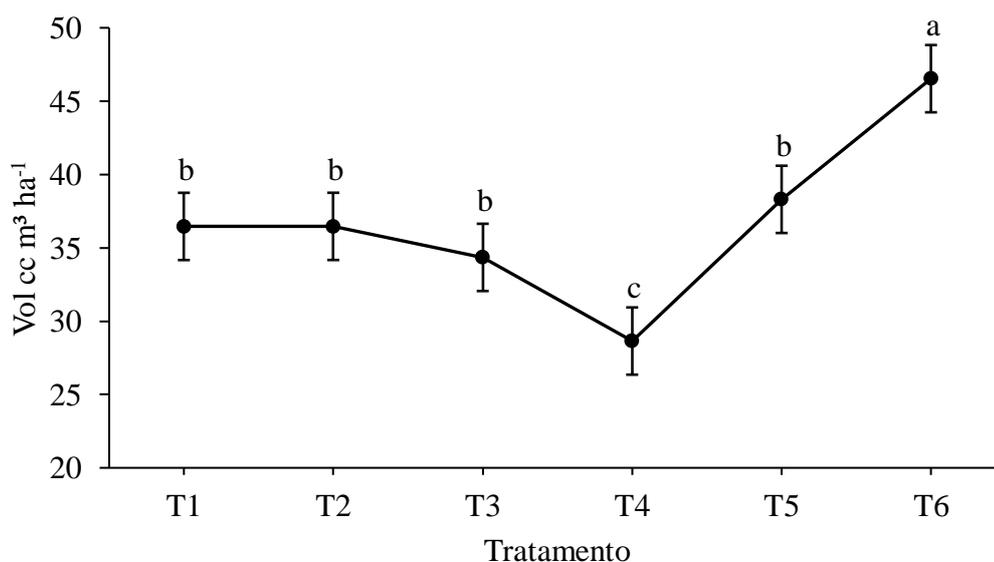
O volume sem casca por hectare e volume como casca por hectare foi significativamente maior para o tratamento T6 quando comparado aos demais tratamentos. Já os tratamentos T1, T2, T3 e T5 não diferem estatisticamente (Figura 12 e 13). A remoção dos resíduos tem uma tendência de impactar no volume sem casca e com casca aos 24 meses de idade dos tratamentos que receberam somente adubação de base (T3) e adubação de base mais cobertura (T4).

Figura 12 - Volume sem casca por hectare (Vol sc $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) das plantas quatro meses após o plantio da segunda rotação.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Diferença mínima significativa para altura é 3,999m, representada pela barra vertical. Fonte: Autor 2021.

Figura 13 - Volume com casca por hectare (Vol cc $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) das plantas quatro meses após o plantio da segunda rotação.



Onde: T1- Com resíduos + adubação de base; T2- Com resíduos + adubação de base + adubação de cobertura; T3- Sem resíduos + adubação de base; T4- Sem resíduos + adubação de base+ adubação de cobertura; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de

probabilidade, pelo teste de Tukey. Diferença mínima significativa para altura é 4,586m, representada pela barra vertical. Fonte: Autor 2021.

O comportamento do volume para o tratamento T6 indica um possível efeito da adubação complementar com 100% dos nutrientes exportados pela colheita da primeira rotação. Contudo, é importante fazer avaliações futuras para verificar o comportamento do crescimento no longo prazo, visto que alguns trabalhos indicam que a remoção dos resíduos de colheita impacta na produtividade das rotações seguintes.

Rocha et al. (2016), encontraram redução de 10% no volume de madeira para o tratamento com remoção de resíduos em comparação com a manutenção dos resíduos, em experimento com *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade. A produtividade de madeira encontrada no tratamento sem resíduo e sem aplicação de fertilizante foi 36% a menos. Na segunda rotação, encontraram diferenças maiores na produtividade entre os tratamentos. Quando o resíduo de colheita foi removido ou nenhum fertilizante aplicado, foi encontrado redução de 20% e 40% do volume de madeira, respectivamente, na idade de 1,5 anos de plantio da segunda rotação do experimento.

