

**GARDENIA GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**BIOMASSA, DEMANDA E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES POR *Eucalyptus*  
*urophylla* SOB SISTEMA DE REFORMA E TALHADIA**

**Botucatu**

**2023**



**GARDENIA GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**BIOMASSA, DEMANDA E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES POR *Eucalyptus urophylla* SOB SISTEMA DE REFORMA E TALHADIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

Coorientador: Túlio Barrosos Queiroz

**Botucatu**

**2023**

O48b

Oliveira, Gardenia Gonçalves

Biomassa, demanda e exportação de nutrientes por *Eucalyptus urophylla* sob sistema de reforma e talhadia / Gardenia Gonçalves  
Oliveira. -- Botucatu, 2023

78 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

Coorientador: Túlio Barroso Queiroz

1. Silvicultura. 2. Biomassa florestal. 3. Coeficiente de utilização biológica. 4. Exportação de nutrientes. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BIOMASSA, DEMANDA E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES POR *Eucalyptus urophylla* SOB SISTEMA DE REFORMA E TALHADIA

**AUTORA: GARDENIA GONÇALVES DE OLIVEIRA**

**ORIENTADOR: IRAÊ AMARAL GUERRINI**

**COORIENTADOR: TÚLIO BARROSO QUEIROZ**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciência Florestal, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI (Participação Presencial)  
Ciência Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu

P/ Dr. ALEXANDRE DE VICENTE FERRAZ (Participação Virtual)  
Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo / Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

P/ Prof. Dr. ROBSON SCHAFF CORRÊA (Participação Virtual)  
Ciências Agrárias / Universidade Federal de Jataí

Botucatu, 03 de março de 2023



*Aos meus amados avós e mãe,*

*Braulho (in memoriam), Cyrene e Eunice,*

*Dedico*



## **AGRADECIMENTOS**

Á Deus pela saúde, força e coragem durante toda esta caminhada, colocando pessoas maravilhosas no meu caminho, fazendo toda a diferença na conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Iraê Amaral Guerrini pela oportunidade, ensinamentos e paciência.

Ao Dr. Túlio Barroso Queiroz pela excelente orientação, oportunidade, apoio e paciência na construção, elaboração e discussão deste trabalho.

Á empresa Bracell Bahia, em especial a equipe de pesquisa e desenvolvimento em nome de Túlio Queiroz, Liamara Masullo, Iago Melo, Ana Paula Kupper, Carlos, Maria Fernanda, Mário, Leonardo, João Felipe, Kellen, Raoni, Alexandre, Sidinei, Jacir, Odair, Feu, Elane, Mariana, Vitor e todos da equipe por todo apoio, incentivo na elaboração e discussão do trabalho.

Á banca de qualificação e defesa realizada pelo Dr. José Henrique Tertulino Rocha, Rodrigo Eiji Hakamada, Alexandre de Vicente Ferraz e Robson Schaff Corrêa, pelas excelentes sugestões e contribuições neste trabalho.

Á Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” e todos os professores e funcionários da FCA.

Á minha avó e mãe, Cyrene e Eunice pelo apoio incondicional e incentivo em todos os momentos. Aos meus tios Ariovaldo e Ediná pelo auxílio nessa jornada.

Em memória ao meu amado avô Braulho Gonçalves de Oliveira e eterno professor Daniel Murilo Cappa, que partiu de forma tão repentina no meio dessa caminhada.

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

Á todos que colaboraram para execução deste trabalho, muito obrigado!



## RESUMO

O cultivo do gênero *Eucalyptus* no território brasileiro pode ocorrer através de dois distintos manejos. O manejo de alto fuste consiste na implantação ou reforma de florestas regeneradas por mudas de eucalipto de origem clonal ou seminal. A segunda opção de manejo consiste na condução da rebrota de cepas, conhecida como talhadia. A talhadia tem um rápido crescimento inicial, resultando na rápida cobertura do solo presente e sistema radicular previamente estabelecidos a partir da rotação anterior. Uma das principais vantagens deste tipo de manejo é o menor custo na fase inicial por dispensar práticas como a dessecação em área total, subsolagem, plantio de mudas, irrigação e replantio. Na literatura existem relatos que se mantida a disponibilidade dos fatores de crescimento do sistema de alto fuste, a produtividade pode ser equivalente ou superior dependendo das condições climáticas. O presente estudo justifica-se pela necessidade de investigar a influência das propriedades químicas de um Argissolo no acúmulo de biomassa e nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores de *Eucalyptus* em diferentes idades e manejos, assim como estimar o efeito da exportação de nutrientes na colheita dos diferentes compartimentos florestais (fuste, galhos, folhas e raízes), que podem ou não ser deixados em campo após a colheita da madeira, visando à ciclagem de nutrientes e à proteção do solo. Logo, este estudo tem como objetivo (1) comparar o crescimento de povoamentos de eucalipto sob manejo de alto fuste e talhadia, (2) quantificar a demanda nutricional dos povoamentos *Eucalyptus urophylla*, e (3) avaliar cenários de exportação de nutrientes em ambos os regimes. O experimento conta com dois tipos de manejo, quatro idades e seis cenários de exportação de nutrientes. Os locais de estudo contaram com coletas de amostras para análise de solo (0-40 cm), biomassa aérea, biomassa radicular e análise química dos compartimentos das árvores. A talhadia apresentou uma produção de biomassa, demanda nutricional e exportação semelhante ao alto fuste ao longo das idades. Os nutrientes N, K e Mg foram de maior limitação conforme o aumento da intensidade da colheita em ambos os manejos.

**Palavra-chave:** silvicultura; coeficiente de utilização biológica; manejo de resíduo florestal.



## ABSTRACT

The cultivation of the *Eucalyptus* genus in Brazilian territory can occur through two distinct management approaches. High forest management involves the establishment or renovation of forests regenerated by eucalyptus seedlings of clonal or seminal origin. The second management option involves the management of stump regrowth, known as coppicing. Coppicing exhibits rapid initial growth, resulting in swift coverage of the present soil and previously established root systems from the previous rotation. One of the main advantages of this management type is its lower cost in the initial phase, as it dispenses with practices such as total area desiccation, subsoiling, seedling planting, irrigation, and replanting. Literature reports suggest that if the growth factors of the high forest system are maintained, productivity can be equivalent or superior depending on climatic conditions. This study is justified by the need to investigate the influence of the chemical properties of an Ultisol on the accumulation of biomass and nutrients in different compartments of *Eucalyptus* trees at different ages and under different management practices, as well as to estimate the effect of nutrient exportation in harvesting different forest compartments (stem, branches, leaves, and roots), which may or may not be left in the field after wood harvesting, aiming at nutrient cycling and soil protection. Therefore, this study aims to (1) compare the growth of eucalyptus stands under high forest and coppicing management, (2) quantify the nutritional demand of *Eucalyptus urophylla* stands, and (3) evaluate scenarios of nutrient exportation in both regimes. The experiment involves two types of management, four ages, and six scenarios of nutrient exportation. Study sites involved sample collection for soil analysis (0-40 cm), aboveground biomass, root biomass, and chemical analysis of tree compartments. Coppicing showed similar biomass production, nutritional demand, and exportation to high forest throughout the ages. Nutrients N, K, and Mg were more limiting as harvesting intensity increased in both management practices.

**Keywords:** silviculture; biological utilization coefficient; management of forest residues.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### Capítulo 1 – Biomassa e demanda de nutrientes por *Eucalyptus urophylla* sob sistema de alto fuste e talhadia em Argissolos

- Figura 1 - Distribuição anual de precipitação pluviométrica e média mensal de temperatura, com o histórico de 30 anos antes o início do plantio da área estudada e os 5 anos que o estudo ocorreu, no município de Entre rios, Bahia..... 29
- Figura 2 - Mapa da ordem de solos, segundo dados do IBGE, com a localização dos tratamentos estudados, Entre Rios, Bahia - Brasil.....31
- Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA) dos atributos do solo (Areia, Argila, MO, K, P, Ca, Mg e B) em profundidade de: a) 0-20 cm e b) 20-40 cm em florestas de *Eucalyptus urophylla*, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....32
- Figura 4 - Acúmulo de biomassa ( $Mg\ ha^{-1}$ ) de *Eucalyptus urophylla*, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....38
- Figura 5 - Distribuição da biomassa (%) de *Eucalyptus urophylla* por compartimento: casca, folha, galho madeira e raízes, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....39

### Capítulo 2 – Exportação de nutrientes em plantios de eucalipto sob diferentes manejos de resíduos florestais em sistema de alto fuste e talhadia

- Figura 1 - Mapa de localização do estado da Bahia, com climograma anual e mensal do município Entre Rios, BA.....55
- Figura 2 - Estoque de nutrientes na biomassa de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios, Bahia.....61



## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1 – Biomassa e demanda de nutrientes por *Eucalyptus urophylla* sob sistema de alto fuste e talhadia em Argissolos

Tabela 1 – Caracterização química e granulométrica do solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm dos locais de plantio de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos 2, 3, 4 e 5 anos sob manejo de alto fuste (A) e talhadia (T), no município de Entre Rios – BA.....	30
Tabela 2 – Manejo de plantio de <i>Eucalyptus urophylla</i> nas idades e manejos considerados em cada tratamento.....	33
Tabela 3 – Fertilização aplicada na área experimental.....	34
Tabela 4 – Teor dos macronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de <i>Eucalyptus urophylla</i> , aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....	42
Tabela 5 – Teor dos micronutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de <i>Eucalyptus urophylla</i> , aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....	43
Tabela 6 – Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) dos macronutrientes de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....	45
Tabela 7 – Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) dos micronutrientes de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....	46

## **Capítulo 2 – Exportação de nutrientes em plantios de eucalipto sob diferentes manejos de resíduos florestais em sistema de alto fuste e talhadia**

Tabela 1 – Atributos químico e físicos do solo na área experimental.....	56
Tabela 2 – Fertilização aplicada na área experimental.....	57
Tabela 3 – Cenário simulando a exportação de nutrientes pelo <i>Eucalyptus urophylla</i> aos cinco anos de idade, sob manejo de reforma e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.....	59
Tabela 4 – Cenários de exportação dos macronutrientes contido na biomassa do <i>Eucalyptus urophylla</i> aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios, Bahia.....	63
Tabela 5 – Diferença da quantidade dos nutrientes exportados com a intensificação dos cenários proposto em relação ao cenário 1 (remoção da madeira), em povoamentos de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios, Bahia.....	65
Tabela 6 – Balanço de nutrientes na área experimental de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos cinco anos de idade sob manejo de alto fuste no município de Entre Rios.....	66
Tabela 7 – Balanço de nutrientes na área experimental de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos cinco anos de idade sob manejo de talhadia no município de Entre Rios, BA.....	67
Tabela 8 – Número potencial de rotações de cultivo, considerando seis cenários de manejo florestal de <i>Eucalyptus urophylla</i> aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios.....	68

## LISTA DE SÍMBOLOS

N	nitrogênio
P	fósforo
K	potássio
Ca	cálcio
Mg	magnésio
S	enxofre
B	boro
Cu	cobre
Fe	ferro
Mn	manganês
Zn	zinco
CUB	coeficiente de utilização biológica
Mg	megagrama
ha <sup>-1</sup>	hectare
%	porcentagem
MO	matéria orgânica
pH	água
H+Al	acidez potencial
SB	soma de bases
V	saturação por bases
m	saturação por alumínio
CV	coeficiente de variação
N	nitrogênio



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO 1 - Biomassa e demanda de nutrientes por <i>Eucalyptus urophylla</i> sob sistema de alto fuste e talhadia em argissolos</b> .....	<b>26</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>26</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>1.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>29</b>
1.2.1 Área de estudo.....	29
1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	33
1.2.3 Biomassa aérea.....	34
1.2.4 Biomassa do sistema radicular.....	35
1.2.5 Coeficiente de Utilização Biológica.....	36
1.2.6 Análise de dados.....	36
<b>1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
1.3.1 Estoque de biomassa.....	37
1.3.2 Teor de nutrientes na biomassa.....	41
1.3.3 Demanda nutricional.....	44
<b>1.4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO 2 - Exportação de nutrientes em plantios de eucalipto sob diferentes manejos de resíduos florestais em sistema de alto fuste e talhadia</b> .....	<b>52</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>52</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>55</b>
2.2.1 Área de estudo.....	55
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	56
2.2.3 Crescimento das árvores.....	57
2.2.4 Análise de solo.....	57
2.2.5 Biomassa aérea e radicular.....	58
2.2.6 Exportação de nutrientes pela colheita.....	58
2.2.7 Análise dos dados.....	59
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>60</b>
2.3.1 Estoque de Nutrientes.....	60
2.3.2 Manejo de resíduos.....	62
<b>2.4 CONCLUSÕES</b> .....	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>71</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>74</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>75</b>



## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é reconhecido mundialmente por sua notável capacidade produtiva florestal. No fechamento do ano de 2022, o país alcançou a marca de 9,94 milhões de hectares em florestas plantadas, representando um aumento de 0,3% em comparação ao ano anterior, que registrou 9,55 milhões de hectares. Dentre as espécies plantadas, o gênero *Eucalyptus* se destaca, ocupando aproximadamente 76% das áreas e apresentando uma produtividade média de  $32,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Ibá, 2023).

O setor florestal brasileiro mantém uma integração significativa com diversos segmentos da economia, suprindo as demandas de diferentes setores por madeira. Esses segmentos abrangem indústrias de mineração, papel e celulose, construção civil, projetos de energia, produção de pellets, processamento de grãos e fibras. O Brasil se destaca como o segundo maior produtor de celulose global, logo após os Estados Unidos (Ibá 2023). Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Celulose e Papel (Bracelpa), em 2022, a Bahia assume a posição de destaque como o segundo maior produtor nacional de celulose, com uma projeção de produção de 2,6 milhões de toneladas.

A Bahia detém um vasto potencial para a produção de celulose, dada a extensão de suas plantações de eucalipto, uma das principais espécies empregadas na fabricação desse material. No ano de 2020, estima-se que a produção baiana tenha alcançado a marca de 3,21 milhões de toneladas de celulose branqueada, utilizada na fabricação de papel, bem como celulose solúvel, empregada em uma variedade de setores, incluindo têxtil, farmacêutico e alimentício. Esse volume corresponde a aproximadamente 15% da produção nacional de celulose, evidenciando a importância tanto da Bahia quanto do Brasil nesse setor (Abaf, 2021).

As florestas de eucalipto podem ser estabelecidas por meio de diferentes sistemas de manejo, sendo os mais destacados o sistema de alto fuste e o de talhadia (Ribeiro *et al.*, 2002). No sistema de alto fuste, o povoamento é estabelecido por meio do plantio de mudas, podendo ocorrer tanto pela implantação inicial quanto pela em alto fuste, com a possibilidade de alteração ou não do material genético das árvores (Simões *et al.*, 1981). Por outro lado, o sistema de talhadia se caracteriza pela capacidade das árvores de rebrotar após o corte raso, gerando novos brotos (Stape, 1997). Dessa forma, esse tipo de manejo possibilita a condução da floresta a partir das cepas remanescentes da rotação anterior.

O sistema de manejo por talhadia é uma prática antiga (Matthews, 1994) que consiste na formação de um novo povoamento por meio da capacidade de brotação após o corte raso das árvores. As gemas remanescentes presentes nos tocos possibilitam a emissão de uma brotação vigorosa, estabelecendo assim uma nova floresta.

A condução da brotação foi uma prática comum na década de 70 e início dos anos 80. Com a introdução e utilização em grande escala de materiais genéticos de melhor qualidade e mais produtivos, o alto fuste nos povoamentos passou a ser adotada, diminuindo o interesse na condução da brotação (Ferrari *et al.*, 2004). Entretanto, desde 2009, este sistema de manejo voltou a ser foco de grande interesse no setor florestal, especialmente como estratégia para superar a crise financeira mundial de 2008. Isso se deve ao fato de que o sistema de talhadia apresenta, em média, 40% de redução de custos em comparação ao alto fuste, uma vez que não requer várias operações dispendiosas, como o uso intensivo de herbicidas pré-emergentes, rebaixamento de tocos, preparo de solo, uso de mudas no plantio, replantio e irrigações (Arthur Junior *et al.*, 2015).

Além das considerações econômicas, a talhadia apresenta vantagens significativas, como a qualidade do sítio. Isso se deve à presença de um sistema radicular já estabelecido, o que facilita a absorção de água e nutrientes, além de contar com reservas orgânicas e inorgânicas presentes na cepa ou nas raízes (Blake, 1983; Reis & Kimmins, 1986; Reis & Reis, 1997; Teixeira *et al.*, 2002; Walters *et al.*, 2005; Kabeya & Sakai, 2005). Ademais, proporciona uma taxa inicial de crescimento da brotação superior em comparação com o plantio com mudas.

Embora a talhadia ofereça vantagens, sua implementação requer uma avaliação criteriosa dos procedimentos operacionais, desde a seleção do material genético até a colheita da primeira rotação. A queda de produtividade das florestas por talhadia muitas vezes se deve ao menor crescimento dos indivíduos, decorrente da diminuição da capacidade de rebrota das cepas após a colheita. Isso resulta em um desenvolvimento mais lento, levando as empresas a optarem pelo sistema de alto fuste (Arthur Junior *et al.*, 2015).

A capacidade produtiva da brotação depende do potencial genético, aliado às disponibilidades de água, luz, nutrientes e à proteção contra pragas e doenças. Considerando que os povoamentos florestais estão estabelecidos em regiões que frequentemente apresentam deficiências hídricas e nutricionais (Gonçalves *et al.*,

2014), aumentar a eficiência do uso dos recursos naturais torna-se um desafio fundamental para manter e aumentar a produtividade (Gonçalves *et al.*, 2013).

A sobrevivência na talhadia é um fator fundamental para o êxito das plantações de *Eucalyptus*, pois exerce um impacto direto sobre a produtividade. Este aspecto é influenciado tanto pela seleção de espécies com elevada capacidade de rebrota quanto pela implementação de práticas cuidadosas durante o processo de colheita. Evitar danos aos tocos durante a colheita é fundamental para promover a regeneração vigorosa das cepas e garantir o sucesso do próximo ciclo de crescimento. Conforme destacado por Smith & Jones (2020), danos aos tocos, como cortes irregulares ou compactação do solo ao redor deles, podem comprometer a capacidade das cepas de rebrotar e afetar negativamente a taxa de crescimento subsequente. Portanto, práticas de colheita cuidadosas e conscientes, são essenciais para manter a sobrevivência e o potencial de crescimento das plantações de *Eucalyptus* na talhadia (Silva *et al.*, 2018).

A produção de uma floresta é determinada pela quantidade de biomassa produzida, sendo sua eficiência influenciada principalmente pela disponibilidade de água e nutrientes (Santana, 2008). Avaliar a absorção de nutrientes pelas plantas por meio de sua eficiência de uso e sua relação com a produção de biomassa é útil para implementar programas que visem minimizar a exportação de nutrientes, especialmente em áreas de alta produtividade e sucessivas rotações de cultura, onde a demanda por nutrição é elevada (Lafetá *et al.*, 2017). A eficiência do uso de nutrientes, geralmente definida como a quantidade de matéria seca produzida por grama de nutriente (Chapin, 1980), é determinada pelo coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (CUB). Esse parâmetro pode ser empregado para auxiliar na seleção das condições de manejo de plantio mais adequadas, bem como nas recomendações de fertilizantes para atender às diferentes condições de solo e clima (Barros *et al.*, 1986; Barros *et al.*, 1995).

A diferença entre alto fuste e talhadia, em relação ao acúmulo de nutrientes, decorre da presença parcial de um sistema radicular já estabelecido na condução da brotação. Esse sistema radicular serve como fonte de reservas orgânicas e minerais, que podem ser translocadas e utilizadas na formação das novas raízes e brotações. Além disso, a talhadia apresenta, na fase inicial, uma relação raiz/parte aérea maior do que em povoamentos de alto fuste. No sistema de alto fuste, durante a fase inicial de crescimento, os indivíduos investem em folhas, galhos e sistema radicular. Nesse

contexto, a alocação de fotoassimilados e nutrientes é mais alta para as raízes em comparação com a parte aérea, dependendo da idade da planta. À medida que a planta amadurece, os fotoassimilados são direcionados cada vez mais para a parte aérea, reduzindo a relação raiz/parte aérea (Barros *et al.*, 1996).