Menegale et al. (2016) cita que em locais com condições favoráveis para a remoção de resíduos, deve-se dar preferência aos resíduos grosseiros devido ao seu alto poder calórico e reduzida concentração de nutrientes. A medida que os resíduos são retirados da área, é necessário aplicar altas taxas de fertilizantes para evitar as perdas de produtividade e garantir a sustentabilidade silvicultura. O saldo negativo de nutrientes, especialmente para N e P, e a relativa baixa redução na disponibilidade desses nutrientes no solo merecem atenção pois podem impactar na sustentabilidade da produção (MENEGALE et al., 2016).

4.3 NUTRIENTES NO SOLO

Na Tabela 7 é apresentado a concentração de nutrientes para os tratamentos contrastantes, com resíduo e sem resíduo e reposição de adubação com 50% e 100% do que foi exportado pela colheita da primeira rotação, seis meses após a adubação dos tratamentos T5 e T6 e 24 meses após o plantio das mudas.

Tabela 7 - Atributos químicos da área experimental 24 meses após o plantio da segunda rotação.

Tratamento	Profundidade cm	MO %	pH H ₂ O	AL	H+Al	CTC _{efet}	CTC _{pH7}	P	K	Ca	Mg	m	V	Sb
1	0 - 5	3,0 aA ± 1,2	5,4 aA ±0,4	0,2 bA ±0,4	3,2 aA ±2,1	6,9 aAB ±2,6	9,9 aA ±1,0	11,5 aA ±1,9	57,6 aB ±12,7	4,6 aA ±2,1	1,9 aA ±1,2	5,7 bAB ±9,8	66,7 aA ±25,8	6,7 aA ±3,0
	5 - 10	3,3 aA ±1,9	5,6 aA ±0,2	0,5 bB ±0,8	3,8 aB ±2,5	6,0 aA ±2,6	9,3 aAB ±1,5	18,6 aA ±6,0	49,4 aA ±10,9	4,1 aA ±2,5	1,2 aA ±0,6	12,3 abB ±18,8	58 abA ±27,5	5,5 aA ±3,2
	10 - 20	2,1 aA ±0,3	5,0 abA ±0,4	1,1 abAB ±0,6	5,1 aA ±1,4	4,4 aA ±0,8	8,4 aA ±1,5	40,0 aA ±51,2	56,9 aA ±23,3	2,4 aA ±0,8	0,8 aA ±0,3	25,0 abA ±15,9	40 abA ±12,2	3,4 aA ±1,1
	20 - 40	1,8 aA ±0,2	4,6 bA ±0,2	2,0 aA ±0,7	7,6 aA ±3,7	4,8 aA ±1,3	10,5 aA ±4,5	19,2 aA ±19,9	51,0 aA ±20,9	1,9 aA ±0,6	0,7 aA ±0,3	42,3 aA ±14,5	28,0 cA ±7,8	2,8 aA ±1,0
5	0 - 5	2,6 aA ±0,8	5,6 aA ±0,2	0,1 bA ±0,1	2,8 bA ±1,2	7,7 aA ±2,8	10,5 aA ±1,8	60,4 aA ±67,2	140,7 aAB ±122,1	5,2 aA ±1,9	2,1 aA ±0,9	1,7 bB ±2,9	71,3 aA ±17,6	7,7 aA ±2,9
	5 - 10	2,7 aA ±0,4	4,9 bcB ±0,5	0,4 bB ±0,3	4,2 abB ±1,4	3,6 bA ±1,4	7,5 aB ±2,5	38,2 aA ±27,5	106,9 aA ±111,1	2,2 bA ±0,8	0,7 bA ±0,2	9,7 bB ±8,0	44,3 abAB ±5,5	3,3 bA ±1,2
	10 - 20	2,1 aA ±0,2	5,2 abA ±0,4	1,0 bB ±0,7	5 abA ±1,9	4,4 abA ±1,4	8,4 aA ±0,9	41,1 aA ±27,6	53,8 aA ±16,5	2,4 abA ±1,5	0,9 abA ±0,5	26,7 bA ±20,5	40,7 abA ±22,1	3,4 bA ±2,0
	20 - 40	1,7 aA ±0,1	4,4 cA ±0,4	2,5 aA ±0,3	8,7 aA ±0,4	4,3 abA ±0,5	10,6 aA ±1,0	57,7 aA ±46,8	47,7 aA ±10,4	1,3 bA ±0,4	0,4 bA ±0,2	57,7 aA ±9,1	17,3 bA ±3,8	1,9 bA ±0,5
6	0 - 5	2,7 aA ±0,7	4,7 aB ±0,4	1,1 aA ±0,3	6,9 aA ±0,2	3,7 aB ±0,5	9,5 aA ±0,5	32,1 aA ±23,0	167,0 aA ±61,7	1,7 aB ±0,2	0,5 aB ±0,1	30,3 aA ±6,0	27,3 aB ±2,1	2,6 aB ±0,3
	5 - 10	2,5 aA ±0,2	4,3 aC ±0,3	2,1 aA ±1,0	9,8 aA ±3,6	4,5 aA ±0,5	12,3 aA ±2,9	20,4 aA ±15,4	141,1 aA ±64,7	1,6 aA ±0,7	0,5 aA ±0,2	44,7 aA ±18,8	21,7 aB ±10,1	2,5 aA ±0,9
	10 - 20	1,8 aA ±0,4	4,3 aB ±0,3	2,3 aA ±1,1	9,6 aA ±3,8	4,5 aA ±0,6	11,8 aA ±3,2	28,0 aA ±30,7	79,6 aA ±167,0	1,5 aA ±0,7	0,5 aA ±0,3	51,0 aA ±20,5	20,3 aA ±10,5	2,3 aA ±1,0
	20 - 40	1,7 aA ±0,3	4,4 aA ±0,1	2,5 aA ±0,6	8,3 aA ±1,7	4,5 aA ±0,7	10,3 aA ±1,8	84,4 aA ±96,5	52,8 aA ±15,8	1,4 aA ±0,2	0,4 aA ±0,1	55,3 aA ±6,3	19,7 aA ±3,8	2,0 aA ±0,3