A definição de uma adubação adequada requer conhecimento do potencial produtivo do sítio, da taxa de crescimento da floresta, da eficiência de utilização e da disponibilidade de nutrientes no solo (Barros *et al.*, 1996). Além disso, a relação entre a adubação e a manutenção e exportação desses nutrientes pode ser utilizada para descrever a demanda e a pressão nutricional sobre o solo. A manutenção de resíduos florestais no local após a colheita diminui a exportação de nutrientes (Gonçalves *et al.*, 2000), e a quantidade de resíduos florestais deixados depende do sistema de colheita escolhido (Malinovski *et al.*, 2002). Se o sistema de colheita utilizado mantiver todos os resíduos florestais, ocorrerá uma diminuição da pressão exercida pelas máquinas sobre o solo, amenizando sua compactação (Jesus *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2015), além de afetar a quantidade de nutrientes exportados (Gonçalves *et al.*, 2000).

Até a década de 1980, o preparo de solo era intensivo, envolvendo queima ou incorporação dos resíduos florestais (Gava, 2002), o que acarretava grandes problemas na conservação dos solos, tornando-os mais suscetíveis à erosão e à perda de nutrientes (Gonçalves *et al.*, 2002). Em 1990, foi adotado o sistema de cultivo mínimo na implantação de florestas, trazendo muitos benefícios ao setor. Esse sistema permitiu a manutenção das melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de aumentar ou manter a produtividade dos plantios (Gonçalves *et al.*, 2002).

O manejo de resíduos foi um tema amplamente estudado na década de 90, destacando a importância de sua manutenção no solo através do sistema de cultivo mínimo (Gonçalves *et al.*, 2000). No entanto, a utilização desses resíduos para produção de energia desperta grande interesse devido ao fato de ser uma fonte barata e renovável (Rocha, 2014). Em áreas destinadas ao alto fuste, alguns problemas surgem devido à permanência desses resíduos, que têm alta recalcitrância e permanecem por longos períodos no solo, dificultando as operações silviculturais (Zen *et al.*, 1995).

Uma das principais vantagens da manutenção dos resíduos é a redução na exportação de nutrientes e o aumento da disponibilidade desses nutrientes para as próximas rotações (Rocha, 2014). No entanto, a contribuição da manutenção dos

resíduos não é apenas nutricional. Sua permanência também contribui para a proteção do solo: reduzem os extremos térmicos (Gonçalves *et al.*, 1997), as perdas de água por evaporação (Matthews, 2006), protegem o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e reduzem o escoamento superficial da água (Gonçalves *et al.*, 2002; Bertoni; Lombardi Neto, 2008), aumentam a biomassa microbiana do solo (Mendham *et al.*, 2002) e promovem a mineralização de nutrientes (Nzila *et al.*, 2002; O'Connell *et al.*, 2004; Gonçalves *et al.*, 2008; Sankaran *et al.*, 2008; Fernández *et al.*, 2009).

Diante da crescente importância do setor florestal brasileiro, especialmente em áreas caracterizadas por baixa fertilidade do solo e restrições hídricas (Gonçalves *et al.*, 2013), é essencial buscar constantemente alcançar os limites de produtividade para suprir a demanda e a variedade de produtos florestais. Isso é fundamental para garantir a sustentabilidade produtiva das florestas plantadas, ao mesmo tempo em que se preserva o equilíbrio ambiental e se promove o desenvolvimento econômico.

O presente estudo justifica-se pela necessidade de pesquisas que determinem o crescimento do *Eucalyptus* em função do manejo de talhadia e alto fuste em argissolos, fornecendo informações sobre a dinâmica de crescimento de povoamentos florestais, assim como o acúmulo e a eficiência dos nutrientes nos diferentes compartimentos das árvores. As hipóteses de trabalho são: I) A demanda de nutrientes pode ser mais eficiente através do manejo da talhadia. II) O manejo da talhadia aumenta positivamente a ciclagem biogeoquímica. III) A remoção excessiva dos resíduos florestais pós-colheita pode resultar em perda de nutrientes, aumento da erosão e diminuição da qualidade do solo, exigindo uma adubação mais intensiva para manter a produtividade do plantio florestal.

Para abordar essas questões, esta dissertação será dividida em dois capítulos distintos. O primeiro capítulo se concentra na quantificação da biomassa e dos nutrientes por componente das árvores de *Eucalyptus urophylla*, além da avaliação da demanda por esses nutrientes em quatro estágios diferentes de crescimento: dois, três, quatro e cinco anos após o plantio, tanto em áreas de alto fuste quanto após a colheita na talhadia. Já o segundo capítulo aborda seis cenários variados relacionados ao manejo de resíduos, com o objetivo de simular a exportação de nutrientes durante a colheita, tanto em sistemas de alto fuste quanto na talhadia aos cinco anos de idade.

## CAPÍTULO 1

### BIOMASSA E DEMANDA DE NUTRIENTES POR *Eucalyptus urophylla* SOB SISTEMA DE ALTO FUSTE E TALHADIA EM ARGISSOLOS

#### Resumo

Este estudo examina alocação de biomassa e nutrientes nos diferentes compartimentos da floresta e demanda nutricional comparativa de nutrientes em *Eucalyptus urophylla*, em diferentes estágios de crescimento em florestas alto fuste e talhadia sob argissolos. O objetivo é esclarecer os padrões de absorção de nutrientes pelas árvores, através das informações sobre a demanda de nutrientes e alocação de biomassa nos diferentes compartimentos da floresta, visando quantificar a produção de biomassa, estimar o estoque de nutrientes e avaliar a demanda nutricional dos povoamentos através do coeficiente de utilização biológica (CUB). Os dados coletados foram embasados em um inventário florestal, medição da biomassa aérea e radicular das árvores e análise química laboratoriais dos compartimentos das árvores, incluindo casca, folha, galho, madeira e raiz. Nesse estudo, os resultados indicam que a talhadia apresentou uma biomassa semelhante àquela observada no sistema de alto fuste. Mesmo em um argissolo de menor disponibilidade de nutrientes, a talhadia teve um acúmulo e um coeficiente de utilização biológica (CUB) similar ao alto fuste para a maioria dos nutrientes analisados.

Palavra-chave: produção de biomassa; coeficiente de utilização biológica; nutrição florestal.

#### Abstract

This study examines biomass allocation and nutrient allocation in different compartments of the forest and the comparative nutrient demand of *Eucalyptus urophylla* at different growth stages in high forest and coppice systems under utisols. The aim is to elucidate nutrient absorption patterns by trees, through information on nutrient demand and biomass allocation in different forest compartments, aiming to quantify biomass production, estimate nutrient stocks, and assess stand nutritional demand through the coefficient of biological utilization (CBU). Data collection was

based on forest inventory, measurement of aboveground and root biomass of trees, and laboratory chemical analysis of tree compartments, including bark, leaf, branch, wood, and root. In this study, the results indicate that coppicing showed similar biomass to that observed in the high forest system. Even in utisols with lower nutrient availability, coppicing had an accumulation and coefficient of biological utilization (CBU) similar to high forest for most of the nutrients analyzed.

Keywords: biomass production; biological utilization coefficient; forestry nutrition.

## 1.1 INTRODUÇÃO

Os Argissolos representam cerca de 12% a 15% da cobertura total de solos no ecossistema terrestre (FAO, 2020). Em ecossistemas tropicais específicos, esses solos podem compor uma parcela ainda mais significativa, ocupando aproximadamente 20% a 25% da cobertura total de solos (Embrapa, 2020). Em muitos países, incluindo o Brasil, esses solos são principalmente utilizados para estabelecer plantações florestais comerciais, como as de eucalipto e pinus, que são amplamente cultivadas para produção de madeira.

O papel do gênero *Eucalyptus* no setor florestal global é de extrema importância, devido à sua reconhecida versatilidade, adaptabilidade e ampla gama de aplicações na indústria. Sua presença em todo o mundo é notável, com vastas extensões de plantações encontradas em diversos países. De acordo com o Relatório de Avaliação Global dos Recursos Florestais (FRA) de 2020, divulgado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), as plantações de *Eucalyptus* abrangem aproximadamente 19 milhões de hectares globalmente.

O eucalipto, além de suprir a demanda por diversos produtos na indústria, é reconhecido por sua notável capacidade de rebrota (Stape, 1997), o que oferece diferentes possibilidades de manejo a cultura. Dentre eles temos o manejo por talhadia, no qual um novo povoamento é estabelecido através da condução dos brotos remanescentes que surgem das cepas após o corte raso da floresta (Ribeiro *et al.*, 2002).

O sistema de talhadia tem se destacado como estratégia de diminuir os valores de implantação das florestas (Arthur Junior *et al.*, 2015) e apresentar uma maior taxa inicial de crescimento aéreo em relação ao plantio com mudas. Resultante do sistema

radicular amplo e previamente estabelecido, que facilita a absorção de água e nutrientes e o uso de reservas orgânicas e inorgânicas presente na cepa ou nas raízes grossas (Blake, 1983; Reis & Kimmins, 1986; Reis & Reis, 1997; Teixeira et. al., 2002; Walters et. al., 2005; Kabeya & Sakai, 2005). Essa abordagem de manejo não apenas maximiza a eficiência do uso da terra, mas também contribui para a sustentabilidade do sistema florestal, permitindo uma produção contínua ao longo do tempo.

A produção na talhadia a princípio é semelhante à primeira rotação de cultivo, desde que a disponibilidade de água, luz, nutrientes, oxigênio e temperatura não sejam reduzidas (Barros, 2022; Gonçalves *et al.*, 2014). A redução da produtividade na talhadia pode ser atribuída à fatores como menor disponibilidade de nutrientes (Rocha *et al.*, 2019; Gonçalves *et al.*, 2014); danos as cepas durante a colheita (Santana *et al.*, 2022); baixa capacidade de brotação; regime hídrico (Reis & Reis, 1997) e uso intensivo do solo através de manejos não conservacionistas.

Em povoamentos florestais, alcançar uma produtividade satisfatória e preservar a capacidade produtiva do sítio requer a escolha adequada da espécie e um manejo correto (Binkley *et al.*, 1997). Entre os fatores que afetam a produção da madeira, a nutrição certamente é um dos aspectos com maior potencial de se manejar, devido a sua capacidade de limitar a produtividade; a diversidade de insumos disponíveis no mercado de fertilização; e inúmeras práticas de manejo que visam a manutenção da capacidade produtiva dos sítios florestais (Witschoreck, 2014), como por exemplo o cultivo mínimo.

Portanto, compreender aspectos relacionados a demanda de nutrientes e eficiência em converter os nutrientes absorvidos em biomassa estão intimamente relacionados à qualidade do local e aos aspectos relacionados ao manejo do povoamento (Wink *et al.*, 2018). Buscando um caminho com intuito de assegurar a maior produtividade, torna-se indispensável o conhecimento dos sistema de condução da floresta escolhido e a demanda nutricional em cada condição que a floresta está estabelecida (Camargo *et al.*, 2004; Gonçalves *et al.*, 2013; Queiroz *et al.*, 2020).

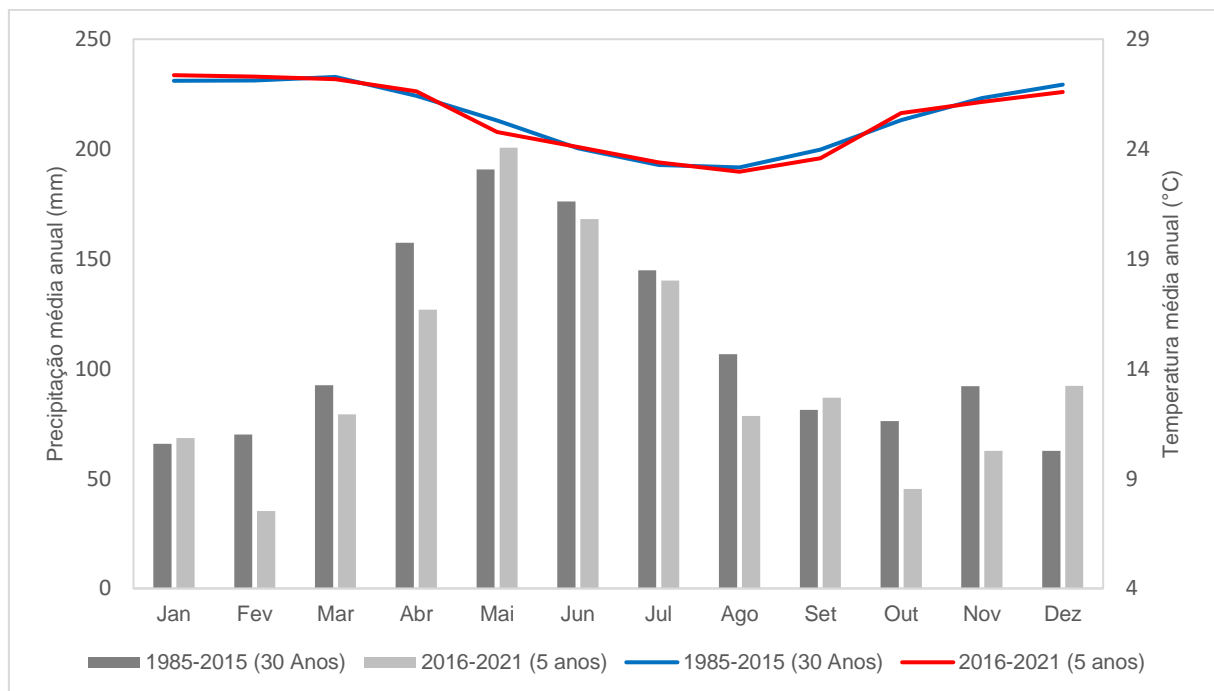
Contudo que foi apresentado, este estudo foi desenvolvido com objetivo de quantificar a biomassa total e o estoque de nutrientes do *Eucalyptus urophylla* aos dois, três, quatro e cinco anos, em período pós-colheita na talhadia, e período pós-plantio no sistema de alto fuste, assim como verificar a demanda nutricional através da eficiência de utilização dos nutrientes em função das condições estabelecidas para ambos os manejos.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 Área de estudo

A área de estudo selecionada para coleta de dados está situada no litoral norte do estado da Bahia, no município de Entre Rios, posicionado pelas coordenadas geográficas de 11°51'08"W de latitude sul e 38°06'52"S de longitude oeste. Nessa região, a temperatura média anual varia entre 25 e 26°C, caracterizando um clima tropical úmido (Af) de acordo com a classificação de Köppen, com invernos chuvosos e verões secos. A precipitação média anual é de 1200 mm. Quanto ao relevo, a área apresenta características levemente onduladas (Alvares *et al.*, 2013).

**Figura 1 – Distribuição anual de precipitação pluviométrica e média mensal de temperatura, com o histórico de 30 anos antes o início do plantio da área estudada e os 5 anos que o estudo ocorreu, no município de Entre rios, Bahia**



As condições climáticas registradas durante o período de 2016 a 2021, que corresponde ao início dos tratamentos mais antigos, demonstraram uma redução pluviométrica  $\pm 10\%$  em comparação com a média histórica do local. Enquanto a temperatura apresentou uma variação mínima, passando de 26°C para 25°C nos últimos 5 anos no local de estudo, comparado ao histórico de 30 anos da mesma área.

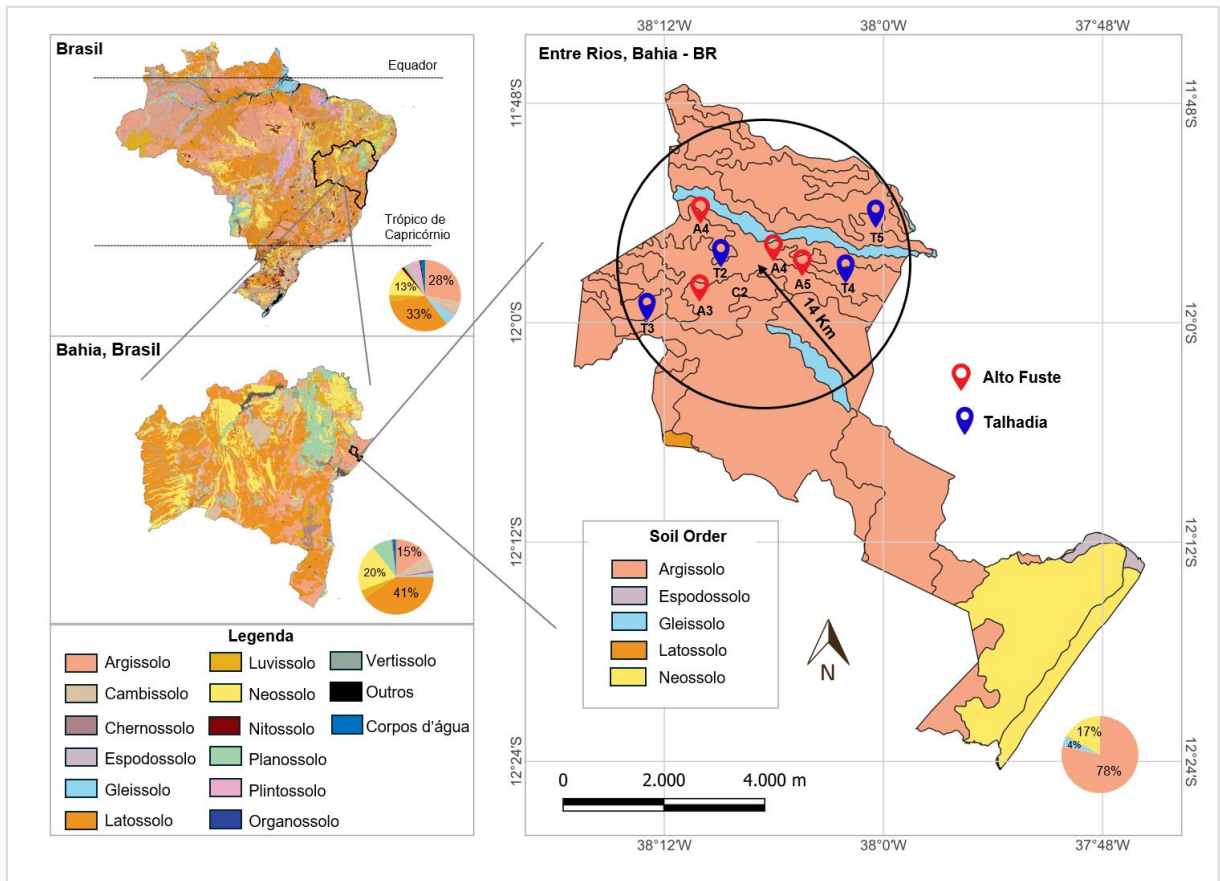
**Tabela 1 - Caracterização química e granulométrica do solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm dos locais de plantio de *Eucalyptus urophylla* aos 2, 3, 4 e 5 anos sob manejo de alto fuste (A) e talhadia (T), no município de Entre Rios – BA**

Tratamento	Profundidade (cm)	g kg <sup>-1</sup>			g dm <sup>-2</sup>			pH	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-2</sup>										mg dm <sup>-2</sup>						
		Areia Fina	Areia Grossa	Silte	Argila	M. O	Al		Ca	Mg	K	Al+H	SB	V	m	P	B	Cu	Fe	Mg	Zn				
A2	0-20	420	194	111	275	23	5,0	0,23	26	3,5	0,68	28	30	52	0,7	8	0,41	1,0	40	1,7	0,47				
	20-40	421	184	111	283	18	4,9	0,85	21	3,2	0,54	31	24	43	3,8	6	0,47	1,0	31	1,0	0,27				
T2	0-20	445	244	95	217	20	4,9	1,38	12	4,1	0,67	35	17	33	7,2	9	0,50	0,7	35	0,5	0,53				
	20-40	435	211	104	250	16	4,6	4,07	8	3,9	0,39	44	13	22	23,8	5	0,47	0,9	21	0,2	0,27				
A3	0-20	483	276	74	167	15	5,0	0,98	10	2,9	0,55	32	13	29	6,9	6	0,44	0,7	21	0,5	0,27				
	20-40	459	210	97	233	14	4,8	2,03	11	4,6	0,63	44	16	27	11,6	5	0,36	0,8	18	0,3	0,17				
T3	0-20	522	273	71	133	13	4,9	0,98	12	3,5	0,53	41	16	28	6,4	5	0,27	0,7	31	0,9	0,40				
	20-40	516	264	70	150	8	4,8	1,61	9	3,7	0,41	41	13	24	9,9	4	0,31	0,8	27	0,4	0,17				
A4	0-20	344	205	126	325	20	5,1	0,63	22	5,6	1,07	30	29	49	2,8	21	0,71	1,2	38	1,2	0,80				
	20-40	347	192	120	342	13	4,8	2,53	16	4,0	0,78	38	21	35	13,0	11	0,67	1,0	24	0,5	0,37				
T4	0-20	448	237	98	217	17	5,2	0,00	20	6,2	0,48	24	27	52	0,0	8	0,34	0,9	21	1,1	0,33				
	20-40	427	218	105	250	11	4,8	2,33	9	3,7	0,47	46	13	22	15,1	7	0,46	0,7	14	0,3	0,13				
A5	0-20	338	179	141	342	23	4,9	0,69	25	6,5	1,60	34	33	49	2,2	16	0,49	1,5	38	0,8	0,60				
	20-40	364	122	139	375	18	4,8	1,81	15	4,5	1,29	37	21	36	8,1	11	0,64	1,1	24	0,7	0,23				
T5	0-20	445	238	92	225	17	4,9	0,92	21	5,0	0,65	32	27	45	3,6	10	0,33	0,7	24	0,6	0,33				
	20-40	415	180	114	292	16	4,9	1,87	14	4,4	0,50	33	19	36	12,1	6	0,54	0,8	18	0,3	0,17				
Média	0-20	431	231	101	238	18	5,0	0,73	18	4,7	0,78	32	24	42,11	4	10,26	0	0,94	31,0	1	0,47				
	20-40	423	198	108	272	14	4,8	2,14	13	4,0	0,63	39	17	30,61	12	7,01	0	0,89	21,9	0	0,22				
Média Geral	0-40	427	214	104	255	16	4,9	1,43	16	4,3	0,70	36	21	36,36	8	8,638	0	0,91	26,5	1	0,34				
Desvio Padrão	0-40	55	39	21	68	4,0	0,1	1,0	5,8	1,0	0,3	6,1	6,6	10,3	6,0	4,2	0,1	0,2	7,8	0,4	0,2				
CV%	0-40	13%	18%	20%	27%	24%	3%	69%	37%	23%	47%	17%	32%	0,3	75%	0,5	27%	24%	30%	58%	51%				

Onde: matéria orgânica (MO), pH (água); N pelo método Kjeldahl; P e K extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. H+Al = acidez potencial, SB = soma de bases, V = saturação por bases, m = saturação por alumínio, CV: Coeficiente de variação. Tratamentos: A2 – Altos fuste aos 2 anos pós-plantio, T2 – Talhadia aos 2 anos pós-colheita, A3 – Altos fuste aos 3 anos pós-plantio, T3 – Talhadia aos 3 anos pós-colheita, A4 – Altos fuste aos 4 anos pós-plantio, T4 – Talhadia aos 4 anos pós-colheita, A5 – Altos fuste aos 5 anos pós-plantio, T5 – Talhadia aos 5 anos pós-colheita.

O tipo de solo das áreas estudadas é um Argissolo (Figura 2), com uma textura que varia entre arenosa e média, caracterizando-se como distrófico (Tabela 1). Quanto ao relevo, a área apresenta características levemente onduladas (Alvares *et al.*, 2013).

**Figura 2 - Mapa da ordem de solos, segundo dados do IBGE, com a localização dos tratamentos estudados, Entre Rios, Bahia - Brasil**



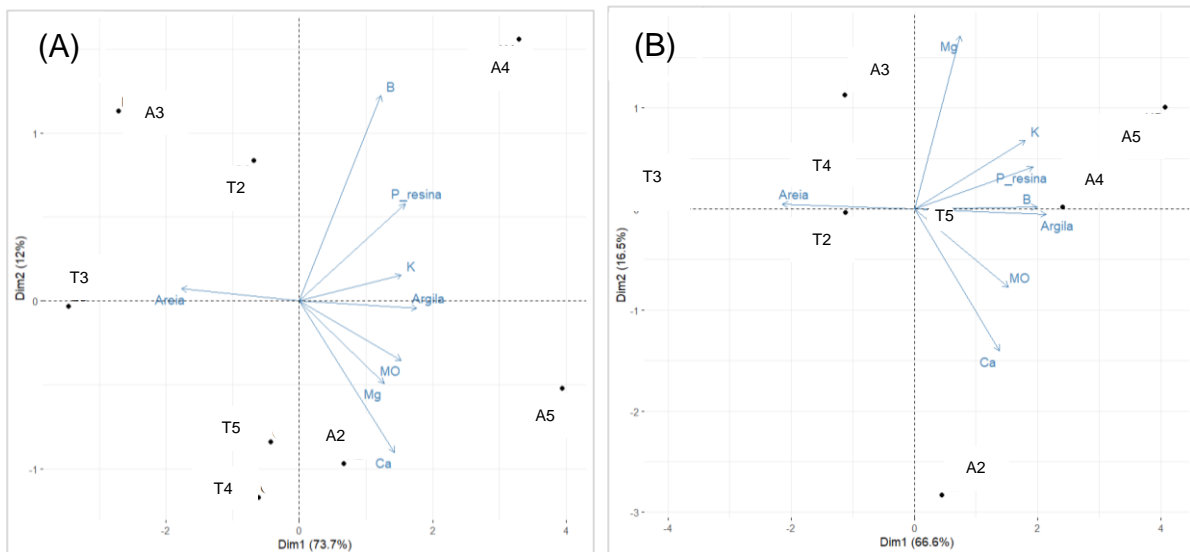
Mesmo dentro da mesma classe de solo, pode haver variações locais devido a fatores como topografia, drenagem e histórico de uso da terra. Essas variações podem afetar a fertilidade do solo, sua capacidade de retenção de água e outros aspectos importantes para o crescimento das plantas. Portanto, mesmo em solos classificados de forma semelhante, a análise de solo é essencial para entender as características específicas do solo.

Uma análise de componentes principais (Component Analysis - PCA) foi realizada, para caracterizar o solo dos tratamentos experimentais, no qual reuniu os diferentes atributos químicos e físicos do solo. A análise de componentes principais foi formada por dois componentes (dim. 1 e dim. 2) em duas diferentes profundidades

no perfil do solo (0-20 cm e 20-40 cm). As variáveis que mais contribuíram para explicar as particularidades dos tratamentos foram Areia, Argila, P, K, MO, Ca e Mg B.

As áreas de alto fuste aos 2, 4 e 5 anos de idades (A2, A4 e A5) estão em locais onde a faixa do teor de argila é maior (275 a 375 g dm<sup>-3</sup>), enquanto o alto fuste aos 3 anos e os demais tratamentos sob sistema de talhadia (A3, T2, T3, T4 e T5), estão em áreas com a menor faixa do teor de argila (133 a 250 g dm<sup>-3</sup>). Em relação aos atributos químicos do solo mostram que os vetores apontam em direção aos tratamentos A2, A4 e A5, indicando o favorecimento dos nutrientes a esse grupo, devido a textura do solo com maior teor de argila.

**Figura 3 - Análise de componentes principais (PCA) dos atributos do solo (Areia, Argila, MO, K, P, Ca, Mg e B) em profundidade de: a) 0-20 cm e b) 20-40 cm em florestas de *Eucalyptus urophylla*, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, BA**



Os resultados obtidos pela análise de PCA oferecem um valioso ponto de partida para entender como as particularidades dos atributos do solo de cada área influenciam nos dados que serão discutidos no presente trabalho. Mesmo as áreas estudadas terem sido selecionada em locais com características semelhantes, como faixa de precipitação média anual, ordem e subordem de solo, a PCA revelou particularidade dos tratamentos em dois grupos. Isso indica que essas particularidades entre o solo nos tratamentos analisados, foram consideradas na discussão deste trabalho.

### 1.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi analisado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por 8 tratamentos e 4 repetições. Cada parcela experimental consistiu em 36 plantas, distribuídas em 6 linhas de 6 plantas cada, com um espaçamento de 9 m<sup>2</sup> por indivíduo, totalizando 144 plantas por tratamento.

Os oito tratamentos incluíram idades de 2, 3, 4 e 5 anos pós-plantio em manejo de alto fuste, e pós-colheita em manejo de talhadia (Tabela 2). A seleção dessas idades teve como objetivo acompanhar de forma mais precisa os diferentes estágios nutricionais de cada povoamento. A espécie utilizada no estudo foi um clone de *Eucalyptus urophylla*, selecionado devido à sua adaptabilidade à região.

**Tabela 2 – Manejo de plantio de *Eucalyptus urophylla* nas idades e manejos considerados em cada tratamento**

Tratamento	Manejo de Plantio	Idade (anos)
A2	Alto Fuste	2 anos pós-plantio
T2	Talhadia	2 anos pós-colheita
A3	Alto Fuste	3 anos pós-plantio
T3	Talhadia	3 anos pós-colheita
A4	Alto Fuste	4 anos pós-plantio
T4	Talhadia	4 anos pós-colheita
A5	Alto Fuste	5 anos pós-plantio
T5	Talhadia	5 anos pós-colheita

No preparo da área, foi empregado calcário dolomítico em todos os tratamentos. No alto fuste a fertilização foi realizada em três etapas distintas: uma fertilização de base durante a subsolagem a uma profundidade de 20 a 30 cm, uma fertilização de cobertura e outra de manutenção, ambas aplicadas de forma mecanizada em filete contínuo (Tabela 3). Enquanto na talhadia, a adubação ocorreu em uma única aplicação, em adubação de cobertura. Alguns tratamentos tiveram adubação adicional ou de reforço, conforme necessidade informada pela equipe de campo. Em relação as datas e períodos das adubações, variaram conforme a janela de chuvas e o planejamento operacional. A condução da desbrota foi precoce em torno dos seis meses pós-colheita, conduzindo um único broto, exceto próximo as falhas de plantio, onde para se compensar, manteve-se dois fustes.

**Tabela 3 – Fertilização aplicada na área experimental**

Tratamento	Operações Silviculturais	Formulação de adubo	Quantidade (Kg)
A2	Calagem	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de base	NPK 06-30-06 + Micro	250
	Adubação de cobertura	NPK 10-00-30 + Micro	250
	Adubação de Manutenção	NPK 09-00-30 + 0,75 B	300
T2	Calagem	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de cobertura	NPK 10-08-22 + Micro	600
A3	Calagem	Calcário Dolomítico	2000
	Adubação de base	NPK 06-30-06 + Micro	200
	Adubação de cobertura	NPK 10-08-22 + Micro	250
	Adubação de Manutenção	NPK 10-00-30 + Micro	400
T3	Calagem	Calcário Dolomítico	1000
	Adubação de cobertura	NPK 10-08-22 + Micro	600
	Fertilização Adicional	Ureia protegida + 0,5%B	150
A4	Calagem	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de base	NPK 06-30-06 + Micro	200
	Adubação de cobertura	NPK 10-00-30 + Micro	200
	Adubação de Manutenção	NPK 10-00-30 + Micro	350
	Fosfatagem	Fósforo natural reativo	300
	Adubação de reforço	NPK 06-30-06 + Micro	30
T4	Calagem	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de cobertura	NPK 08-12-25 + Micro	600
A5	Calagem	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de base	NPK 06-30-06 + Micro	200
	Adubação de cobertura	NPK 10-00-30 + Micro	200
	Adubação de Manutenção	NPK 10-00-30 + Micro	300
T5	Calagem	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de cobertura	NPK 10-08-22 + Micro	600

### 1.2.3 Biomassa aérea

Para quantificar a biomassa aérea total e coletar amostras para determinar o teor de nutrientes nos compartimentos das árvores, a floresta foi dividida em dez classes diamétricas. Foram selecionadas as três classes centrais (Classes 5, 6 e 7) por tratamento para avaliação nutricional. Os indivíduos selecionados foram fracionados em campo em fuste (madeira + casca), folhas e galhos, sendo pesados completamente para obtenção do valor total da biomassa úmida por compartimento. Amostras foram coletadas em campo utilizando uma balança de precisão. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em sacos de papel, pesadas e

transportadas para o laboratório, onde foram secas em uma estufa com circulação e renovação de ar a 65°C até atingirem massa constante.

O produto da massa úmida total, dividido pela razão entre a massa úmida e a massa seca das amostras, resultou na massa seca total das árvores amostradas. A massa seca dos compartimentos de madeira e casca foi obtida de maneira similar, com as amostras compostas por discos retirados do tronco. Após a determinação da massa seca das amostras de cada compartimento, estas foram moídas em um moinho tipo *Willey* e submetidas a análises químicas em laboratório para a determinação do teor médio de macro ( $\text{g.kg}^{-1}$ ) e micronutrientes ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ).

#### 1.2.4 Biomassa do sistema radicular

O levantamento da biomassa das raízes foi realizado através da amostragem do toco juntamente com as raízes grossas (raízes com diâmetro superior a 2 mm). A biomassa das raízes grossas foi coletada em quatro árvores de cada tratamento. Escavações manuais e o uso de uma talha manual com capacidade para oito toneladas foram empregados para arrancar as raízes, que foram então pesadas no campo. Subamostras deste material foram retiradas para determinação do peso úmido e peso seco em laboratório, permitindo posterior estimativa do peso seco total. As amostras foram moídas em um moinho de lâminas do tipo *Willey* para análise química subsequente, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995) e Miyazawa *et al.* (1999).

Para estimar as biomassas do sistema radicular em todas as idades, foram ajustadas duas equações para o povoamento de *E. urophylla*, uma para o sistema de alto fuste e outra para o sistema de talhadia, utilizando a altura (h) como variável independente (Schumacher and Hall, 1933). A biomassa radicular foi estimada utilizando-se essa equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * (h) \quad (\text{Eq.1})$$

Em que:

Y = biomassas, em Kg

$\beta_0$  e  $\beta_1$  = coeficientes dos modelos.

h = altura dos indivíduos.

Equação para reforma:

$$Y = 1,0885 * (h) - 9,4496 \quad (\text{Eq.2})$$

Equação para talhadia:

$$Y = 0,9519 * (h) + 3,8895 \quad (\text{Eq.3})$$

### 1.2.5 Coeficiente de Utilização Biológica

O Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) foi calculado pela razão entre a biomassa do lenho e a quantidade de nutrientes de cada nutriente na planta, expressos nas mesmas unidades (Barros *et al.*, 1986; Bazani, 2014). Exemplificado na seguinte fórmula:

$$\text{CUB} = \frac{\text{Quantidade de Biomassa no Lenho}}{\text{Quantidade de nutriente na planta}} \quad (\text{Eq.4})$$

### 1.2.6 Análise de dados

Os dados dos compartimentos da biomassa, teor e conteúdo de nutrientes, bem como o coeficiente de utilização biológica, foram submetidos a análises estatísticas descritivas, seguidas pelo teste de normalidade e homogeneidade dos dados. Além disso, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) em um delineamento fatorial considerando os fatores idade e manejo para identificar efeitos significativos. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com as árvores selecionadas como unidades amostrais. Quando necessário, médias foram discriminadas pelo teste de Tukey, com um nível de significância de 5%, utilizando o software estatístico R® (R Development Core Team, 2020). A estimativa da biomassa radicular foi baseada na análise conjunta do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro-padrão da estimativa ( $Sy.x$ ) e análise gráfica dos resíduos percentuais.

## 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.3.1 Estoque de biomassa

A biomassa total aos cinco anos nos dois sistemas de manejo foi de 152.53 Mg ha<sup>-1</sup> na talhadia e 118.53 Mg ha<sup>-1</sup> para o alto fuste (Figura 4). Este valor é comparável ao encontrado em um estudo conduzido por Barros (2021), que relatou uma biomassa total de 124.93 Mg ha<sup>-1</sup> para o mesmo clone de *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade em um sistema de alto fuste, localizado no município de Vitória da Conquista, Bahia. O solo utilizado no estudo, era um Latossolo Amarelo distrófico, com uma precipitação anual de aproximadamente 700 mm.

O manejo de talhadia mostrou uma tendência maior para o acúmulo de biomassa total em todas as idades, no entanto, a diferença observada não foi estatisticamente significativa (Figura 4). Uma possível explicação para os tratamentos de alto fuste terem apresentado uma propensão menor nos valores de biomassa total pode ser derivada dos dados encontrados na análise de PCA dos atributos do solo. A maioria dos tratamentos desse sistema estava associada ao grupo de solos com textura mais argilosa, o que pode ter contribuído para essa disparidade.

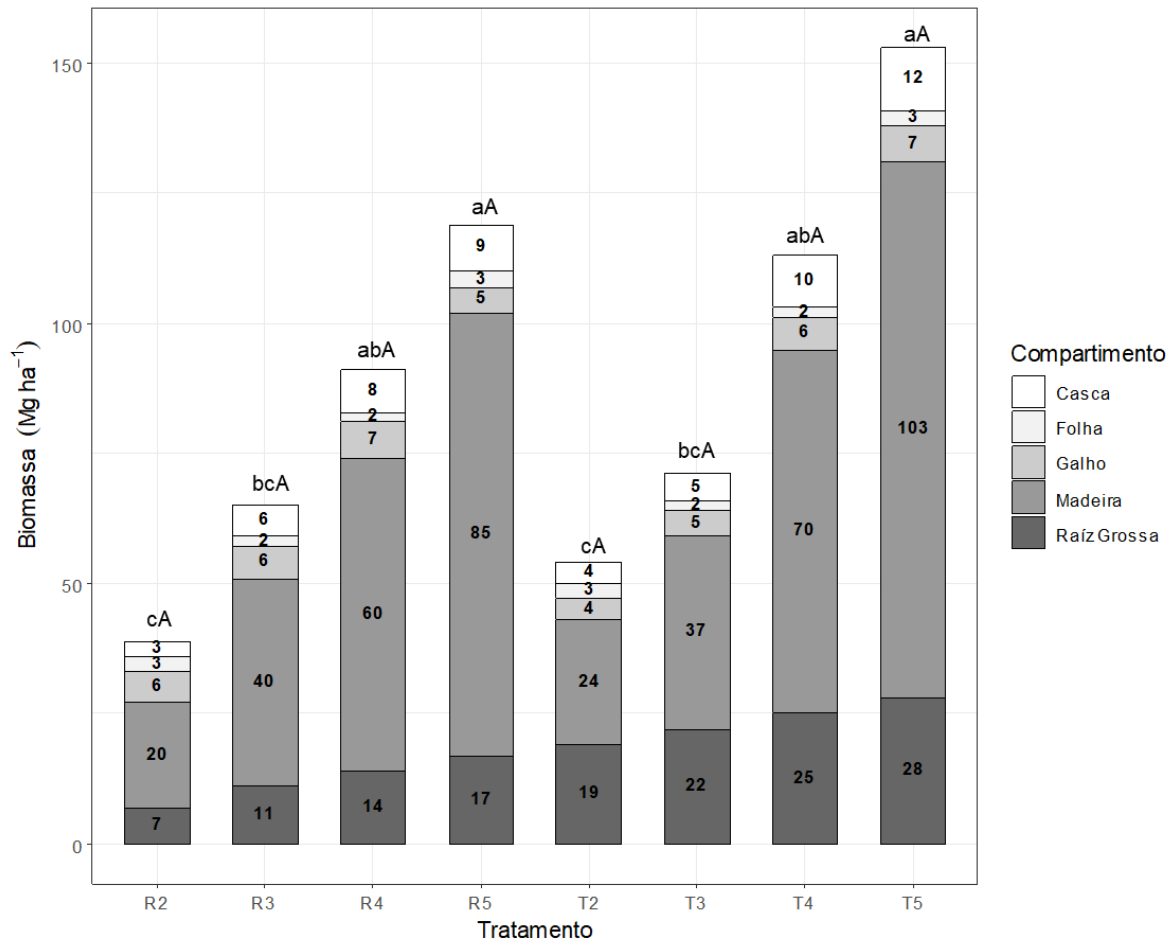
Embora localizados em um solo com maior concentração de nutrientes, os tratamentos pertencentes ao grupo de textura mais argilosa (A2, A4 e A5) são classificados como Argissolo Amarelo distrocoeso (PA<sub>dx</sub>). Estes solos possuem uma textura média no horizonte A e uma textura argilosa ou muito argilosa no horizonte B, podendo apresentar baixa permeabilidade devido ao seu caráter coeso.

A permeabilidade dos solos exerce um impacto significativo no crescimento do eucalipto. Solos argilosos com baixa permeabilidade afetam diretamente o crescimento da planta, reduzindo a disponibilidade de água. Isso, por sua vez, pode limitar o desenvolvimento das raízes e a absorção de nutrientes, resultando em crescimento mais lento, qualidade inferior da madeira e maior suscetibilidade a doenças. Além disso, a água da chuva pode não ser absorvida eficientemente, levando a perdas maiores de água e acúmulo de água no solo, o que pode resultar em problemas de drenagem (FAO, 1981).