Onde: MO = matéria orgânica, P = fósforo, K = potássio, Ca = cálcio, Mg = magnésio, pH_{H2O} = pH em água, CTC_{efet} = capacidade de troca de cátions efetiva, CTC_{pH7,0} = capacidade de troca de cátions a pH 7,0, Al = alumínio, H+Al = acidez potencial, V = saturação por base trocável, m = saturação por alumínio trocável e SB = soma de bases; T1- Com resíduos + adubação de base; T5- Sem resíduos + adubação de base + 50% dos nutrientes exportados pela colheita; T6- Sem resíduos + adubação de base + 100% dos nutrientes exportados pela colheita. Fonte: Médias dentro da mesma profundidade, não diferem entre os tratamentos quando seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, pelo teste Tukey (α 5%); Médias dentro do mesmo tratamento, não diferem entre os entre as profundidades quando seguidas pela mesma letra minúscula, na coluna, pelo teste Tukey (α 5%). Autor, 2021.

A MO não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e profundidade, porém, nota-se uma tendência de redução da MO com o aumento da profundidade. Além disso, no T1 a MO apresentou tendência de ser maior quando comparado com os tratamentos com remoção de resíduos, especialmente até a camada de 0 – 20 cm. O pH do T6 é significativamente menor que T1 até 20 cm de profundidade. O teor de Al aumenta com a profundidade em todos os tratamentos, além disso, na camada de 5 - 20 cm de profundidade o AL é significativamente maior no T6 em relação ao T1 e T5. O teor de P não diferiu entre os tratamentos e nem em profundidade. O teor de K é significativamente maior na primeira camada no tratamento T6 em relação ao T1. Nos tratamentos T5 e T6 o teor de K apresenta tendência de redução com o aumento da profundidade. O teor de Ca é menor na primeira camada do T6 quando comparado com a mesma camada do T1 e T2.