Apesar das diferenças nos solos, não houve diferenças significativas no crescimento entre os tratamentos com a mesma idade. Esses resultados sugerem, em concordância com as descobertas de Gonçalves *et al.* (2014), que em áreas com

altos volumes de precipitação pluviométrica e solos bem drenados, como os encontrados na região em estudo, a produção da segunda rotação de cultivo pode ser igual ou até mesmo superior à da primeira rotação.

**Figura 4 - Acúmulo de biomassa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de *Eucalyptus urophylla*, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia.**



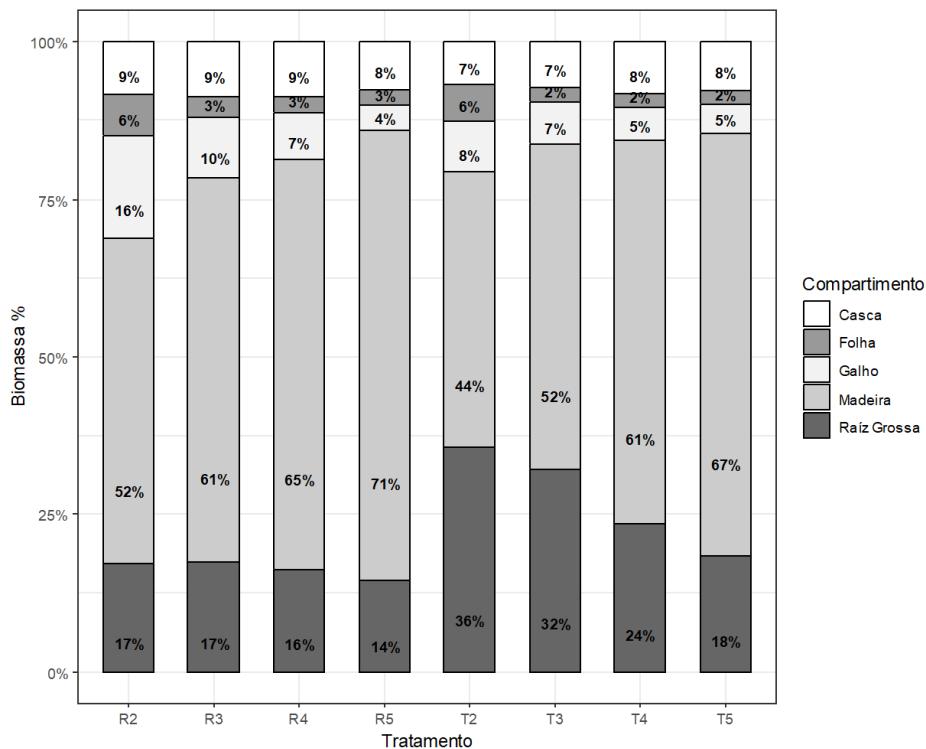
Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, maiúsculas para manejo e minúscula para idade, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Quanto ao aumento do acúmulo de biomassa por compartimento, a idade foi o principal fator que influenciou diretamente o crescimento da casca, madeira e raízes grossas, enquanto as folhas e galhos não apresentaram variação significativa no acúmulo de biomassa com o aumento da idade. Em relação aos diferentes métodos de manejo, a única diferença significativa foi observada na biomassa das raízes grossas, onde a talhadia demonstrou um maior crescimento em todos os tratamentos.

Barros (2021) conduziu um estudo com clones de *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, no município de Vitória da Conquista, Bahia, e encontrou 18,51 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa de raízes grossas em um Latossolo Amarelo distrófico. Enquanto isso, Gonçalves *et al.* (2012), em um plantio de *Eucalyptus grandis* no município de Itatinga, São Paulo, com sete anos de idade, obtiveram uma biomassa de raízes grossas de 20 Mg ha<sup>-1</sup> em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Considerando esses estudos como referência, a influência do solo com textura mais argilosa, presente nos tratamentos de alto fuste, em relação ao acúmulo de biomassa de raízes grossas neste trabalho, que foi de 17 Mg ha<sup>-1</sup>, é pouco significativa, sendo o manejo o principal fator que explica o maior crescimento das raízes.

A distribuição relativa da biomassa nos diferentes compartimentos segue a seguinte ordem aos 2 e 3 anos em ambos os manejos: Madeira > Raiz > Galho > Casca > Folha (Figura 5). Após o quarto ano, ocorre uma inversão na ordem (casca e galho), que passa a ser a seguinte: Madeira > Raiz > Casca > Galho > Folha.

**Figura 5 - Distribuição da biomassa (%) de *Eucalyptus urophylla* por compartimento: casca, folha, galho madeira e raízes, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia**



Um levantamento da produção de biomassa realizado por Gatto *et al.* (2014) em um povoamento de um híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* aos cinco anos de idade, no Distrito Federal, mostrou uma distribuição dos componentes semelhante à encontrada em nosso estudo nas idades de 2 e 3 anos: madeira > raízes > galhos > casca > folhas. No entanto, em um estudo realizado por Barros (2021) aos 6 anos, no município de Vitória da Conquista, Bahia, a distribuição da biomassa seguiu uma ordem diferente: fuste (64,9%), raízes (18,8%), galhos (10,8%), folhas (2,8%) e casca (2,7%). Em relação à distribuição dos compartimentos encontrada na literatura, há diversas citações que diferem dos nossos resultados, especialmente em relação aos componentes galho, casca e folha. No entanto, a madeira sempre ocupa a primeira colocação, exceto em plantios muito jovens (Reis e Barros, 1990).

Após o compartimento da madeira, o segundo componente que apresenta maior produção em todas as idades e manejos são as raízes. O acúmulo de biomassa está diretamente relacionado às condições edafoclimáticas e à capacidade produtiva local da área do povoamento (Wang *et al.*, 2008; Resquin *et al.*, 2020; Cavalli *et al.*, 2020; Rocha *et al.*, 2020; Barros, 2021). O presente estudo está localizado em uma região com bons índices pluviométricos (entre 1100 mm e 1300 mm), comparado a algumas regiões do Brasil, porém não deixa de apresentar períodos de déficit hídrico ao longo do ano. Segundo Gonçalves (1994), ocorre um incremento na produção de biomassa de raízes em locais que expressam condições mais acentuadas de estresse nutricional ou hídrico. Isso leva as árvores a acumularem mais fotoassimilados nas raízes. (Gonçalves *et al.*, 2000).

Exceto pelo componente madeira, que aumentou, e pela casca, que manteve uma constância em relação à participação na biomassa total em todos os tratamentos, houve uma redução nos demais compartimentos (raízes, galhos e folhas) à medida que a idade aumentava. Conforme descrito por Schumacher *et al.* (2011), na fase inicial de crescimento das plantas, a maior parte dos fotoassimilados sintetizados pela planta é direcionada para a formação da copa e do sistema radicular. Após o fechamento das copas, as árvores acumulam mais biomassa e nutrientes com maior intensidade no fuste, pois nesse estágio as copas se encontram em uma fase de relativa estabilidade, devido ao auto-sombreamento. Árvores mais jovens, com menor diâmetro (primeiro ano), apresentam maior acúmulo de biomassa na copa em relação à madeira do tronco, um comportamento que diminui à medida que os diâmetros aumentam. (Frantz, 2016).

### 1.3.2 Teor de nutrientes na biomassa

Os teores de Zn na casca, Ca e Cu nas folhas, P, Mg, Cu, Mn e Zn no galho, N, Cu e Fe na madeira e Ca, Mg e Zn nas raízes grossas, não apresentaram diferença significativa entre idade e manejo, mantendo uma média constante nos seus valores de concentração nos compartimentos (Tabela 4 e 5).

O sistema sob talhadia obteve diferenças significativas de maior concentração de N na raiz, P na casca e raiz, K na folha e raiz aos 2 e 4 anos, S aos 2 e 4 anos na folha e madeira, B na folha e raiz, Cu na raiz aos 2 e 3 anos, Mn na raiz aos 2 e 3 anos e Zn na madeira. Enquanto a reforma obteve maior teor de Ca aos 2 e 4 anos no galho e 3 e 4 anos na casca; Mg na madeira, casca e aos 2 e 4 anos na folha; Cu na casca; e Fe na casca, madeira, raiz e aos 2 e 4 anos no galho.

Em relação a idade, aos 2 e 3 anos o fósforo teve maior teor nas folhas para ambos os manejos, assim como o enxofre e manganês nas raízes. Para o potássio essa relação com a idade apareceu nas raízes para talhadia e o boro na casca para a reforma. As demais diferenças encontradas não expressaram constância entre idade e manejo.

As concentrações dos nutrientes nos diversos componentes das árvores de eucalipto e a produção de biomassa têm relação direta com a densidade de plantio e a fertilidade do solo (Hernández *et al.*, 2009). Contudo a distribuição do teor e estoque de nutrientes pode apresentar diferença entre os compostos em cada tratamento. Segundo Oliveira Neto (1996) a absorção e distribuição de nutrientes para os diferentes compartimentos da planta e elemento dependem de vários fatores, como: da espécie, densidade de plantio, qualidade do sítio e da idade da floresta. O qual explica essas pequenas diferenças entre os tratamentos, mesmo sendo o mesmo clone, possuindo o mesmo espaçamento (9 m<sup>2</sup>) e fazendo parte de uma mesma zona climática, cada tratamento possui idade, manejo e particularidade químicas e físicas do solo (tabela 1).

**Tabela 4 - Teor dos macronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) de *Eucalyptus urophylla*, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia**

Nutrientes	Compartimento	2 Anos		3 Anos		4 Anos		5 Anos		2 Anos		3 Anos		4 Anos		5 Anos	
		g kg <sup>-1</sup>															
		Reforma								Talhada							
N	Casca	4,35	a A*	3,99	a A*	4,41	a A*	4,19	a A*	4,74	a A*	3,21	b B*	4,10	a A*	4,67	a A*
	Folha	25,29	a A	23,92	ab A	21,79	b A	22,42	ab A	24,79	a A	24,73	a A	22,40	ab A	23,22	ab A
	Galho	3,26	a A	3,26	a A	3,20	a A	9,10	b A	2,24	a A	3,45	a A	2,48	a A	8,18	b A
	Madeira	2,39	a A	1,89	a A	2,16	a A	2,09	a A	1,83	a A	2,20	a A	1,99	a A	2,20	a A
	Raiz	5,23	b B	5,23	b B	6,28	a B	6,28	a B	5,68	b A	5,68	b A	7,37	a A	7,37	a A
P	Casca	0,38	a B	0,30	a B	0,27	a B	0,31	a B	0,39	a A	0,46	a A	0,33	a A	0,49	a A
	Folha	1,55	a A*	1,38	ab A*	1,22	b A*	1,26	b A*	1,39	ab B*	1,54	a B*	1,24	b A*	1,31	b A*
	Galho	0,51	a A	0,24	a A	0,32	a A	0,30	a A	0,26	a A	0,33	a A	0,27	a A	0,26	a A
	Madeira	0,14	b A	0,20	ab A	0,13	b A	0,28	a A	0,21	ab A	0,14	b A	0,18	A	0,23	ab A
K	Raiz	0,24	a A	0,24	a A	0,29	a A	0,29	a A	0,69	a B	0,69	a B	0,58	a B	0,58	a B
	Casca	7,49	a A*	4,84	bc A*	5,96	ab A*	3,50	a B*	4,24	b B*	3,93	b A*	4,34	b B*	7,03	a A*
	Folha	10,97	a B	9,58	b B	9,24	b B	11,78	a B	12,28	a A	9,44	b A	10,55	b A	12,93	a A
	Galho	4,17	a A	1,97	b A	4,20	a A	3,18	ab A	2,99	s A	2,65	b A	2,98	A	2,74	ab A
	Madeira	2,19	ab A*	1,58	b B*	1,57	b A*	2,57	a A*	2,09	a A*	2,73	a A*	2,18	a A*	2,20	a A*
Ca	Raiz	0,48	a B*	0,48	a B*	0,79	a A*	0,79	a A*	1,26	a A*	1,26	a A*	0,70	b A*	0,70	b A*
	Casca	15,79	a A*	10,40	b A*	18,18	a A*	14,87	ab A*	14,47	ab A*	6,22	c B*	11,54	bc B*	16,98	a A*
	Folha	8,32	a A	7,33	a A	7,31	a A	8,28	a A	8,20	a A	7,34	a A	7,67	a A	8,87	a A
	Galho	7,33	a A*	2,32	b A*	6,16	a A*	1,80	b A*	2,81	a B*	3,60	a A*	3,39	a A*	1,36	a A*
	Madeira	1,71	a A*	1,86	a A*	0,99	b A*	1,40	ab A*	1,47	a A*	1,96	a A*	1,73	a A*	1,41	a A*
Mg	Raiz	0,83	a A	0,83	a A	0,83	a A	0,83	a A	0,84	a A	0,84	a A	0,88	a A	0,88	a A
	Casca	3,96	a A	1,68	b A	2,23	b A	2,47	ab A	2,49	a B	1,26	b B	2,06	b B	2,32	ab B
	Folha	3,71	b A*	2,19	c A*	3,26	b A*	6,03	a A*	2,37	b B*	2,15	b A*	2,33	b B*	6,01	a A*
	Galho	1,30	a A	0,84	a A	1,62	a A	1,02	a A	1,01	a A	1,30	a A	1,21	a A	1,18	a A
	Madeira	0,73	a A	0,83	a A	1,14	a A	0,91	a A	0,31	a B	0,68	a B	0,56	a B	0,94	a B
S	Raiz	0,20	a A	0,20	a A	0,28	a A	0,28	a A	0,32	a A	0,32	a A	0,19	a A	0,19	a A
	Casca	0,28	ab B*	0,38	ab A*	0,27	b B*	0,92	a A*	0,53	a A*	0,17	b A*	0,48	ab A*	0,83	ab A*
	Folha	1,12	b A	1,15	b A	0,87	b A	1,43	a A	1,60	a A	1,20	b A	1,39	b A	1,41	b A
	Galho	0,30	ab B*	0,30	ab A*	0,19	b A*	0,42	a A*	0,52	a A*	0,21	b A*	0,24	b A*	0,34	b A*
	Madeira	0,19	b B*	0,22	b A*	0,12	b B*	0,47	a A*	0,41	a A*	0,18	b A*	0,30	ab A*	0,32	ab A*
Raiz	1,43	a A	1,43	a A	1,10	b A	1,10	b A	1,51	a A	1,51	a A	0,82	b A	0,82	b A	

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha, maiúsculas para manejo e minúscula para idade, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. (\*)Interação significativa entre idade e manejo

**Tabela 5 - Teor dos micronutrientes (g kg<sup>-1</sup>) de *Eucalyptus urophylla*, aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia**

Nutrientes	Compartimento	2 Anos				3 Anos				4 Anos				5 Anos											
		mg kg <sup>-1</sup>								2 Anos				3 Anos				4 Anos				5 Anos			
		Reforma								Talhadia															
B	Casca	32,03	a A*	19,62	b B*	16,56	b A*	16,56	b A*	17,30	b B*	32,25	a A*	17,56	b A*	17,98	b A*								
	Folha	58,52	a B	51,24	a B	71,00	a B	65,55	a B	65,68	a A	75,19	a A	75,80	a A	83,10	a A								
	Galho	19,57	a A	15,69	ab A	13,35	b A	13,35	b A	21,33	a A	11,80	ab A	11,68	b A	11,68	b A								
	Madeira	21,78	a A	14,93	ab A	11,06	b A	11,06	b A	19,59	a A	14,17	ab A	10,97	b A	10,97	b A								
	Raiz	9,93	a B	9,93	a B	10,39	a B	10,39	a B	11,72	a A	11,72	a A	11,54	a A	11,54	a A								
Cu	Casca	7,77	a A	7,10	a A	8,21	a A	6,28	a A	5,53	a B	6,29	a B	5,37	a B	5,33	a B								
	Folha	6,60	a A	7,13	a A	7,77	a A	8,98	a A	11,02	a A	7,99	a A	8,25	a A	11,18	a A								
	Galho	8,09	a A	6,38	a A	6,83	a A	5,90	a A	7,70	a A	5,35	a A	5,37	a A	8,62	a A								
	Madeira	8,43	a A	4,88	a A	6,96	a A	4,89	a A	6,44	a A	5,59	a A	5,18	a A	8,52	a A								
	Raiz	5,20	a B*	5,20	a B*	5,80	a A*	5,80	a A*	7,32	a A*	7,32	a A*	4,37	b A	4,37	b A								
Fe	Casca	85,33	a A	37,36	a A	48,26	a A	27,16	a A	25,13	a B	36,98	a B	26,10	a B	24,54	a B								
	Folha	85,96	ab A*	79,09	b A*	117,88	a A*	75,03	b A*	81,07	a A*	77,96	a A*	77,96	a B*	84,85	a A*								
	Galho	76,51	a A*	21,51	c A*	47,60	b A*	28,60	bc A*	18,12	a B*	26,07	a A*	21,54	a B*	26,53	a A*								
	Madeira	25,44	a A	20,29	a A	24,49	a A	21,91	a A	18,04	a A	27,01	a A	20,84	a A	26,07	a A								
	Raiz	31,22	a A	31,22	a A	37,21	a A	37,21	a A	27,76	a B	27,76	a B	28,22	a B	28,22	a B								
Mn	Casca	50,45	a A*	15,46	b B*	24,89	b A*	11,94	b A*	13,71	a B*	25,13	a A*	13,77	a B*	12,57	a A*								
	Folha	55,34	a A*	55,63	a B*	36,50	ab A*	28,07	b A*	34,49	b B*	71,82	a A*	38,69	b A*	24,04	b A*								
	Galho	25,92	a A	18,11	a A	21,84	a A	15,75	a A	14,83	a A	20,50	a A	14,40	a A	19,36	a A								
	Madeira	15,49	b A*	13,92	b B*	23,87	a A*	13,36	b A*	14,49	a A*	19,02	a A*	12,72	a B*	16,18	a A*								
	Raiz	22,33	a A*	22,33	a A*	12,52	b B*	12,52	b B*	21,58	a A*	21,58	a A*	17,46	b A*	17,46	b A*								
Zn	Casca	10,16	a A	10,08	a A	10,56	a A	11,56	a A	10,64	a A	10,32	a A	10,77	a A	10,48	a A								
	Folha	13,27	a A*	13,12	a A*	11,32	a B*	13,34	a A*	13,99	a A*	11,30	b A*	14,13	a A*	12,19	ab A*								
	Galho	10,18	a A	10,74	a A	9,66	a A	11,45	a A	11,41	a A	9,78	a A	11,03	a A	10,47	a A								
	Madeira	5,36	b B*	10,18	a A*	5,08	b B*	11,17	a A*	11,18	A* ab	9,62	b A*	11,50	a A*	11,06	ab A*								
	Raiz	5,76	a A	5,76	a A	6,63	a A	6,63	a A	5,38	a A	5,38	a A	5,68	a A	5,68	a A								

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na linha, maiúsculas para manejo e minúscula para idade, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. (\*)Interação significativa entre idade e manejo

A maioria dos nutrientes tiveram maior teor encontrados nas folhas, justificando-se em razão dos processos de transpiração e fotossíntese que ocorre nas folhas, proporcionando maior concentração de células vivas a esse compartimento (Kramer e Kozlowski, 1972), dando ao composto foliar um papel muito importante na ciclagem de nutrientes (Barichello, 2005). Entretanto a folha representa um baixo percentual de acúmulo de nutrientes em relação a madeira, isso porque na biomassa total das árvores a folha representa a menor valor enquanto a madeira é o componente de maior acúmulo de biomassa (Figura 4).

Os únicos nutrientes que detiveram um comportamento diferente foi o cálcio e o enxofre. A concentração do Ca foi superior na casca, resultando-se da baixa mobilidade que esse elemento possui no floema das plantas, e ser um componente estrutural fazendo parte da lamela média da membrana celular. (Ferri, 1985 e Brun, 2004, Frantz, 2016). Já o enxofre teve um maior teor nas raízes grossas, sendo um nutriente que ajuda a aumentar o crescimento e a produção de biomassa da raiz,

contribuindo na síntese de hormônios vegetais, desempenhando um papel importante na formação de proteínas e ajuda a regular o equilíbrio de nitrogênio e fósforo nas raízes (Chatterton, 2008).