Alguns autores não relataram perda de C do solo ou nos estoques de nutrientes, mesmo com o aumento dos nutrientes exportados pela colheita (DU TOIT, 2008; NAMBIAR E HARWOOD, 2014; LACLAU, et al., 2010; KUMARASWAMY et al., 2014). Essa constatação foi atribuída a alta capacidade tampão do solo, lenta decomposição dos resíduos florestais, longo intervalo de retorno de colheita (mais de sete anos) e rápido crescimento e deposição de serapilheira de novas plantações de eucalipto. No entanto, outros estudos evidenciaram que ocorre a redução no C do solo e nos estoques de nutrientes em locais tropicais úmidos com solo arenoso, em floresta de alta produtividade e com colheitas sucessivas (ROCHA et al. 2016; PENG et al. 2008; LACLAU et al. 2010; MENDHAM et al. 2003, KUMARASWAMY et al. 2014).

Segundo Paes et al. (2013), a adubação e a manutenção dos resíduos da colheita florestal elevam os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} disponível no solo. De acordo com Menegale et al. (2015), o saldo de N e P nas duas rotações do experimento foram negativos em todos os tratamentos, com valores ainda menores quando a árvore inteira e a serapilheira foram removidos ou quando nenhum fertilizante foi aplicado. Os autores indicam que os pools de N e P do solo desempenham um papel importante para a nutrição da floresta e a redução desses deve afetar a sustentabilidade do sistema de produção no longo prazo.

Consensa (2017) estimou o número potencial de rotações para cada nutriente no povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith, considerando o estoque de nutrientes acima do solo e o estoque de nutrientes no solo. Para o sistema de colheita de toda a biomassa acima do solo, colheita da árvore inteira e no sistema de colheita da madeira mais casca, a maioria dos nutrientes são limitantes, com exceção do Mg e Cu, os quais podem suportar aproximadamente 3 e 9 rotações respectivamente para os dois primeiros sistemas de colheita e entre 4 a 10 rotações

no terceiro sistema mencionado. Segundo a autora, se considerar somente a colheita da madeira, o número de rotações aumenta para todos os nutrientes, principalmente para o Ca, Mg e Cu. Esses resultados vão de encontro ao observado por Viera (2012), assim, adotando um sistema em que seja retirado somente a madeira, o número potencial de rotações aumenta, principalmente em consideração ao aumento da disponibilidade de Ca.

5 CONCLUSÕES

O N, P e K estão presentes em maior concentração nas folhas da planta. Já o Ca e o Mg estão presente em maior concentração na casca. A madeira detém a maior quantidade de N, P, K e Mg, devido a maior proporção de biomassa desse componente. Assim, se considerara a colheita da madeira com casca, os nutrientes Ca e Mg são exportados em maior quantidade, da ordem de 83,6% e 81,1%, respectivamente.

A reposição de 100% dos nutrientes exportados pela colheita resultou em maior crescimento de *Eucalyptus saligna* Smith aos dois anos após o plantio no tratamento sem resíduo de colheita da primeira rotação.

A manutenção dos resíduos de colheita apresenta uma tendência de aumento da matéria orgânica, quando comparado com os tratamentos com remoção de resíduos, especialmente até a camada de 0 – 20 cm.

Contudo, são necessárias avaliações futuras para acompanhar no longo prazo o crescimento das plantas e as propriedades físicas do solo, em cada um dos tratamentos.

REFERÊNCIAS

- ACHAT, D. L. et al. Forest soil carbon is threatened by intensive biomass harvesting. **Scientific Reports**, n. 5, 2015.
- ALVARES C. A, et al. Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2014.
- ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis x urophylla***. 2004. 151 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.
- ANDERSON, J. P. E. **Soil respiration**. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H. e KEENEY, D. R., eds. *Methods of soil analysis. Part 2 - Chemical and microbiological properties* 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, p.837-871. (Agronomy Monograph, 9), 2014.
- ASPINWALL, M et al. Genetic effects on stand-level uniformity and above- and belowground dry mass production in juvenile loblolly pine. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p. 609-619, 2011.
- BARROS, N. F. et al. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N. P. e K. no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p. 13-17, 1984.
- BELLÉ, P. A. **Crescimento e consumo hídrico de *Pinus sp* e *Eucalyptus Saligna* SM. em diferentes condições ambientais**. Tese (programa de pós-graduação em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil, 2018.
- BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 31-41, 2008.
- BENSON, D.; MCDUGALL, L. Ecology of Sydney plant species: Dicotyledon Family Myrtaceae. **Cunninghamia, Sydney**. v.5 n. 4, p. 926. 1998.
- BOLDRINI, I. I. et al. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Editora Pallotti, Porto Alegre, RS, p. 64, 2010.
- BRADY, N. C. E WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. **Bookman**, Porto Alegre, p. 716, 2013.
- CANDIDO, B. M. et al. Water erosion post-planting in eucalyptus forests in the Parana river basin, in the eastern Mato Grosso do Sul. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 38, p. 1565-1575, 2014.
- CANTARELLA, H.; VAN RAIJ, B. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. Na Reunião brasileira de fertilidade do solo; **SBCS**: Ilhéus, Brasil, p. 47-79, 1986.

CONSENSA, C. B. **Implicações silviculturais da colheita da biomassa e da remoção de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus saligna***. Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Santa Maria, RS, Brasil 2017.

COMPTON, J. E.; COLE, D. W. Phosphorus cycling and soil P fractions in Douglas-fir and red alder stands. **Forest Ecology and Management**, v. 110, p. 101–112, 1998.

CORBEELS, M. et al. Nitrogen release from eucalypt leaves and legumes residues as influenced by their biochemical quality and degree of contact with soil. **Plant Soil**, v. 250, p. 15-28, 2003.

CORBEELS, M., et al. A process-based model of nitrogen cycling in forests plantations Part I. Structure, calibration and analysis of the decomposition model. **Ecological Modelling**, v. 187, p. 426–448, 2005.

COUTEAUX, M. M.; BOTTLNER, P.; BERG, B. Litter decomposition climate and litter quality. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 2, p. 63–66, 1995.

DU TOIT, B. Effects of site management on growth, biomass partitioning and light use efficiency in a Young stand of *Eucalyptus grandis* in South Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 2324–2336, 2008.

EMBRAPA – Sistema brasileiro de classificação de solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Brasília, p. 353, 2013.

EPRON D, et al. Impacts of organic residue management on the soil C dynamics in a tropical eucalypt plantation on a nutrient-poor sandy soil after three rotations. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 85, p. 183-189, 2015.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, p. 403, 2006.

FERREIRA, G. W. D. et al. Temporal decomposition sampling and chemical characterization of eucalyptus harvest residues using NIR spectroscopy and chemometric methods. **Talanta**, v. 188, p. 168–177, 2018.

FERREIRA, G. W. D. et al. Nutrient release from decomposing *Eucalyptus* harvest residues following simulated management practices in multiple sites in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 370, p. 1–11, 2016.

FLORES et al. **Eucalyptus no Brasil: Zonemaneto Climático e Guia Para Identificação**. IPEF, Piracicaba, 2016.

GATTO, A., et al. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1069–1079, 2010.

GHOLZ, H. L. et al. Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition. **Global Change Biol.**, v. 6, p. 751-765, 2000.