### 1.3.3 Demanda nutricional

Por meio do coeficiente de utilização biológica (CUB), é possível calcular a taxa de conversão que determina a quantidade necessária de cada nutriente para formar unidades de biomassa da madeira (conversão de nutriente em madeira), permitindo-nos entender a eficiência na utilização dos nutrientes em cada sistema para a produção da biomassa do lenho. Portanto, quanto mais eficiente for a conversão, maior será o valor do CUB (Witschoreck, 2008).

O CUB demonstrou menor eficiência de utilização aos dois anos de idade, devido ao maior investimento inicial que as árvores apresentam na absorção desses elementos. Conseqüentemente, o CUB aumentou com a idade, exceto para o Mn, tornando-se mais eficiente com o avanço da idade para a maioria dos nutrientes. Isso evidencia a possível relação entre a eficiência de utilização dos nutrientes e o desenvolvimento das árvores ao longo do tempo, principalmente devido aos processos de ciclagem de nutrientes, conhecidos como bioquímica e biogeoquímica. Esses processos ocorrem por meio da estabilidade da floresta após o fechamento da copa, com a translocação de nutrientes pela planta e sua relação tanto internamente quanto com o solo (Laclau *et al.*, 2010; Bazani, 2014).

Quanto ao manejo, o potássio e o boro não mostraram diferenças entre os dois sistemas. No alto fuste, houve um maior índice de CUB para N, P e, aos 2 e 4 anos, para S e Zn. Na talhadia, foram observados valores superiores de CUB para Mg e, aos 2 anos, para Ca. Em relação aos micronutrientes Cu, Fe e Mn, o CUB apresentou diferenças entre os manejos de acordo com a idade das árvores. O cobre e o manganês mostraram um CUB maior aos 3 e 5 anos no alto fuste, e aos 4 anos na talhadia, sem diferença significativa aos dois anos. Por outro lado, o ferro demonstrou maior eficiência de utilização aos 2 e 4 anos na talhadia, e aos 3 anos no alto fuste, sem diferenças significativas aos 5 anos.

Os índices de coeficiente de utilização biológica devem ser interpretados com cautela, uma vez que valores elevados de CUB podem não necessariamente indicar alta produtividade (Santana; Barros; Neves, 2022; Bazani, 2014). Embora esses

índices não forneçam uma visão completa e definitiva, quando utilizados corretamente, podem ser uma ferramenta útil para compreender os processos responsáveis pelo crescimento das árvores (Bazani, 2014) e auxiliar na recomendação de fertilizantes

Ao comparar os dados do CUB com as características físicas e químicas do solo apresentadas, é possível observar uma possível interferência associada às diferenças na textura do solo entre os tratamentos.

Os valores mais altos do CUB foram observados no sistema de alto fuste, sugerindo uma maior eficiência na conversão de nutrientes em matéria seca da madeira. No entanto, na talhadia, embora o acúmulo de alguns nutrientes tenha sido relativamente maior, a produção de biomassa foi semelhante, com uma tendência ligeiramente maior para a talhadia.

Os valores mais altos do CUB para N, P e Mg no alto fuste, bem como em alguns casos para S, Cu e Zn, podem indicar restrição nutricional. Isso ocorre porque a restrição hídrica, devido à baixa permeabilidade dos solos coesos, também pode impedir ou dificultar o transporte dos nutrientes até as raízes, levando a um aumento nos valores do CUB.

**Tabela 6 - Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) dos macronutrientes de *Eucalyptus urophylla* aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia**

Tratamentos	Biomassa		CUB-Nutriente					
	Total	Lenho	CUB-N	CUB-P	CUB-K	CUB-Ca	CUB-Mg	CUB-S
	Mg.ha <sup>-1</sup>		kg.kg <sup>-1</sup>					
A2	39 c A	20 c A	112 b A	1.571 c A	160 b A	382 c B*	1.312 a B	3.246 b A*
T2	54 c A	24 c A	92 b B	960 c B	169 b A	497 b A*	2.044 a A	1.486 b B*
A3	64 bc A	40 bc A	175 a A	2.441 b A	314 a A	702 b A*	2.175 a B	3.910 b A*
T3	70 bc A	37 bc A	129 a B	1.358 b B	207 a A	716 a A*	2.314 a A	2.554 ab A*
A4	92 ab A	60 b A	182 a A	3.075 ab A	291 a A	649 b A*	1.651 a B	6.275 a A*
T4	113 ab A	70 b A	158 a B	1.968 ab B	289 a A	720 a A*	2.852 a A	4.168 a B*
A5	119 a A	85 a A	194 a A	2.343 ab A	271 a A	853 a A*	1.990 a B	3.563 b A*
T5	153 a A	103 a A	165 a B	1.980 ab B	263 a A	749 a A*	2.059 a A	4.335 a A*

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra coluna, maiúsculas para manejo e minúscula para idade, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. (\*) Interação significativa entre idade e manejo.

**Tabela 7 - Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) dos micronutrientes de *Eucalyptus urophylla* aos dois, três, quatro e cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia**

Tratamentos	Biomassa		CUB-Nutriente				
	Total	Lenho	CUB-B	CUB-Cu	CUB-Fe	CUB-Mn	CUB-Zn
	Mg.ha <sup>-1</sup>		g. g <sup>-1</sup>				
A2	39 <sup>c</sup> A	20 <sup>c</sup> A	72.068 <sup>c</sup> A	202.647 <sup>c</sup> A*	35.655 <sup>c</sup> B*	69.737 <sup>c</sup> A*	216.891 <sup>b</sup> A*
T2	54 <sup>c</sup> A	24 <sup>c</sup> A	69.201 <sup>b</sup> A	186.494 <sup>ab</sup> A*	51.293 <sup>ab</sup> A*	72.705 <sup>b</sup> A*	141.704 <sup>b</sup> B*
A3	64 <sup>bc</sup> A	40 <sup>bc</sup> A	117.825 <sup>a</sup> A	349.571 <sup>bc</sup> A*	71.414 <sup>b</sup> A*	106.647 <sup>b</sup> A*	193.889 <sup>b</sup> A*
T3	70 <sup>bc</sup> A	37 <sup>bc</sup> A	98.474 <sup>a</sup> A	246.877 <sup>a</sup> B*	52.643 <sup>a</sup> B*	71.704 <sup>b</sup> B*	184.856 <sup>ab</sup> A*
A4	92 <sup>ab</sup> A	60 <sup>b</sup> A	150.418 <sup>c</sup> A	282.133 <sup>b</sup> A*	60.562 <sup>b</sup> B*	88.307 <sup>bc</sup> B*	311.619 <sup>a</sup> A*
T4	113 <sup>ab</sup> A	70 <sup>b</sup> A	139.877 <sup>b</sup> A	371.920 <sup>b</sup> B*	75.500 <sup>b</sup> A*	125.335 <sup>a</sup> A*	180.130 <sup>ab</sup> B*
A5	119 <sup>a</sup> A	85 <sup>a</sup> A	170.438 <sup>a</sup> A	410.386 <sup>a</sup> A*	81.885 <sup>a</sup> A*	157.786 <sup>a</sup> A*	201.659 <sup>b</sup> A*
T5	153 <sup>a</sup> A	103 <sup>a</sup> A	152.707 <sup>a</sup> A	266.876 <sup>ab</sup> B*	72.806 <sup>a</sup> A*	123.527 <sup>a</sup> B*	201.767 <sup>a</sup> A*

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna, maiúsculas para manejo e minúscula para idade, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. (\*) Interação significativa entre idade e manejo.

Entre os nutrientes, os micronutrientes foram os que apresentaram melhor taxa de conversão. Esses nutrientes são de extrema importância para o crescimento das plantas e são absorvidos em menores quantidades, o que resulta em menor acúmulo e maior eficiência por unidade de biomassa do lenho. A sequência dos valores médios entre os tratamentos, do maior para o menor nutriente em relação ao CUB, foi a seguinte: Zn > Cu > B > Mn > Fe > S > P > Mg > Ca > K > N.

As diferenças na eficiência de utilização de nutrientes, além de estarem relacionadas à capacidade de absorção, translocação e conversão dos nutrientes em biomassa de cada genótipo, são também influenciadas pela interação genótipo por ambiente (Almeida, 2009). Assim, a eficiência de utilização de nutrientes permite identificar práticas de manejo, como a adubação, que contribuem para a sustentabilidade florestal. Conhecendo a eficiência no uso de um nutriente e a expectativa de produção de biomassa, torna-se possível estimar a quantidade de nutrientes necessária para um adequado balanço nutricional no próximo ciclo (Saidelles *et al.*, 2010).

## 1.4 CONCLUSÕES

O manejo de talhadia e alto fuste em em argissolos e clima tropical úmido (regiões com índices pluviométricos entre 1.000 e 1.300 mm) apresentaram produção de biomassa similares.

Com o acúmulo de biomassa na seguinte sequência: madeira > raiz > casca > galhos > folhas, sendo a madeira o componente que apresentou maior tendência ao acúmulo de biomassa em função a idade.

O alto fuste obteve maior CUB para N e P, enquanto a talhadia para o Mg. Mesmo em solos mais pobres nutricionalmente e com menor aporte de alguns nutrientes via fertilização a talhadia apresentou uma eficiência na utilização dos nutrientes semelhante ao alto fuste.

Nossos resultados sugerem que a fertilização na talhadia, especialmente em áreas onde o solo apresenta uma diferença de menos aporte nutricional, leva a acumular mais nutrientes em alguns casos. Portanto, é crucial adotar estratégias de adubação que proporcionem um suprimento semelhante de nutrientes na talhadia, ao aplicado no alto fuste em argissolos mais pobres, com o objetivo de maximizar a eficiência na utilização de nutrientes.

Essa abordagem contribui para a sustentabilidade e a produtividade a longo prazo das florestas. Aprimorar a adubação nesse sistema em áreas menos férteis não apenas promove uma maior produtividade florestal, mas também desempenha um papel fundamental na ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C. *et al.* Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrids plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 251, n. 1-2, p. 10-21, out. 2007.
- ALVARES, C.A., J.L. STAPE, P.C. SENTELHAS, J.L.M. GONC, ALVES, 2013: Modeling monthly mean air temperature for Brazil. – **Theor. Appl. Climatol.** 113, 407–427.
- ARTHUR JUNIOR, J.C.; BAZANI, J. H.; HAKAMADA, R. E.; ROCHA, J. H. T.; MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J.L.M. Considerações finais: Avanços nas práticas silviculturais no manejo da brotação com enfoque no aumento da produtividade e na redução de custos. **Série Técnica IPEF**, Alagoinhas, v. 21, n. 42, p. 75-79, 2015.
- BARICHELO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na Região Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1/2, p. 129-135, mar. 2005.
- BARROS, W. T. **Crescimento, biomassa e eficiência nutricional de híbridos de eucalipto na região sudoeste da Bahia.** 2021. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Vitória da Conquista, 2021.
- BARROS, NF; Comerford, NB Sustentabilidade da produçãoo de florestas plantadas na região tropical. EmTópicos em ciência do solo; Alvarez, VV, Schaefer, CEG, Barros, N., Mello, JW, Costa, L., Eds.; **Folha de Viçosa: Viçosa, Brasil, 2002; Volume 2, pp. 487–592.**
- BAZANI, J. H. **Eficiência de fertilizantes fosfatados solúveis e pouco solúveis, com ou sem complexação com substâncias húmicas, em plantações de eucalipto.** Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP), Piracicaba, SP, 2014.
- BLAKE, T. J. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors. **Australian Forest Research.** v. 3, n ¾, 1983. p. 279–291.
- BINKLEY, D. *et al.* Stand development and productivity. In: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests.** Canberra: ACIAR Australia, CSIRO Australia, CIFOR Indonesia, 1997. p. 339-378.
- BRUN, E.J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS.** 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria.
- CAMARGO, M.L.P.; DE MORAES, C.B.; MORI, E.S.; GUERRINI, I.A.; DE MELLO, E.J.; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica**, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004.

CAVALLI, J.P.; REICHERT, J.M.; RODRIGUES, M.F.; Araújo, E.F. de. Composition and functional soil properties of arenosols and acrisols: Effects on *Eucalyptus* growth and productivity. **Soil and Tillage Research**, v. 196, p. 104439, 2020.

CHATTERTON, S; JAYARAJ, J; PUNJA, Z.K. Colonization of cucumber plants by the biocontrol fungus *Clonostachys rosea*. **Biological Control**, Canadá, v.46, p.267-278, 2008.

EMBRAPA. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. - 2.ed. - Campinas: **Embrapa Territorial**, 2020.

FRA, FAO. Global Forest Resources Assessment 2020. **Key findings**. Roma, 2020.

FAO, UNEP. The State of the World's Forests 2020. **Forests, biodiversity and people**. Rome, 2020.

FAO, UNEP. El Eucalipto en la repoblacion forestal. **Forests, biodiversity and people**. Rome, 1981.723p.

FERRI, Mario Guimaraes. Fisiologia Vegetal. Vol. I e II. **São Paulo: EPU**, 1985.

FRANTZ, B C. **Biomassa e estoque de nutrientes em *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em área arenizada do bioma pampa - RS**. 2016. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Rio Grande do Sul, 2016.

GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; BAZANI, J. H.; HAKAMADA, R. E. Nutrição e adubação da cultura do eucalipto manejada no sistema de talhadia. In: PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. (Ed.). **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**, Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2014. p. 349-382

GONÇALVES, J. L. M; ALVARES, C. A; BEHLING, M; ALVES, J. M; GUSTAVO; PIZZI, T; ANGELI, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 411-419, set. 2014

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, 2013.

GONÇALVES JLM, ALVARES CA, GONÇALVES TD, MOREIRA RM, MENDES JCT, GAVA JL. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis* com uso de sistema de informação geográfica. **Scientia Forestalis**, 40:187-201, 2012.

GONÇALVES, J.L.M; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In.: GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. Nutrição e Fertilização Florestal. **Piracicaba: IPEF**, 2000. p. 1-58

- GONÇALVES, J.L.M. **Características do sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1994, 84p.
- HERNANDEZ, J. *et al.* Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, 258, 92-99, 2009.
- KABEYA, D.; SAKAI, S. The relative importance of carbohydrate and nitrogen for the resprouting ability of *Quercus crispula* seedlings. **Annals of Botany**, v.96, p.479-488, 2005.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York, 1995. 495 p.
- 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**, Amsterdam, v. 259, p. 1771-1785, 2010.
- OLIVEIRA NETO, S. N. **Biomassa, nutrientes e relações hídricas em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Em resposta á adubação e ao espaçamento**. Viçosa: UFV, 1996 131. (Dissertação de mestrado)
- QUEIROZ, T.B.; CAMPOE, O.C.; MONTES, C.R.; ALVARES, C.A.; CUARTAS, M.Z.; GUERRINI, I.A. Temperature thresholds for *Eucalyptus* genotypes growth across tropical and subtropical ranges in South America. **Forest Ecology and Management**, v. 472, n. 118248, p. 1-10, 2020.
- REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica IPEF**, v.11, n.30, p.9-22, 1997.
- 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: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.
- REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P. Importância do sistema radicular no crescimento inicial de brotos de *Eucalyptus spp*. **Revista Árvore**, v.10, p.112-125, 1986.
- RESQUIN, F.; NAVARRO-CERRILLO, R.M.; CARRASCO-LETELIER, L.; CASNATI, C.R.; BENTANCOR, L. Evaluation of the nutrient content in biomass of *Eucalyptus* species from short rotation plantations in Uruguay. **Biomass and Bioenergy**, v. 134, p. 105502, 2020.
- RIBEIRO, N.; SIOTE, A. A.; GUEDES, B. S.; STAISS, C. **Manual de silvicultura tropical**. Maputo: Universidade Eduardo Mondlane; FAO, 125 p, 2002.
- ROCHA, J.H.T.; DU TOIT, B.; GONÇALVES, J.L. DE M. Ca and Mg nutrition and its application in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 442, p. 63-78, 2019.
- ROCHA, S.M.G.; VIDAURRE, G.B.; PEZZOPANE, J.E.M.; ALMEIDA, M.N.F.; CARNEIRO, R.L.; CAMPOE, O.C.; SCOLFORO H.F.; ALVARES C. A.; XAVIER A. C.; FIGURA, M.A. Influence of climatic variations on production, biomass and density

of wood in *Eucalyptus* clones of different species. **Forest Ecology and Management**, v. 473, p. 118290, 2020.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N. Determinação do ponto de amostragem para a quantificação de macronutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 49-62, 2010.

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, jan./mar. 2011.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v.47, n.9, p.719-734,1933.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, P. C.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L.; TEIXEIRA, J. L. *Eucalyptus urophylla* root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecology and Management**, v.160, p.263-271, 2002.

WALTERS, J. R.; BELL, T. L.; READ, S. Intra-specific variation in carbohydrate reserves and sprouting ability in *Eucalyptus obliqua* seedlings. **Australian Journal of Botany**, v.53, p.195-203, 2005.

WANG, X.; FANG, J.; ZHU, B. Forest biomass and rootshoot allocation in northeast China. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 12, p. 4007-4020, 2008.

WINK, C.; LANGE, A.; ARAÚJO, K.Z.; DE ALMEIDA, A.P.S.; BEHLING, M.; WRUCK, F.J. Biomassa e nutrientes de eucalipto cultivado em sistema agrossilvipastoril. **Embrapa Agrossilvipastoril-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2018.

WITSCHORECK, R. **Recomendação de fertilizantes para *Eucalyptus saligna* Sm. Com base no balanço nutricional na região de Guaíba - RS**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

WITSCHORECK, R. **Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 17 anos de idade no município de cambará do sul-RS**. 2008. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

## CAPÍTULO 2

### EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES EM PLANTIOS DE EUCALIPTO SOB DIFERENTES MANEJOS DE RESÍDUOS FLORESTAIS EM SISTEMA DE ALTO FUSTE E TALHADIA

#### Resumo

O conteúdo de nutrientes na biomassa desempenha um papel crucial na disponibilidade de nutrientes para ciclos subsequentes da floresta, o que é influenciado pela seleção do sistema de colheita e sua intensidade. Os resíduos florestais deixados em campo pós-colheita da madeira têm potencial para serem aproveitados na produção de energia renovável. Além de sua valiosa contribuição nutricional, esses resíduos também desempenham um papel fundamental na preservação da qualidade do solo. Com esse estudo objetivou-se, estimar a biomassa e o conteúdo de nutrientes nela contidos, para avaliar as implicações nutricionais resultantes das diferentes intensidades de colheita em uma floresta de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade. O estudo foi conduzido em um local de alto fuste e talhadia, localizado no município de Entre Rios, BA. A avaliação dos nutrientes exportados durante a colheita florestal foi realizada considerando diversos aspectos: o estoque de nutrientes entre a planta e o solo (0-40 cm); os impactos da colheita na remoção de diferentes componentes da biomassa das árvores; o balanço nutricional dos sistemas propostos, tendo como cenários diferentes práticas de manutenção dos resíduos florestais; e o número de rotações conforme o sistema de colheita utilizado. Para isso simulou-se distintos cenários com diferentes intensidades de remoção dos compartimentos das árvores. Na elaboração desses cenários foi levado em consideração dados da biomassa total do povoamento e análise química de todos os compartimentos das árvores. Na intensificação da colheita o intervalo porcentual médio entre os nutrientes exportados passa de 38 a 73% no cenário com a remoção somente da madeira, para 74 a 100% nos cenários que levam a árvore inteira. Nas condições que o sistema de alto fuste está estabelecida, o nitrogênio, potássio e manganês pode emergir como o nutriente limitante nas próximas rotações, quando escolhido o cenário de remoção da árvore completa, incluindo o sistema radicular. Enquanto na talhadia a intensificação do sistema de colheita, com a retirada de mais compartimentos além da madeira, pode levar ao potencial limitante de nitrogênio, fósforo, potássio e manganês nos ciclos seguintes.

Palavras-chave: colheita florestal, silvicultura, disponibilidade de nutrientes.