GÓMEZ-REY, M. X.; VASCONCELOS, E.; MADEIRA, M. Effects of eucalypt residue management on nutrient leaching and soil properties. **European Journal of Forest Research**, v. 127(5), p. 379-386, 2008.

GONÇALVES, J. L. M. Conservação do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L., eds. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, IPEF, p.47-129, 2002.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, cap. 1. p. 1-57, 2000.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 45-61, 2004.

GUSTAVSSON, et al. Climate effects of bioenergy from forest residues in comparison to fossil energy. **Applied Energy**, v. 138(1), p 36-50, 2015.

HALL, S. J.; MATSON, P. A. Nutrient status of tropical rainforest influences soil N dynamics after N additions. **Ecol. Monogr**, v. 73, p. 107–129, 2003.

HERNÁNDEZ, J. et al. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 92-99, 2009.

HERNÁNDEZ J, et al. Management of forest harvest residues affects soil nutrient availability during reforestation of *Eucalyptus grandis*. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105(2), p. 141-155, 2016.

HOLUB, S.M. et al. Tree growth ten years after residual biomass removal, soil compaction, tillage, and competing vegetation control in a highly productive Douglas-fir plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 305, p. 60–66, 2013.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2020**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em 15/08/2021.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL. **Normais Climatológicas**. Brasília - DF, 2021.

JESUS, G. L. et al. Produtividade do Eucalipto, Atributos Físicos do Solo e Frações da Matéria Orgânica Influenciadas pela Intensidade de Tráfego e Resíduos de Colheita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 1190-1203, 2015.

KABIR, et al. Experimental and economical evaluation of bioconversion of forest residues to biogas using organosolv pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 178, p. 201-208, 2014.

KAMOGAWA, M. Y.; TEIXEIRA, M. A. Auto-amostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. **Química Nova**, v. 32, p. 1644–1646, 2009.

KIKUTI, P.; NAMIKAWA, I. S. Estudo da interação clone x níveis da adubação em *Eucalyptus saligna*. **O papel**, n. 3, p. 37- 44, 1990.

KUMARASWAMY, S. et al. Harvest residue effects on soil organic matter, nutrients and microbial biomass in eucalypt plantations in Kerala, India. **Forest Ecology and Management**, v. 328, p. 140–149, 2014.

LACLAU, J. P. et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1771–1785, 2010.

LACLAU, J. P et al. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in Eucalyptus plantations established on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 2148–2159, 2010.

LANDSBERG, J. J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, p. 198, 1986.

LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMA Artes e Textos, Portuguese, p. 531, 2000.

LIMA, M. A. et al. Effects of pretreatment on morphology, chemical composition and enzymatic digestibility of eucalyptus bark: a potentially valuable source of fermentable sugars for biofuel production – part 1. **Biotechnol. Biofuels**, v. 6, p. 75, 2013.

MARCELLA, L. C. et al. Effect of Timber Harvest Intensities and Fertilizer Application on Stocks of Soil C, N, P, and S. **Forests**, v. 7, p. 319, 2016.

MARCHIORI, J. N. C.; SOBRAL, M. **Dendrologia das Angiospermas – myrtales**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1997.

MENDHAM, D. S. et al. Repeated harvest residue removal reduces *E. globulus* productivity in the 3rd rotation in south-western Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 329, p. 279–286, 2014.

MENDHAM, D. S et al. Residue management effects on soil carbon and nutrient contents and growth of second rotation eucalypts. **Forest Ecology and Management**, v. 181, p. 357–372, 2003.

MENDHAM, et al. Repeated harvest residue removal reduces *E. globulus* productivity in the 3rd rotation in south-western Australia. **Forest Ecology Management**, v. 329, p. 279-286, 2014.

MENEGALE et al. Effect of timber harvest intensities and fertilizer application on stocks of soil C, N, P, and S. **Forests**, v. 7(12), p. 319, 2016.

MILLS, H. A. E JONES JUNIOR, J. B. Plant analysis handbook II: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Pub, **Athena**, OR, p. 321, 1996.

MOMOLLI, D. R. e SCHUMACHER, M. V. O manejo dos resíduos florestais afeta a produção de biomassa e a sustentabilidade de povoamentos de *Eucalyptus* sp. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6(12), p 251-261, 2019.

MOMOLLI, et al. Modeling and Biomass Quantification in *Eucalyptus saligna* Smith Stand at the End Rotation in the South of Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 33, p. 1-10, 2019.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, p. 114, 2000.

NAMBIAR, E. K. S.; HARWOOD, C. E. Productivity of acacia and eucalypt plantations in Southeast Asia. 1. Bio-physical determinants of production: opportunities and challenges. **International Forestry Review**, v. 16(2), p. 225-248, 2014.

PAES et al. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 37, p. 1081-1090, 2013.

PALLARDY S. G. **Physiology of woody plants**, Burlington: Academic Press, v. 3, 2008.

PENG, Y.; THOMAS, S. C.; TIAN, D. Forest management and soil respiration: Implications for carbono sequestration. **Environmental Reviews**, v.16, p. 93–111, 2008.

PILLAR, V.P.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M. S.; JACQUES, A.V.A. **Campos Sulinos - Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, p. 403, 2009.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Atmospheric inputs compared with nutrients removed by harvesting from *Eucalyptus* plantation. Implications for sustainability. In: **IUFRO Conference on Silviculture and improvement of *Eucalyptus***, Salvador, Anais. Colombo: Embrapa, CNPF, v.4, p.68 – 74, 1997.

PULITO, A. P. et al. Available nitrogen and responses to nitrogen fertilizer in Brazilian Eucalypt plantations on soils of contrasting textures. **Forests**, v. 6, p. 973–991, 2015.

PURAHONG, W. et al. Influence of different forest system management practices on leaf litter decomposition rates, nutrient dynamics and the activity of ligninolytic enzymes: A case study from Central European forests. **Plos One**, v. 9, n. 4, p. 1–11, 2014.

QUILHÓ, T.; PEREIRA, H. & RICHTER, H.G. Variability of bark structure in plantation-grown *Eucalyptus globulus*. **IAWA**, v. 20, p. 171-180, 1999.

RAISON, R. J.; CONNELL, M.J.; KHANNA, P. K. Metodologia para estudar fluxos de mineral-N do solo in situ. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 521-530, 1987.

RECH, C. Eucalipto, pesquisa amplia usos. **Revista da Madeira**. Edição especial. p. 10, 2003.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. **Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto**. In: BARROS, N. F.; NOVAIS R. F. (Eds). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, p. 265-301, 1990.

ROCHA, J. H. T. **Manejo de resíduos florestais e deficiência nutricional em duas rotações de cultivo de eucalipto**. Tese (Programa: Recursos Florestais) Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2017.

ROCHA, J. H. T. et al. Forest residue removal decreases soil quality and affects wood productivity even with high rates of fertilizer application. **Forest Ecology Management**, v. 430, p. 188- 195, 2018.

ROCHA, J. H. T. et al. Forest residue maintenance increased the wood productivity of a *Eucalyptus* plantation over two short rotations. **Forest Ecology Management**, v. 379, p. 1–10, 2016.

ROCHA, J. H. T. et al. Decomposition rates of forest residues and soil fertility after clear-cutting of *Eucalyptus grandis* stands in response to site management and fertilizer application. **Soil Use Manag.** 2016.

RIBEIRO, G. B. D. D.; ISBAEX, C.; VALVERDE, S. R. Produção de biomassa florestal para energia em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37(92), p. 605-618, 2017.

RYAN, M. G. et al. Factors controlling Eucalyptus productivity: how resource availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1695-1703, 2010.

SANTANA, R. C. et al. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no brasil. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 32, p. 2723-2733, 2008.