## Abstract

The nutrient content in biomass plays a crucial role in nutrient availability for subsequent forest cycles, influenced by the selection of harvesting systems and their intensity. Forest residues left in the field after wood harvesting have the potential to be utilized in renewable energy production. In addition to their valuable nutritional contribution, these residues also play a fundamental role in preserving soil quality. This study aimed to estimate biomass and its nutrient content to assess the nutritional implications resulting from different harvesting intensities in a five-year-old *Eucalyptus urophylla* forest. The study was conducted in a high forest and coppice site located in Entre Rios, BA. Evaluation of nutrients exported during forest harvesting considered various aspects: nutrient stocks between plants and soil (0-40 cm); the impacts of harvesting on the removal of different biomass components from trees; the nutritional balance of proposed systems, considering different practices for maintaining forest residues; and the number of rotations according to the harvesting system used. Different scenarios with varying intensities of tree compartment removal were simulated. These scenarios considered total stand biomass data and chemical analysis of all tree compartments. With increased harvesting intensity, the average percentage range of exported nutrients increased from 38 to 73% in scenarios involving only wood removal to 74 to 100% in scenarios involving whole-tree removal. Under high forest conditions, nitrogen, potassium, and manganese may emerge as limiting nutrients in subsequent rotations when choosing the complete tree removal scenario, including the root system. Meanwhile, in coppice systems, intensifying the harvesting system by removing more compartments besides wood may potentially limit nitrogen, phosphorus, potassium, and manganese in subsequent cycles.

Keywords: forest harvesting, forestry, nutrients available.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O setor florestal global compreende aproximadamente 131 milhões de hectares de florestas plantadas para fins comerciais (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, 2020). O Brasil se destaca nesse cenário devido às suas condições climáticas e de solo altamente favoráveis, resultando em notável produtividade, especialmente na cultura de espécies exóticas como o eucalipto, com ciclos silviculturais de aproximadamente 6 a 7 anos. Isso contrasta com países com tradição florestal consolidada, como Suécia, Canadá e Austrália, onde os ciclos de cultivo não são inferiores a 60 anos (Josino, 2018).

O eucalipto é uma espécie que produz grande quantidade de biomassa, a análise da biomassa produzida pelo eucalipto e a avaliação dos nutrientes nela contidos, juntamente com a estimativa dos nutrientes retirados durante a colheita, são

aspectos cruciais para compreender a dinâmica dos nutrientes nos ecossistemas florestais. Essa compreensão é fundamental para implementar práticas de manejo adequadas, visando otimizar a utilização dos recursos naturais da floresta, incluindo a ciclagem de nutrientes (Vieira, 2012).

A colheita da madeira utiliza técnicas e padrões pré-estabelecidos, sendo as etapas mais importantes: corte, baldeio, transporte e descarregamento. No campo, as empresas do setor empregam diversos sistemas para a colheita de madeira, incluindo o sistema de toras curtas, toras longas, árvore inteira e cavacos de madeira. Cada um desses sistemas influencia de maneira distinta os compartimentos das árvores (Santos, 2001; Machado, 2002; Silva, 2003).

Além do interesse tradicional na madeira, as raízes também têm ganhado destaque como um recurso de interesse para a indústria. O sistema radicular do eucalipto, em particular, tem despertado atenção no mercado de energia devido à sua riqueza em carbono e alta capacidade energética quando queimado. Esse fato tem suscitado interesse no uso e na remoção das raízes das áreas de plantio, especialmente após o período de colheita. (Couto, 2019). Segundo a U.S. Energy Information Administration (2023), o poder calorífico superior (PCS) do petróleo pode variar dependendo de sua composição específica, mas em média é de aproximadamente 42 a 44 megajoules por litro (MJ/L). Considerando que um galão de petróleo equivale aproximadamente a 3,785 litros e que o poder calorífico superior da biomassa de toco e raízes de eucalipto é de cerca de 16900 MJ/Mg (Costa *et al.*, 2020), podemos inferir que a cada tonelada dessa biomassa, é gerada energia equivalente a aproximadamente 101 galões de petróleo.

A relação entre a colheita de biomassa e a exportação de nutrientes é direta e significativa. A intensidade da colheita da biomassa está diretamente relacionada à remoção de nutrientes do local (Ludvichak, 2016). Dada a escassez de nutrientes nas áreas destinadas ao cultivo de eucalipto e os elevados custos associados ao uso de fertilizantes, este estudo se justifica pela sua relevância na gestão dos resíduos e na manutenção dos nutrientes nos sistemas florestais. Isso resulta em melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Rocha, 2014).

Com o propósito de analisar a dinâmica da exportação de nutrientes em relação à intensidade da colheita, este estudo visa quantificar a distribuição de nutrientes na biomassa total de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos pós-plantio e pós-colheita. Além disso, busca-se estimar a exportação de nutrientes em seis cenários distintos

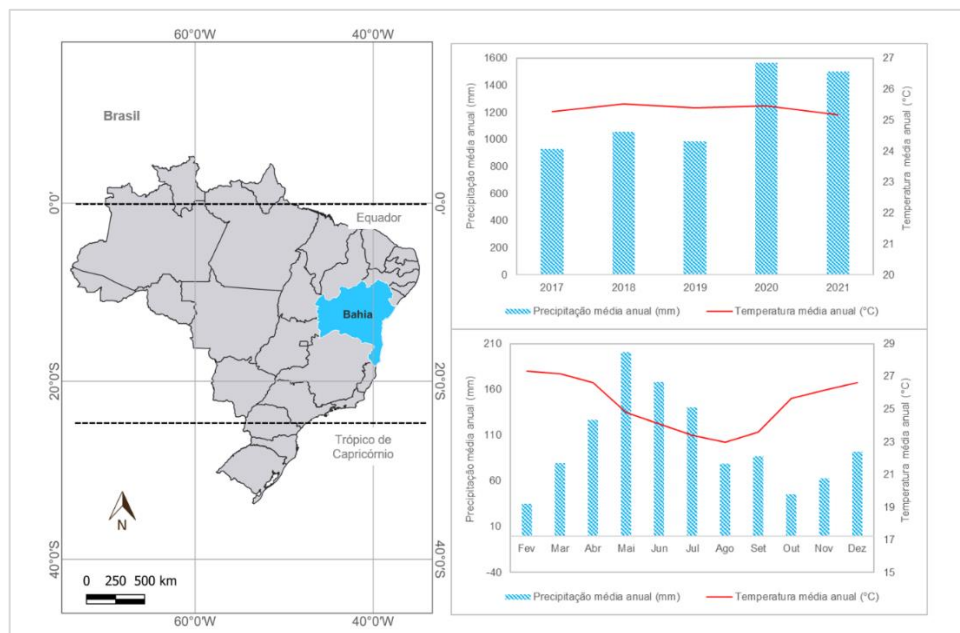
de manejo de resíduos florestais na região do litoral norte da Bahia, onde são empregadas práticas de manejo de alto fuste e talhadia.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Área de estudo

Localizado no litoral norte do estado da Bahia o presente estudo fica no município de Entre Rios, posicionado pelas coordenadas 11°51'08"W de latitude sul e 38°06'52"S de longitude oeste. Região que possui uma variação térmica média anual de 25 e 26°C. Área que segundo a classificação de Köppen é tropical úmido (Af) com inverno chuvoso e verão seco, e a precipitação pluviométrica média de 1200 mm/ano, sendo que a maior parte das chuvas ocorrem entre março e outubro. A umidade relativa do ar é alta, variando entre 78% e 88%. O relevo regional é leve-ondulado (Alvares *et al.*, 2013).

**Figura 1 - Mapa de localização do estado da Bahia, com climograma anual e mensal do município Entre Rios, BA**



Os solos da região em estudo foram formados principalmente de arenitos com intercalações de folhelhos e conglomerados. Predominam nessa região os Argissolo Amarelo de textura arenosa/média distrocoeso, com baixos teores de fósforo disponível, bases trocáveis e matéria orgânica (Gonçalves, et a., 2014). Mesmo

apresentando a mesma classe e subordem de solo, cada tratamento apresentou particularidades em seus sítios. O tratamento onde se encontra a reforma (A5), o solo possui uma textura muito argilosa, com caráter coeso mais acentuado e com maior disponibilidade de nutrientes que o local sob talhadia (T5), que está em uma condição de textura médio/argilosa (Tabela 1).

**Tabela 1 - Atributos químico e físicos do solo na área experimental**

Tratamento	Profundidade (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	M.O g dm <sup>-3</sup>	pH	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						%	
								Al	Ca	Mg	K	Al+H	SB	V	m
A5	0-20	338	179	141	342	23	4,9	0,69	25	6,5	1,60	34	33	49	2,2
	20-40	364	122	139	375	18	4,8	1,81	15	4,5	1,29	37	21	36	8,1
T5	0-20	445	238	92	225	17	4,9	0,92	21	5,0	0,65	32	27	45	3,6
	20-40	415	180	114	292	16	4,9	1,87	14	4,4	0,50	33	19	36	12,1
Média	0-20	392	209	117	283	20	4,9	0,81	23	5,8	1,13	33	30	47	2,9
	20-40	389	151	127	333	17	4,9	1,84	15	4,4	0,90	35	20	36	10,1
Média Geral	0-40	390	180	122	308	19	4,9	1,32	19	5,1	1,01	34	25	41	6,5
Desvio Padrão	0-40	42	29	20	57	2,8	0,0	0,52	4,4	0,8	0,45	1,8	5,5	5,9	3,9
CV%	0-40	11%	16%	17%	18%	15%	1%	40%	24%	17%	45%	5%	22%	14%	60%

Onde: matéria orgânica (MO), pH (água); N pelo método kjeldahl; P e K extraíveis por Mehlich<sup>-1</sup>; Ca, Mg e Al trocáveis por KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. H+Al = acidez potencial, SB = soma de bases, V = saturação por bases, m = saturação por alumínio, CV = Coeficiente de variação. Tratamentos: A5 = Alto fuste aos 5 anos pós-plantio, T5 = Talhadia aos 5 anos pós-colheita.

## 2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento consiste em oito parcelas experimentais, cada uma contendo 36 plantas distribuídas em uma área de 9 m<sup>2</sup> por planta. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com dois tratamentos e quatro repetições, totalizando 144 plantas por tratamento.

Os tratamentos implementados consideraram diferentes práticas de manejo aos cinco anos pós-plantio no alto fuste (A5) e cinco anos pós-colheita na talhadia (T5). A escolha da espécie *Eucalyptus urophylla* para o estudo decorreu de sua adaptabilidade e relevância econômica na região investigada.

A fertilização na área experimental foi realizada por meio de calagem e adubação de base durante a subsolagem, a uma profundidade de 20 a 30 cm, além de adubação de cobertura e manutenção de forma mecanizada em filete contínuo. As formulações, quantidades e períodos de aplicação estão descritos na Tabela 2 abaixo.

**Tabela 2 – Fertilização aplicada na área experimental**

Tratamentos	Operação	Período de Aplicação	Formulação do Adubo	Quantidade (Kg)
A5	Calagem	5 meses	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de base	Subsolagem	NPK 06-30-06 + Micro	200
	Adubação de cobertura	3 meses	NPK 10-00-30 + Micro	200
	Adubação de Manutenção	12 meses	NPK 10-00-30 + Micro	300
T5	Calagem	4 meses	Calcário Dolomítico	1500
	Adubação de cobertura	2 meses	NPK 10-08-22 + Micro	600

O manejo adotado na prática da talhadia envolveu a realização da desbrota precoce aproximadamente seis meses após a colheita, permitindo apenas um broto por cepa. No caso de falhas na brotação, optou-se por manter dois brotos, a fim de compensar eventuais problemas no plantio.

### 2.2.3 Crescimento das árvores

O crescimento do povoamento foi realizado com a medição dos 288 indivíduos, através da mensuração da altura total (m) e da circunferência à altura do peito (CAP - 1,30 m) com finalidade de quantificar o crescimento das árvores em cada tratamento. A coletas dessas informações utilizam os seguintes instrumentos de medição: fita métrica para medições da circunferência (CAP) e o clinômetro florestal para calcular a altura das árvores. As informações geradas foram tabuladas e processadas em arquivo excel. Os dados de CAP foram distribuídos em dez classes diamétricas, para representar da amplitude em limites inferior e superior da classe. Sendo essas árvores abatidas para determinação da biomassa dos compartimentos aéreos.

### 2.2.4 Análise de solo

Os dados sobre as propriedades químicas e físicas do solo foram obtidos dividindo-se cada parcela em três parcelas e retirando-se uma amostra composta por parcela. Cada amostra composta consiste em 10 amostras simples. Amostras simples foram retiradas com tratado em 10 pontos nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, selecionadas aleatoriamente em cada parcela com três repetições. Os solos das parcelas estudadas foram classificados como Argissolo Amarelo distrófico, os nutrientes avaliados foram nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre,

boro, cobre, ferro, manganês e zinco, conforme podemos observar nos valores médios das propriedades físico-químicas do solo descritos na tabela 1.

### **2.2.5 Biomassa aérea e radicular**

As parcelas experimentais foram segmentadas em dez classes diamétricas. Entre as classes diamétricas identificadas, as três classes centrais (Classes 5, 6 e 7) foram selecionadas em cada tratamento para serem separadas por compartimento: galhos, folhas, casca e madeira, sendo pesadas em campo. Ainda em campo, amostras foram coletadas em sacos de papel, pesadas e transportadas para o laboratório. Onde foram submetidas à secagem em estufa com circulação e refluxo de ar a 65°C, até alcançar uma massa constante. Após a secagem, a amostra foi novamente pesada para obtenção do peso seco para estimar o peso seco total de cada compartimento e a massa seca total das árvores. Para determinação do teor médio dos nutrientes total por compartimento, as amostras foram processadas em um moedor tipo Willey e analisadas em laboratório.

A biomassa radicular foi avaliada por meio da amostragem do toco e das raízes grossas (com diâmetro superior a 2 mm). A coleta da biomassa de raízes grossas foi realizada em quatro árvores por tratamento, utilizando escavação manual e uma talha manual com capacidade para 8 toneladas para extrair o toco e as raízes, que foram posteriormente limpos e pesados no campo. Amostras desse material foram levadas para o laboratório e colocadas em estufas a 65°C por 72 horas para determinar a massa seca da amostra e, conseqüentemente, o peso total seco. As informações sobre a biomassa seca das raízes grossas foram extrapoladas para Mg ha<sup>-1</sup> para obtenção dos dados da biomassa subterrânea. As amostras, após secas e pesadas, foram moídas em um moinho de lâminas *Willey* para análise química posterior, seguindo os métodos descritos por Tedesco *et al.* (1995) e Miyazawa *et al.* (1999).

### **2.2.6 Exportação de nutrientes pela colheita**

Para conhecer o impacto dos diferentes sistemas de colheita na exportação de nutrientes, foram simulados cenários através da remoção dos compartimentos das árvores em uma planilha excel, conforme a intensidade da colheita. Os cenários

considerados nesse trabalho seguem as informações de exportação dos resíduos florestais conforme a tabela abaixo.

**Tabela 3 – Cenário simulando a exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade, sob manejo de reforma e talhadia, no município de Entre Rios, Bahia**

Cenário	Sigla	Compartimento Exportado
Cenário 1	C1-M	Madeira
Cenário 2	C2-MP	madeira + ponteira*
Cenário 3	C3-MPT	madeira + ponteira* + toco com raízes grossas
Cenário 4	C4-MPCa	madeira + ponteira* + casca
Cenário 5	C5-MPCaCo	madeira + ponteira* + casca + copa
Cenário 6	C6-MPCaCoT	madeira + ponteira* + casca + copa + toco com raízes grossas

(\*) Ponteira: Parte do fuste com diâmetro abaixo do valor comercial (<4 cm)

A partir dos dados obtidos da biomassa e o acúmulo de nutrientes do eucalipto, juntamente com o estoque de nutrientes no solo, pode-se estimar as implicações nutricionais decorrentes da intensidade de colheita aplicada. Com esse propósito, foram considerados diversos fatores, incluindo a exportação de nutrientes pela colheita dos diferentes compartimentos da biomassa, a variação na remoção de nutrientes em cada cenário em comparação com o cenário de menor impacto (C1-M), o balanço de nutrientes com a entrada e saída dos nutrientes do sítio e o número de rotações conforme a intensidade de colheita empregada.

Para os seis cenários, foram realizados cálculos do número potencial de rotações de cultivo (NPR), para o *Eucalyptus urophylla* aos 5 anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia, considerando a intensidade de colheita (Tabela 3). As fórmulas foram adaptadas da metodologia de número potencial de cortes proposta por Barros *et al.* O NPR foi calculado conforme a seguinte fórmula:

$$\text{NPR} = \frac{\text{kg de nutrientes que permanecem no sítio} - \text{saldo de nutrientes}}{\text{kg de nutrientes removidos do sítio} - \text{balanço de nutrientes}} \quad (\text{Eq.1})$$

### 2.2.7 Análise dos dados

A análise estatística dos dados da análise químico-física do solo, os componentes da biomassa, teor e conteúdo de nutriente e de exportação e manutenção dos resíduos, foram submetidas a estatística descritiva e em seguida

passaram pelo teste de normalidade e homogeneidade dos dados. Também foi realizada análise de variância (ANOVA) para diagnóstico de efeito significativo, no qual foi adotado o delineamento inteiramente casualizado. As unidades amostrais foram as árvores selecionadas, e as médias quando necessário foram discriminadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do programa estatístico R<sup>®</sup> (R Development Core Team, 2020).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Estoque de Nutrientes

O plantio em alto fuste apresentou uma média de 22,3 m de altura, 11 cm de diâmetro, 188 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, um IMA de 38 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma densidade de 0,45 g cm<sup>-3</sup>. Enquanto a talhadia obteve a média de 23,6 m de altura, 12 cm de diâmetro, 216 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, um IMA de 45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma densidade também de 0,45 g cm<sup>-3</sup>. A biomassa total das árvores de eucalipto alcançou 153 Mg ha<sup>-1</sup> na talhadia e 119 Mg ha<sup>-1</sup> no alto fuste, sem diferença significativa entre os diferentes métodos de manejo. A distribuição dos compartimentos seguiu a ordem convencional de acumulação, indo do menor para o maior: folhas, galhos, cascas, raízes grossas e lenho, padrão frequentemente observado em estudos anteriores, como exemplificado por Kulmann *et al.* (2022).

O acúmulo dos nutrientes na biomassa foi superior na talhadia para N e P, onde os demais elementos não obtiveram diferença significativa entre os manejos. A sequência de acúmulo de elementos na reforma foi a seguinte: N > Ca > K > Mg > S > P. Ocorrendo uma inversão de ordem na talhadia entre o Ca e o K: N > K > Ca > Mg > S > P. Silva (2013) encontrou a mesma inversão, essa diferença foi justificada pelo baixo teor de cálcio no solo da área experimental e um período seco prolongado, que precedeu a taxa de transpiração e o fluxo de massa.

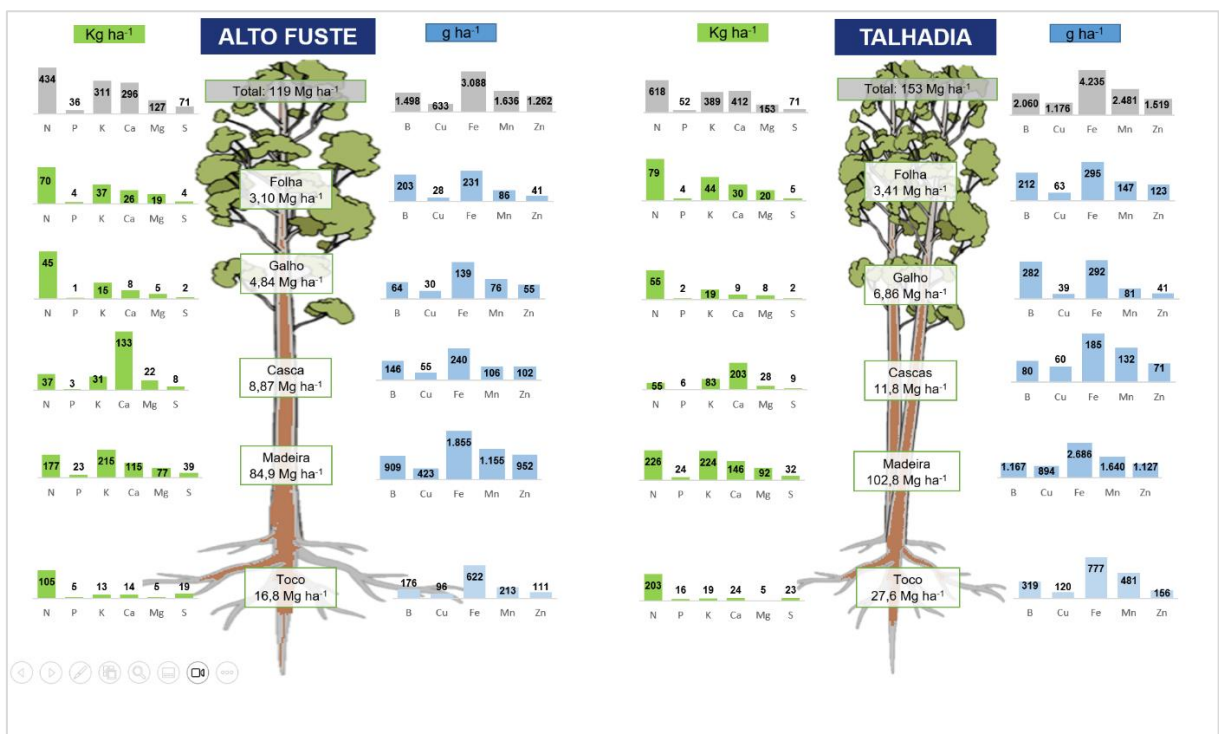
O estoque de nutrientes é obtido pelo produto da concentração do nutriente na planta e a produção de biomassa (Moura, 2006). Por esse motivo, comparado ao teor dos nutrientes, que possui maior concentração nas folhas, o estoque desses elementos na biomassa tem menor acúmulo nas folhas. Sendo a madeira o componente que representa o maior estoque de nutrientes nas árvores, resultado da

maior produção de biomassa que as folhas. Exceto para o Ca que mostrou maior acúmulo na casca. Esse comportamento do cálcio, deve-se pela baixa mobilidade que o elemento possui no floema das plantas, e por ser um componente estrutural, fazendo parte da lamela média da membrana celular. (Ferri, 1985 e Brun, 2004, Franz, 2016).

O estoque para os micronutrientes na biomassa do maior para o menor nutriente acumulado segue a seguinte ordem nos dois manejos: Fe > Mn > B > Zn > Cu. Sendo a talhadia o manejo que apresentou maior acúmulo para todos os elementos, mesmo não se diferenciando dos valores da reforma.

O ferro é o micronutriente de maior acúmulo na biomassa das árvores em todas os manejos. Resultado esperado, considerando que este nutriente é o quarto elemento e o segundo metal mais abundante no solo (Zinder *et al.*, 1986).

**Figura 2 – Estoque de nutrientes na biomassa de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios, Bahia**



Segundo Oliveira Neto (1996), a absorção e distribuição de nutrientes pelas diferentes partes das plantas são influenciadas por uma série de fatores, incluindo espécie, densidade de plantio, qualidade do solo e idade do povoamento. Esses fatores explicam as pequenas diferenças entre os tratamentos, mesmo quando se trata do mesmo clone, com espaçamento idêntico (9 m<sup>2</sup>), localizados na mesma zona

climática e com a mesma idade. O manejo de plantio e as características do solo apresentam suas particularidades entre talhões distintos.

Os resíduos florestais, como folhas, galhos, cascas e raízes, contêm em média entre 40% e 44% dos nutrientes presentes na floresta. Os nutrientes que apresentam maior proporção entre os diferentes compartimentos são o cálcio na casca (45% a 49%), o nitrogênio nos galhos (9% a 10%), nas folhas (13% a 16%) e nas raízes (24% a 33%). Além do nitrogênio, as raízes também contribuem significativamente com o enxofre (26% a 32%). Destaca-se a folha como uma importante fonte de nutrientes, devido à sua alta concentração e rápida decomposição em comparação com os outros compartimentos.

O conhecimento do estoque de nutrientes nos compartimentos das árvores é uma ferramenta importante de informação do estado nutricional na floresta manejada, pensando na qualidade do sítio para rotações seguintes. Quando há um manejo intensivo que envolve colheita seguida por sucessivas rotações com materiais de alta produtividade, isso inevitavelmente resulta em um aumento na exportação de nutrientes do sítio (Viera *et al.*, 2011).

### **2.3.2 Manejo de resíduos**

Os compartimentos das árvores são relevantes na nutrição dos povoamentos florestais, principalmente em sucessivas rotações. Permitindo compreender o impacto do manejo intensivo da colheita na qualidade do sítio, indicando o manejo de maior conveniência do ponto de vista nutricional (Schumacher & Poggiani, 1993).

O sistema de colheita que transporta a árvore inteira acima do solo (C5-MPCaCo), teria a porcentagem de remoção para o manejo de alto fuste de 96% do K e Mg, 95% do Ca, 91% do Zn, 88% do B, 87% do Mn, 86% do P, 85% do Cu, 80% do Fe, 76% do N e 74% do S. Na talhadia a exportação seria de 97% do Mg, 95% do K, 94% do Ca, 90% do Cu e Zn, 85% do B, 82% do Fe, 81% do Mn, 69% do P, 68% do S e 67% do N.

O cenário 4 (C4-MPCa) propõe a colheita da madeira com a casca, utilizando a madeira como matéria prima na indústria e a casca como fonte energética. A intensidade de colheita nesse cenário promove a extração de nutrientes a uma porcentagem no alto fuste de 84% do Ca e Zn, 79% do K, 78% do Mg, 77% do Mn, 76% do Cu, 72% do P, 70% do B, 68% do Fe, 65% do S, 49% do N. Na talhadia a

retirada de nutrientes teria o percentual de 85% do Ca, 82% do Zn, 81% do Cu, 79% do K, 78% do Mg, 72% do Mn, 70% do Fe, 67% do B, 58% do S, 57% do P e 46% do N.

O cenário 3 (C3-MPT) seria promovido pela retirada da madeira e da raiz. Além do aproveitamento do fuste, esse cenário traria o sistema de destoca com a retirada dos tocos para produção de biomassa para energia. Movendo do sistema a porcentagem no alto fuste de 84% do Mn e Zn, 82% do Cu, 80% do S e Fe, 78% do P, 73% do K, 72% do B, 65% do N, 64% do Mg e 44% do Ca. Enquanto na talhadia seria de 86% do Cu e Mn, 84% do Zn, 82% do Fe, 77% do S, 76% do P, 72% do B, 69% do N, 64% do Mg, 63% do K, 41% do Ca.

Os cenários 1 (C1-M) e 2 (C2-MP) com a exportação somente da madeira (97% e 100%), obteve uma remoção dos nutrientes ocorrendo superior a 70% para Mn e Zn; superior a 60% para K, Cu, P, Mg, B e Fe; superior a 50% para S; superior a 40% para N; 30% para Ca, para o manejo de alto fuste. Para talhadia ocorreu acima de 70% para Cu e Zn; acima de 60% para Mn, Fe e Mg; acima de 50% para P e B; acima de 40% P e S; 30% N e Ca.

**Tabela 4 - Cenários de exportação dos macronutrientes contido na biomassa do *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios, Bahia**

Manejo	Nutriente	C1-M	C2-MP	C3-MPT	C4-MPCa	C5-MPCaCo	C6-MPCaCoT
		Kg ha <sup>-1</sup>					
Alto fuste	N	172	177	283	215	329	434
	P	22	23	28	26	31	36
	K	209	215	228	246	298	311
	Ca	112	115	129	248	282	296
	Mg	75	77	82	99	123	127
	S	37	39	57	47	53	71
	B	0,88	0,91	1,09	1,06	1,32	1,50
	Cu	0,41	0,42	0,52	0,48	0,54	0,63
	Fe	1,80	1,86	2,48	2,10	2,47	3,09
	Mn	1,12	1,15	1,37	1,26	1,42	1,64
	Zn	0,92	0,95	1,06	1,05	1,15	1,26
Talhadia	N	220	226	429	282	416	618
	P	23	24	39	29	36	52
	K	217	224	243	306	369	389
	Ca	141	146	170	349	388	412
	Mg	89	92	97	120	148	153
	S	31	32	55	42	49	71
	B	1,13	1,17	1,49	1,38	1,74	2,06
	Cu	0,87	0,89	1,01	0,96	1,06	1,18
	Fe	2,61	2,69	3,46	2,98	3,46	4,24
	Mn	1,59	1,64	2,12	1,79	2,00	2,48
	Zn	1,09	1,13	1,28	1,25	1,36	1,52

Dados evidenciam que quanto maior a intensidade da remoção dos compartimentos da floresta, maior será a exportação de nutrientes, o que implica em maiores investimentos em fertilização para garantir a sustentabilidade da produção de madeira.

O C1 (C1-M) é o cenário de maior conveniência nutricional, apresentando maior manutenção dos resíduos na área. Ao compararmos esse cenário com os outros, podemos avaliar o impacto na fertilização de cada nutriente e identificar os elementos mais afetados pela intensificação dos cenários.

Comparado ao cenário C1-M, no cenário C3-MPT, o nutriente principal exportado será o nitrogênio, com uma saída de mais de 64% no alto fuste e 96% na talhadia. No cenário C4-MPCa, o elemento com a maior exportação foi o cálcio, com um aumento de 123% no alto fuste e 147% na talhadia (Tabela 5), em relação à retirada apenas da madeira.

O cenário C5-MPCaCo apresentou uma redução mais significativa do cálcio, seguido pelo nitrogênio, com reduções de 175% e 89% no alto fuste, e 147% e 89% na talhadia, respectivamente, em comparação com o C1-M. Já o cenário C6-MPCaCoT terá uma maior exportação, principalmente de cálcio, nitrogênio e enxofre no alto fuste (166%, 152% e 91%, respectivamente), e também de fósforo na talhadia (192%, 182%, 129% e 126%). Por outro lado, o cenário C2-MP apresentou uma redução de apenas 3% para todos os nutrientes, em ambos os manejos.

A redução de nutrientes do C1-M para o C2-MP foi a de menor impacto entre os cenários, especialmente considerando que empresas florestais possam realizar uma remoção parcial dos resíduos (apenas 3% da madeira), através da retirada da ponteira do fuste pelas comunidades locais. Essa ação não apenas proporciona uma fonte de renda para as comunidades ao redor, mas também melhora a distribuição dos resíduos no talhão, aumentando a eficiência das operações silviculturais, como a distribuição mais equilibrada dos insumos, uma menor incidência de pragas e doenças, e uma maior uniformidade no crescimento inicial do povoamento.

**Tabela 5 - Diferença da quantidade dos nutrientes exportados com a intensificação dos cenários proposto em relação ao cenário 1 (remoção da madeira), em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios, Bahia**

Manejo	Nutriente	C1/C2		C1/C3		C1/C4		C1/C5		C1/C6	
		Kg ha <sup>-1</sup>	%	Kg ha <sup>-1</sup>	%	Kg ha <sup>-1</sup>	%	Kg ha <sup>-1</sup>	%	Kg ha <sup>-1</sup>	%
Alto fuste	N	5,3	3%	110,7	64%	42,5	25%	156,9	91%	262,3	152%
	P	0,7	3%	5,6	25%	3,5	15%	8,8	39%	13,7	61%
	K	6,5	3%	19,7	9%	37,6	18%	89,4	43%	102,6	49%
	Ca	3,4	3%	17,4	16%	136,8	123%	170,6	153%	184,6	166%
	Mg	2,3	3%	7,0	9%	24,3	33%	47,9	64%	52,6	70%
	S	1,2	3%	19,7	53%	9,1	24%	15,4	41%	33,9	91%
	B	0,03	3%	0,20	23%	0,17	20%	0,44	50%	0,62	70%
	Cu	0,01	3%	0,11	27%	0,07	16%	0,13	31%	0,22	54%
	Fe	0,06	3%	0,68	38%	0,30	16%	0,67	37%	1,29	72%
	Mn	0,03	3%	0,25	22%	0,14	13%	0,30	27%	0,52	46%
	Zn	0,03	3%	0,14	15%	0,13	14%	0,23	25%	0,34	37%
Talhadia	N	6,8	3%	209,7	96%	62,0	28%	196,1	89%	398,9	182%
	P	0,7	3%	16,7	73%	6,6	29%	12,9	56%	28,8	126%
	K	6,7	3%	26,0	12%	89,3	41%	152,3	70%	171,6	79%
	Ca	4,4	3%	28,5	20%	207,5	147%	246,9	175%	271,0	192%
	Mg	2,8	3%	7,9	9%	30,4	34%	58,6	66%	63,8	71%
	S	1,0	3%	23,6	76%	10,4	33%	17,6	56%	40,3	129%
	B	0,04	3%	0,35	31%	0,25	22%	0,61	54%	0,93	82%
	Cu	0,03	3%	0,15	17%	0,09	10%	0,19	22%	0,31	36%
	Fe	0,08	3%	0,86	33%	0,38	14%	0,85	33%	1,63	63%
	Mn	0,05	3%	0,53	33%	0,20	12%	0,41	26%	0,89	56%
	Zn	0,03	3%	0,19	17%	0,16	14%	0,27	25%	0,43	39%

Quanto à reposição dos nutrientes exportados, esta pode ser realizada por meio da aplicação de fertilizantes químicos. No entanto, devido ao elevado custo desses insumos e ao fato de que a maioria dos fertilizantes se concentra nos elementos N, P e K, a viabilidade do seu uso é questionada tanto do ponto de vista econômico quanto ecológico. Dificilmente, essa reposição ocorre em níveis equivalentes à manutenção da biomassa no campo. (Witschoreck, 2008).

Ao compreender o efeito da colheita conforme sua intensidade, foi possível avaliar o impacto nutricional em cada sítio decorrente da redução dos resíduos. Através dos dados sobre os nutrientes exportados e a adubação empregada, é viável obter um balanço nutricional de cada sítio. Essas informações atualizadas dos locais manejados auxiliam nas decisões relacionadas à adubação para o próximo ciclo, de acordo com o cenário escolhido.

O balanço nutricional do povoamento em estudo revelou que, mesmo no cenário com maior manutenção de resíduos, a sustentabilidade nutricional não é

garantida para alguns nutrientes. Isso ocorre devido à maior saída de nutrientes em relação às entradas, resultante do baixo investimento em fertilizantes para alguns elementos, como no caso do N, K e Mn no sistema de alto fuste (Tabela 6) e N, P, K e Mn na talhadia (Tabela 7).

**Tabela 6 - Balanço de nutrientes na área experimental de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade sob manejo de alto fuste no município de Entre Rios**

Alto Fuste										
Componente	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
	Mg ha <sup>-1</sup>	Kg ha <sup>-1</sup>								
<b>Estoque de Nutriente antes Colheita</b>										
Estoque no solo (0-40 cm)		311	53	226	1603	267	2,25	5,27	3	1,67
Estoque Biomassa										
Madeira	85	177	23	215	115	77	0,91	0,42	1,15	0,95
Casca	9	37	3	31	133	22	0,15	0,06	0,11	0,10
Copa	8	114	5	52	34	24	0,27	0,06	0,16	0,10
Raízes	17	105	5	13	14	5	0,18	0,10	0,21	0,11
Total Biomassa	119	434	36	311	296	127	1,50	0,63	1,64	1,26
<b>TOTAL</b>		<b>745</b>	<b>89</b>	<b>537</b>	<b>1899</b>	<b>394</b>	<b>3,75</b>	<b>5,90</b>	<b>4,64</b>	<b>2,93</b>
<b>Saída pela colheita</b>										
C1-M	82	172	22	209	112	75	0,88	0,41	1,12	0,92
C2-MP	85	177	23	215	115	77	0,91	0,42	1,15	0,95
C3-MPT	102	283	28	228	129	82	1,09	0,52	1,37	1,06
C4-MPCa	94	215	26	246	248	99	1,06	0,48	1,26	1,05
C5-MPCaCo	102	329	31	298	282	123	1,32	0,54	1,42	1,15
C6-MPCaCoT	119	434	36	311	296	127	1,50	0,63	1,64	1,26
<b>Entradas</b>										
Fertilização		62	26	133	378	133	3,50	1,00	1,00	1,00
<b>Balanço de nutrientes</b>										
C1-M		-110	4	-76	266	58	2,62	0,59	-0,12	0,08
C2-MP		-115	3	-82	263	56	2,59	0,58	-0,15	0,05
C3-MPT		-221	-2	-95	249	51	2,41	0,48	-0,37	-0,06
C4-MPCa		-153	0	-113	130	34	2,44	0,52	-0,26	-0,05
C5-MPCaCo		-267	-5	-165	96	10	2,18	0,46	-0,42	-0,15
C6-MPCaCoT		-372	10	-178	82	6	2,00	0,37	-0,64	-0,26
<b>Saldo de nutrientes</b>										
C1-M		635	93	462	2166	453	6,37	6,49	4,52	3,01
C2-MP		630	92	455	2162	450	6,34	6,48	4,48	2,98
C3-MPT		525	87	442	2148	446	6,16	6,38	4,27	2,87
C4-MPCa		593	89	424	2029	428	6,19	6,42	4,38	2,88
C5-MPCaCo		478	84	372	1995	405	5,93	6,37	4,21	2,78
C6-MPCaCoT		373	79	359	1981	400	5,75	6,27	4,00	2,67

**Tabela 7 - Balanço de nutrientes na área experimental de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade sob manejo de talhadia no município de Entre Rios, BA**

Componente	Tahadia									
	Biomassa	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
	Mg ha <sup>-1</sup>	Kg ha <sup>-1</sup>								
<b>Estoque de Nutriente antes Colheita</b>										
Estoque no solo (0-40 cm)		250	33	90	1419	228	1,73	3,00	1,80	1,00
Estoque Biomassa										
Madeira	103	226	24	224	146	92	1,17	0,89	1,64	1,13
Casca	12	55	6	83	203	28	0,21	0,06	0,15	0,12
Copa	10	134	6	63	39	28	0,36	0,10	0,21	0,11
Raízes	28	203	16	19	24	5	0,32	0,12	0,48	0,16
Total Biomassa	153	618	52	389	412	153	2,06	1,18	2,48	1,52
<b>TOTAL</b>		<b>868</b>	<b>85</b>	<b>479</b>	<b>1831</b>	<b>381</b>	<b>3,79</b>	<b>4,18</b>	<b>4,28</b>	<b>2,52</b>
<b>Saída pela colheita</b>										
C1-M	82	220	23	217	141	89	1,13	0,87	1,59	1,09
C2-MP	85	226	24	224	146	92	1,17	0,89	1,64	1,13
C3-MPT	102	429	39	243	170	97	1,49	1,01	2,12	1,28
C4-MPCa	94	282	29	306	349	120	1,38	0,96	1,79	1,25
C5-MPCaCo	102	416	36	369	388	148	1,74	1,06	2,00	1,36
C6-MPCaCoT	119	618	52	389	412	153	2,06	1,18	2,48	1,52
<b>Entradas</b>										
Fertilização		60	21	108	378	133	3,00	3,00	0,00	3,00
<b>Balanço de nutrientes</b>										
C1-M		-160	-2	-109	237	44	1,87	2,13	-1,59	1,91
C2-MP		-166	-3	-116	232	41	1,83	2,11	-1,64	1,87
C3-MPT		-369	-18	-135	208	36	1,51	1,99	-2,12	1,72
C4-MPCa		-222	-8	-198	29	13	1,62	2,04	-1,79	1,75
C5-MPCaCo		-356	-15	-261	-10	-15	1,26	1,94	-2,00	1,64
C6-MPCaCoT		-558	-31	-281	-34	-20	0,94	1,82	-2,48	1,48
<b>Saldo de nutrientes</b>										
C1-M		709	83	370	2068	425	5,66	6,31	2,69	4,43
C2-MP		702	82	363	2064	422	5,62	6,28	2,64	4,39
C3-MPT		499	66	344	2040	417	5,30	6,16	2,16	4,24
C4-MPCa		647	76	280	1861	394	5,41	6,22	2,49	4,27
C5-MPCaCo		513	70	217	1821	366	5,05	6,12	2,28	4,16
C6-MPCaCoT		310	54	198	1797	361	4,73	6,00	1,80	4,00

Na primeira rotação (R1 - alto fuste), foi observado um balanço positivo para Ca, Mg, B e Cu em todos os cenários. O fósforo alcançou um balanço positivo nos cenários C1-M, C2-MP e C4-MPCa, enquanto o zinco foi positivo nos cenários C1-M e C2-MP. Na segunda rotação (R2 - talhadia), o balanço positivo foi apenas para B, Cu e Zn em todos os cenários. O cálcio e o magnésio obtiveram um balanço positivo

somente nos cenários C1-M, C2-MP, C3-MPT e C4-MPCa. Observou-se que a talhadia apresentou um balanço menor que o alto fuste na maioria dos casos, devido ao seu maior acúmulo de biomassa.