SCHEFFER, R. A. AERTS, R. Root decomposition and soil nutrient and carbon cycling in two temperate fen ecosystems. **Oikos**, v. 91, p. 541–549, 2000.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em vera cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 17-22, 2011.

SILVA, M. D. S. et al. Nitrogen-Fixing Bacteria in *Eucalyptus globulus* Plantations. **Plos One**, v. 9, 2014.

SMETHURST, P. et al. Fertilizer effects on LAI and growth of four *Eucalyptus nitens* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 176, p. 531-542, 2003.

SOARES, H. et al. Efeitos da gestão de resíduos de abate no crescimento inicial de *Eucalyptus globulus* Labill.: resultados de um estudo lisimétrico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 25(3), p. 394-410, 2002.

SOUZA, I. F. **Decomposição de resíduos da colheita e transferência de carbono para o solo em plantações de eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química,) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 80, 2012.

SMETHURST, P. J. Forest fertilization: trends in knowledge and practice compared to agriculture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 335, p. 83–100, 2010.

SHAMMAS, K. et al. Contribution of decomposing harvest residues to nutrient cycling in a second rotation *Eucalyptus globulus* plantation in south-western Australia. **Biol. Fertil. Soils**, v. 38, p. 228-235, 2003.

STAPE, J. L. et al. The Brazil Eucalyptus Productivity Project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

TIBURCIO, R. A. S. et al. **Crescimento e desenvolvimento de mudas de clones de eucalipto submetidas à deriva simulada de diferentes herbicidas**. XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas. 19 a 23 de julho de 2010 - Centro de Convenções - Ribeirão Preto – SP, 2010.

VERGUTZ, L. et al. Global resorption efficiencies and concentrations of carbon and nutrients in leaves of terrestrial plants. **Ecological Monographs**, v. 82, p. 205-220, 2012.

VIERA, M. et al. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.3, p.432-439, 2015.

VIERA, M. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Agronomia**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2481-2490, 2012.

VITAL, A. R. T. **Efeito do corte raso no balanço hídrico e na ciclagem de nutrientes em uma microbacia reflorestada com eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 1996.

VITOUSEK, P. M. et al. Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**, v. 324, p. 1519–1520, 2009.

SALVADOR, S. M. et al. Biomassa arbórea e de sub-bosque e da serapilheira acumulada em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.3, n.3, p.82-93, 2015.

SANTANA, R. C et al. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2723-2733, 2008.

SÃO JOSÉ, J. F. B. et al. Initial Growth and Nutrition of Eucalyptus Under Different Management of Harvest Residues. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, 2020.

SILVEIRA, R. L. V. de A.; MOREIRA, A.; HIGASHI, E. N. Crescimento e sobrevivência de mudas de eucalipto sob doses de boro cultivadas em condições de viveiro e de campo **Ciência agrotec.**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 366-371, 2004.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS, 118 p.65, 1995.

VAN RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**; Instituto Agronômico: Campinas, Brasil, p. 285, 2001.

VIERA, M. et al. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional Decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 611-619, 2010.

WALELA, C., et al. The initial lignin:nitrogen ratio of litter from above and below ground sources strongly and negatively influenced decay rates of slowly decomposing litter carbon pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 77, p. 268–275, 2014.

WALMSLEY, J. D. et al. Whole tree harvesting can reduce second rotation forest productivity. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1104–1111, 2009.

WU J, et al. Effects of understory removal and tree girdling on soil microbial community composition and litter decomposition in two Eucalyptus plantations in South China. **Functional Ecology**, v. 25 n. 4, 2011.

XU, X.; LUO, Y.; ZHOU, J. Carbon quality and the temperature sensitivity of soil organic carbon in a tallgrass prairie. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 50, p. 142–148, 2012.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. Fertilidade do solo e nutrição de plantas, Rev. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 28, n. 5, 2004.

ZHANG, D. et al. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems : global patterns and controlling factors. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 1, n. 2, p. 85–93, 2008.