Apesar do balanço negativo de N, K e Mn no alto fuste e do N, P, K e Mn na talhadia em todos os cenários, o saldo ainda continua positivo para os próximos ciclos. Para o manejo aplicado no C1-M (mantendo-se a ponteira, casca, copa e raiz), o estoque de N e K nos primeiros 40 cm do solo e da biomassa das árvores seria suficiente para mais 6 rotações de cultivo, nas condições do solo sob sistema de alto fuste (Tabela 8). Enquanto o N, K e Mn seria de 4, 3 e 2 rotações de cultivo no ambiente que se encontra a talhadia. No mesmo cenário o Mn no alto fuste e o P na talhadia, teriam seus estoques suficientes para mais de 10 rotações de cultivo.

O balanço de nutrientes dos povoamentos foi negativo para N, K e Mn mesmo com todos os resíduos mantidos nos sistemas. Ocorrendo redução dos estoques naturais desses elementos no solo, principalmente com a intensificação da colheita. Sendo necessário aumentar as doses de fertilizantes com a finalidade de manter a sustentabilidade da produção nos sistemas estudados.

**Tabela 8 - Número potencial de rotações de cultivo, considerando seis cenários de manejo florestal de *Eucalyptus urophylla* aos cinco anos de idade, sob manejo de alto fuste e talhadia no município de Entre Rios**

Manejo	Cenários	N	P	K	Ca	Mg	B	Cu	Mn	Zn
Alto Fuste	C1-M	6	***	6	***	***	***	***	>10	***
	C2-MP	5	***	6	***	***	***	***	>10	***
	C3-MPT	2	>10	5	***	***	***	***	>10	>10
	C4-MPCa	4	***	4	***	***	***	***	>10	>10
	C5-MPCaCo	2	>10	2	***	***	***	***	10	>10
	C6-MPCaCoT	1	8	2	***	***	***	***	6	10
Talhadia	C1-M	4	>10	3	***	***	***	***	2	***
	C2-MP	4	>10	3	***	***	***	***	2	***
	C3-MPT	1	4	3	***	***	***	***	1	***
	C4-MPCa	3	9	1	***	***	***	***	1	***
	C5-MPCaCo	1	5	1	>10	>10	***	***	1	***
	C6-MPCaCoT	1	2	1	>10	>10	***	***	1	***

\*\*\* Nutrientes que apresentaram balanço nutricional positivo.

No C2-MP (mantendo-se a casca, copa e raiz), o estoque de N, K e Mn seria suficiente para mais 5, 6 e mais de 10 rotações de cultivo, respectivamente, no alto fuste. Na talhadia, o estoque de N, K, Mn e P seria suficiente para 4, 3, 2 e mais de

10 rotações de cultivo, respectivamente. No C3-MPT (mantendo-se a casca e a copa), o estoque de N e K seria suficiente para mais 2 e 5 rotações de cultivo, respectivamente, enquanto o Mn e P teriam estoque suficiente para mais de 10 rotações no alto fuste. Na talhadia, o estoque de N, P, K e Mn seria suficiente para 1, 4, 3 e 1 rotações de cultivo, respectivamente.

Para o C5-MPCaCo (mantendo-se apenas a raiz), o estoque seria de 2 rotações para N e K, 10 rotações para o Mn, e mais de 10 rotações para o P e Zn no alto fuste. Na talhadia, o estoque seria de 1 rotação para N, K e Mn, 5 rotações para o P, e mais de 10 rotações para Ca e Mg. Enquanto no C6-MPCaCoT (remoção total das árvores), o estoque de N, P, K, Mn e Zn seria de 1, 8, 2, 6 e 10 rotações de cultivo no alto fuste. Já na talhadia, o estoque seria de 1 rotação para N, K e Mn, 2 rotações para P, e mais de 10 rotações para Ca e Mg.

A adubação no sistema de alto fuste forneceu uma quantidade suficiente de Ca, Mg, B e Cu em todos os cenários, enquanto na talhadia foi suficiente para B, Cu e Zn. O balanço nutricional no sistema de alto fuste indica que os nutrientes mais prováveis de limitar a produção são o N no C3-MPT, C5-MPCaCo e C6-MPCaCoT, e o K no C5-MPCaCo e C6-MPCaCoT. Para as condições manejadas sob talhadia, os elementos que podem ser mais limitantes são o N também no C3-MPT, C5-MPCaCo e C6-MPCaCoT, o K no C4-MPCa, C5-MPCaCo e C6-MPCaCoT, o P no C6-MPCaCoT e o Mn em todos os cenários a partir do C3-MPT.

A manutenção dos resíduos florestais junto a uma adubação adequada, desempenha um papel crucial na manutenção da fertilidade do solo e na sustentabilidade do ecossistema florestal. A adubação repõe os nutrientes retirados do solo pelas árvores de eucalipto durante seu crescimento, garantindo a disponibilidade contínua de nutrientes essenciais para as plantas (Gonçalves & Benedetti, 2006).

A remoção constante de nutrientes do solo sem reposição adequada pode levar à depleção da fertilidade do solo ao longo do tempo, tornando-o menos produtivo e menos apto para sustentar o crescimento saudável das árvores. Além de diminuir a matéria orgânica do solo, o que afeta negativamente sua estrutura, capacidade de retenção de água e nutrientes, e atividade microbiana (Nambiar & Fife, 1991). Portanto, é essencial monitorar e gerenciar adequadamente a adubação e o manejo de colheita em plantios florestais.

## 2.4 CONCLUSÕES

Para os povoamentos estudados, a talhadia demonstrou uma maior produção de biomassa, mesmo em solos com menor disponibilidade de nutrientes e menor aporte via fertilização. Por conseguinte, foi o sistema que apresentou maior limitação nutricional para os próximos ciclos, especialmente para N, P, K e Mn. No entanto, o sistema de alto fuste também evidenciou limitações nutricionais para N, K e Mn, principalmente no cenário 6 (C6- MPCaCoT).

O cenário C1-M, em que apenas a madeira é removida, destaca-se como o mais favorável para a sustentabilidade nutricional do sistema. Isso ocorre porque a remoção exclusiva da madeira permite que outros componentes da árvore permaneçam no local, contribuindo para a ciclagem de nutrientes. Esses resíduos orgânicos, ao decompor-se, liberam gradualmente nutrientes essenciais para as plantas, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Além disso, a presença desses resíduos no solo melhora sua estrutura física e reduz a erosão, promovendo uma gestão mais sustentável dos recursos naturais.

A quantidade de biomassa produzida e a disponibilidade de nutrientes no solo são afetadas pelos diferentes sistemas de manejo florestal. O sistema de talhadia se destaca pela maior produção de biomassa, porém, apresenta maior limitação nutricional para os ciclos futuros. Já o sistema de alto fuste também enfrenta desafios nutricionais, especialmente em certos cenários. Em geral, permitir que resíduos florestais permaneçam no sistema após a colheita contribui significativamente para a sustentabilidade nutricional, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos e promovendo a ciclagem de nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A., J.L. STAPE, P.C. SENTELHAS, J.L.M. GONÇALVES, ALVES, 2013: Modeling monthly mean air temperature for Brazil. – **Theor. Appl. Climatol.** 113, 407–427.
- BRUN, E.J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS.** 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria.
- COUTO, L. Extração de tocos de eucalipto para energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto - SP, v. 16, n. 5, p. 26, 2019.
- FAO, UNEP. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. **Rome**, 2020.
- FERRI, Mario Guimaraes. Fisiologia Vegetal. Vol. I e II. São Paulo: **EPU**, 1985.
- FRANTZ, B C. **Biomassa e estoque de nutrientes em *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em área arenizada do bioma pampa - RS.** 2016. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Rio Grande do Sul, 2016.
- GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; BAZANI, J. H.; HAKAMADA, R. E. Nutrição e adubação da cultura do eucalipto manejada no sistema de talhadia. In: PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. (Ed.). **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**, Jaboticabal: FCAV/CAPEL, 2014. p. 349-382
- GONÇALVES, J. L. M; ALVARES, C. A; BEHLING, M; ALVES, J. M; GUSTAVO; PIZZI, T; ANGELI, A. Produtividade de plantações de eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 411-419, set. 2014
- GONÇALVES, J.L.M.; BENETTI, V. (Ed.). **Nutrição e Fertilização Florestal.** **Piracicaba**: IPEF/ESALQ, 2005.
- JOSINO, M. N. **Aplicação da metodologia Monte Carlo na determinação de rotação florestal sob condições de risco.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.
- LUDVICHAK, A. A; SCHUMACHER, M. V; DICK, G; MOMOLLI, D. R; SOUZA, H. P. Nutrient return through litterfall in a *Eucalyptus dunnii* maiden stand in sandy soil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.40, n.6, p.1041-1048, 2016.
- MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. (Org.). **Colheita florestal.** Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2002. 468 p.
- MIYAZAWA, M; PAVAN, M.A; MURAOKA, T; CARMO, C.A.F. de S. do; MELLO, W. J. de. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para

Transferência de Tecnologia. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária**, 1999. p.171-223

MOURA, A. R. de; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, J. A. A. da; LIMA, T. V. de. Relações hídricas e solutos orgânicos em plantas jovens de *Jatropha curcas* L. sob diferentes regimes hídricos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 345-354, 2016.

NAMBIAR, E. K. S; FIFE, D. N. Nutrient retranslocation in temperate conifers. **Tree Physiology**, Victoria, v. 9, p.185-207, 1991.

OLIVEIRA NETO, S. N. **Biomassa, nutrientes e relações hídricas em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Em resposta á adubação e ao espaçamento.** Viçosa: UFV, 1996 131. (Dissetação de mestrado)

ROCHA, J. H T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis*.** 2014. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2014.

SANTOS, S. L. M.; MACHADO, C. C. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira com forwarder em diferentes volumes por árvore e comprimentos de toras. **Revista Madera y Bosques**, Cidade do México, v. 7, n. 2, p. 87-94, 2001.

U.S. Energy Information Administration. (s.d.). How Much Carbon Dioxide Is Produced When Different Fuels Are Burned. **U.S. Energy Information Administration (EIA)**. Washington, DC 20585, 2023.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 21 – 34, dez. 1993.

SILVA, B. K. **Investimentos in timberland: investors' strategies and economic perspective in Brazil.** 2013. 151 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

SILVA. J. de A. Quebrando castanha e cortando seringa. Seropédica: **EDUR**, 2003. 137 p.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p.

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

VIERA, M. *et al.* Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.3, p.371-379, 2011.

ZINDER, B; FURRER, G. & STUMM, W. The coordination chemistry of weathering: II. Dissolution of Fe(III) oxides. **Geo. Cosmo. Acta** 50:1861-1869, 1986.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais diferenças encontradas nos sistemas tiveram participação das condições e particularidade encontrada no solo. Mesmo assim de modo, o sistema de talhadia e alto fuste apresentaram um desenvolvimento de biomassa, o estoque de nutrientes na biomassa, a demanda por nutrientes e exportação de nutrientes semelhantes.

Em relação a compartimentalização das árvores, o toco mais as raízes grossas é o composto que mais se diferenciou entre os manejos. Tanto em biomassa, que alcançou quase o dobro de biomassa radicular na talhadia aos 5 anos, como em acúmulo de nutrientes. Resultado já esperado, pois talhadia apresenta um sistema radicular já estabelecido, que facilita a absorção de água e nutrientes, contando com reservas orgânicas e inorgânicas presente toco e nas raízes.

A manutenção de materiais florestais, como galhos, folhas, cascas e raiz, além de reter nutrientes e melhorar o ciclo de nutrientes na floresta para a próxima rotação, também contribui para a proteção do solo contra erosão, melhora a estrutura física do solo e diminui a compactação do solo, melhorando a qualidade daquele sítio. Por isso, quanto menor a remoção de resíduos, melhor se caracteriza o melhor cenário em redução ao impacto da colheita na sustentabilidade nutricional do sistema.

Porém, esses resíduos da floresta, principalmente os lenhosos, podem ser utilizados na produção de energia, gerando ganhos econômicos, sociais e ambientais por serem uma fonte de energia renovável. Onde, todos esses fatores devem ser levados em consideração na tomada de decisão para escolha do manejo de resíduo utilizado considerando os aspectos em médio e longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- ABAF. 2021. Bahia Florestal 2021. **Anuário da Associação Baiana das Empresas de Base Florestal**: Ano Base 2020. Salvador, BA, setembro, 2021.
- ARTHUR JUNIOR, J. C.; BAZANI, J. H.; HAKAMADA, R. E.; ROCHA, J. H. T.; MELO, E. A. S. C.; GONÇALVES, J. L. M. Anais da 48ª Reunião Técnico-Científica do Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo: Manejo da brotação de eucalipto para produção de madeira. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, SP, v. 21, n. 42, p. 1-80, novembro, 2015.
- BARROS, J. C. S. M.; POMMER, C. V.; PASSOS, L. R. S.; TERRA, M. M.; SABINO, J. C.; RIBEIRO, I. J. A.; PIRES, E.J. P. Avaliação da capacidade de enraizamento e desenvolvimento vegetativo de genótipos de videira para porta-enxerto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, n. 2/3, p. 285-292, 1996.
- BARROS, N. F. *et al.* Nutricalc 2.0: Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. **Bosque, Santiago**, v. 16, n. 1, p. 129-131, 1995.
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N. Classificação nutricional de sítios florestais – Descrição de uma metodologia. **Revista Árvore, Viçosa, MG**, v. 10, n. 1, p. 112-120, 1986.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6. ed, São Paulo: Ícone, 2008. 355 p.
- BLAKE, T. J. Coppice systems for short-rotation intensive forestry: the influence of cultural, seasonal and plant factors. **Australian Forest Research**. v. 3, n. ¾, 1983. p. 279–291.
- ABAF. 2021. Bahia Florestal 2021. **Anuário da Associação Baiana das Empresas de Base Florestal**: Ano Base 2020. Salvador, BA, setembro, 2021.
- BRACELPA. 2022. Relatório Annual Associação Brasileira de Celulose e Papel. Conjuntura **BRACELPA**, 2022.
- CHAPIN, F. S. The mineral nutrition of wild plants. Annual Review of Ecology and Systematics, **Palo Alto**, v. 11, p. 233-260, 1980.
- FERNÁNDEZ, C.; VEGA, J.A.; BARÁ, S.; BELOSO, C.; ALONSO, M.; FONTURBEL, T. Nitrogen mineralization after clearcutting and residue management in a second rotation *Eucalyptus globulus* Labill. stand in Galicia (NW Spain) **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 66, p 807, 2009.
- FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. Condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2004. 28 p.
- GAVA, J.L. Cultivo mínimo em solos de textura arenosa e média: áreas planas e suaves onduladas. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. Conservação e cultivo de solos para plantações de florestas. **Piracicaba: IPEF**, 2002. p. 1-45

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, 2013.

GONÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T.; BAZANI, J. H.; HAKAMADA, R. E. Nutrição e adubação da cultura do eucalipto manejada no sistema de talhadia. In: PRADO, R. M.; WADT, P. G. S. (Ed.). **Nutrição e adubação de espécies florestais e palmeiras**, Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2014. p. 349-382

GONÇALVES, J.L.M.; BARROS, N.F.; NAMBIAR, E.K.S; NOVAIS, R.F. Soil and standmanagement for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.K.S.; BROWN, A.G. Management of soil, nutrientes and water in tropical plantation forests. Canberra: **ACIAR**, 1997, p. 379-418.

GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L.; WICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L. Manejo de resíduos vegetais e preparo de solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações de florestas**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 131-204

GONÇALVES, J.L.M.; WICHERT, M.C.P.; GAVA, J.L.; SERRANO, M.I.P. Soil fertility and growth of *Eucalyptus grandis* in Brazil under deferente residue management practices. In.: NAMBIAR, E.K.S. Site management and productivity in tropical plantation forests. Indonésia: **Center for International Forestry Research (CIFOR)**, 2008. p. 51-62.

GONÇALVES, J.L.M; STAPE, J.L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V.A.G.; GAVA, J.L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In.: GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. Nutrição e Fertilização Florestal. **Piracicaba: IPEF**, 2000. p. 1-58

IBÁ. 2023. Relatório anual 2023. **Anuário da indústria brasileira de árvores: Ano base 2022**, São Paulo, 2023.

JESUS, G.L. DE.; SILVA, I.R.; ALMEIDA, L.F.J.; DOS SANTOS, M.A.; LEITE, F.P; NEVES, J.C.L. 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, n. 4, p. 1190–1203, 2015.

KABEYA, D.; SAKAI, S. The relative importance of carbohydrate and nitrogen for the resprouting ability of *Quercus crispula* seedlings. **Annals of Botany**, v.96, p.479-488, 2005.

LAFETÁ, O. B; SANTANA, R. C; NOGUEIRA, G. S. NEVES, J. C. PENID, T. M. A. Eficiência de utilização de macronutrientes em eucalipto por método não destrutivo estimados por redes neurais artificiais. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v.28, n.2, p.613-623, abr-jun.,2018.

LOPES, E.S.; OLIVEIRA, D.; RODRIGUES, C.K.; DRINKO, C.H. Compactação de um solo submetido ao tráfego do Harvester e do Forwarder na colheita de madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 223–230, 2015.

MALINOVSKI, J.R.; CAMARGO, C.M.S.; MALINOVSKI, R.A. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002. p. 145-164.

MATTHEWS, J. D. Silvicultural systems. New Yor: **Oxford University Press**, 2006., 284p.

MATTHEWS, J. D. Silvicultural systems. **Oxford: Clarendon Press**, 1994. 283p.

MENDHAM, D.S.; SANKARAN, K.V.; O'CONNELL, A.M.; GROVE, T.S.; *Eucalyptus globules* harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantations establishment. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 34, p. 1903-1912, 2002.

NZILA J.D.; BOILLET J.P.; LACLAU J.C.; RANGER J. - The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth *in Eucalyptus* plantations in the Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 171, p. 209-221, 2002.

O'CONNELL, A.M.; GROVE, T.S.; MENDHAM, D.S.; RANCE, S.J. Impact of harvest residue management on soil nitrogen dynamics in *Eucalyptus globules* plantations in would western Australia. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 36, p.39-48, 2004.

REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Fisiologia da brotação de eucalipto com ênfase nas suas relações hídricas. **Série Técnica IPEF**, v.11, n.30, p.9-22, 1997.

REIS, M. G. F.; KIMMINS, J. P. Importância do sistema radicular no crescimento inicial de brotos de *Eucalyptus spp*. **Revista Árvore**, v.10, p.112-125, 1986.

RIBEIRO, N.; SIOTE, A. A.; GUEDES, B. S.; STAISS, C. Manual de silvicultura tropical. **Maputo: Universidade Eduardo Mondlane; FAO**, 125 p, 2002.

ROCHA, J. H T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis***. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2014.

SANKARAN, K.V.; MENDHAM, D.S.; CHACKO, K.C.; PANDALAI, R.C.; PILLAI P.K.C.; GROVE, T.S.; O'CONNELL, A.M. Impact of Site Management Practices on Growth of Eucalypt Plantations in the Monsoonal Tropics in Kerala, India. In.: NAMBIAR, E.K.S. Site management and productivity in tropical plantation forests. Bogor, Indonésia: **Center for International Forestry Research (CIFOR)**, 2008. p. 23-38.

SANTANA, R. C; BARROS, N, F; LEITE, H. G; COMERFOR, N. B; NOVAIS, R. F. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.697-706, 2008.

SIMÕES, J.W. *et al.* Formação, Manejo e Exploração de Florestas com Espécies de

Rápido Crescimento. Brasília: **IBDF**, 1981.

SILVA, C., *et al.* Effects of Harvesting Techniques on Stump Sprouting and Growth of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake Coppices. **Forest Ecology and Management**, 256(3), 412-421, 2018.

SMITH, J., & JONES, A. Impact of Harvesting Practices on Coppice Regeneration in *Eucalyptus* Plantations. **Journal of Forestry Research**, 45(2), 123-135, 2020.

STAPE, J.L. Planejamento global e normatização de procedimentos operacionais da talhadia simples em *Eucalyptus*. **Série Técnica IPEF**, v.11, n.30, p.51-62, 1997.

TEIXEIRA, P. C.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; NEVES, J. C. L.; TEIXEIRA, J. L. *Eucalyptus urophylla* root growth, stem sprouting and nutrient supply from the roots and soil. **Forest Ecology and Management**, v.160, p.263-271, 2002.

WALTERS, J. R.; BELL, T. L.; READ, S. Intra-specific variation in carbohydrate reserves and sprouting ability in *Eucalyptus obliqua* seedlings. **Australian Journal of Botany**, v.53, p.195-203, 2005.

ZEN, S.; YONEZAWA, J.T.; FELDEBERG, J.E. Implantação de florestas no sistema de cultivo mínimo. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1., 1991 Curitiba. **Anais**. Curitiba, 1995 p.65-72.