

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

**IMPLICAÇÕES SILVICULTURAIS DA COLHEITA DA  
BIOMASSA E DA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE  
UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus saligna***

**TESE DE DOUTORADO**

**Catarine Barcellos Consensa**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2017**

**IMPLICAÇÕES SILVICULTURAIS DA COLHEITA DA  
BIOMASSA E DA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE UM  
POVOAMENTO DE *Eucalyptus saligna***

por

**Catarine Barcellos Consensa**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutora em Engenharia Florestal**

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

**Santa Maria, RS, Brasil  
2017**

Barcellos Consensa, Catarine  
IMPLICAÇÕES SILVICULTURAIS DA COLHEITA DA BIOMASSA E  
DA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus*  
*saligna* / Catarine Barcellos Consensa.- 2017.  
100 p.; 30 cm  
Orientador: Mauro Valdir Schumacher  
Coorientadores: Paulo Renato Scheneider, Dalvan José  
Reinert  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017  
1. *Eucalyptus* spp 2. Ciclagem de Nutrientes 3.  
Exportação de nutrientes 4. Biomassa 5. Nutrição Florestal  
I. Valdir Schumacher, Mauro II. Scheneider, Paulo  
Renato III. Reinert, Dalvan José IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática  
da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

---

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Catarine Barcellos Consensa. A reprodução de partes ou do  
todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço: Avenida Roraima, 1000 – Cidade Universitária – Bairro Camobi – CCR – Prédio 44  
– Sala 5248 – 2º Piso – CEP: 97105-900 – Santa Maria – RS – Brasil. Fone: (055) 32208336; E-mail:  
[catarineconsensa@gmail.com](mailto:catarineconsensa@gmail.com)

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**IMPLICAÇÕES SILVICULTURAIS DA COLHEITA DA BIOMASSA E  
DA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE UM POVOAMENTO DE  
*Eucalyptus saligna***

Elaborada por  
**Catarine Barcellos Consensa**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutora em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Mauro Valdir Schumacher, Dr. rer. nat. techn. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Eleandro José Brun, Dr. (UTFPR)**

---

**Francine Neves Calil, Dra. (UFG)**

---

**Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)**

---

**Márcio Viera, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 20 de Fevereiro de 2017.

Dedico este trabalho à minha família  
e ao meu filho Bernardo.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, pela saúde, por abençoar o meu caminho e escolhas...

Ao meu pai, Clândio, e minha mãe, Marilene, os quais sempre me apoiaram em minhas decisões, dando-me força e coragem para seguir em frente, proporcionando sempre o melhor a mim e ao meu filho. E as minhas irmãs, Francieli e Claudine, pelo apoio, pela paciência e amizade.

Ao meu amor, meu filho Bernardo, meu porto seguro, por estar comigo em todos os momentos e me acolher com carinho a cada dia difícil. Palavras serão insuficientes para descrever o amor imenso que sinto por você!

À Universidade Federal de Santa Maria pelo ensino gratuito de qualidade e infraestrutura, na graduação, mestrado e doutorado.

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

Ao professor Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela confiança depositada, por ter acreditado no potencial do trabalho a ser desenvolvido, pela orientação e atenção dispensada e ao conhecimento compartilhado.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO), sendo eles funcionários, alunos de graduação e pós-graduação por todo o apoio para a realização deste trabalho. Em especial, ao Eng. Florestais Rudi Witschoreck pelos ensinamentos; ao Biólogo Vitor Hugo Braga dos Santos pela realização de parte das análises químicas e ensinamentos;

A amiga e colega Simone Martins Salvador pela amizade incondicional, apoio no processamento das amostras e pelos bons momentos durante todos os anos de convívio.

À empresa CMPC Celulose Riograndense, em especial, ao Eng. Florestal Elias Frank Araújo, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, concedendo sua área e apoio financeiro para a realização deste estudo.

A empresa Sertef, ao encarregado Rodrigo Santos Didio, assim como todos os trabalhadores da empresa, pela prestimosa colaboração em todas as fases a campo do trabalho, sendo fundamentais para a realização das coletas de dados.

Agradeço a todos os amigos que de alguma forma me ajudaram e apoiaram, e a todas as pessoas que me incentivaram durante a execução deste estudo.

*“É na queda que o rio ganha força”*  
(Hermógenes)



## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Centro de Ciências Rurais  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### **IMPLICAÇÕES SILVICULTURAIS DA COLHEITA DA BIOMASSA E DA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus saligna***

AUTORA: CATARINE BARCELLOS CONSENSA

ORIENTADOR: Prof. Dr. rer. nat. techn. MAURO VALDIR SCHUMACHER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 20 de fevereiro de 2017.

É de fundamental importância o conhecimento da sustentabilidade nutricional de povoamentos homogêneos de *Eucalyptus* spp., frente a uma gestão adequada dos empreendimentos florestais durante a colheita, e o entendimento a respeito da manutenção da fertilidade do solo destes povoamentos. O objetivo deste estudo foi avaliar o impacto das diferentes intensidades de colheita sobre o balanço nutricional de um povoamento de *Eucalyptus saligna* em Barra do Ribeiro - RS, com sete anos de idade. Para isso foi realizada a quantificação da biomassa arbórea, da serapilheira acumulada sobre o solo e do sub-bosque, quantificação do estoque de nutrientes em cada um destes compartimentos do sítio. Foi realizada a simulação de diferentes sistemas de colheita florestal, foi determinado o número potencial de rotações e determinado o coeficiente de utilização biológica para cada constituinte da biomassa arbórea a fim de verificar a sustentabilidade nutricional do povoamento. A biomassa acima do solo do eucalipto foi de 222,11 Mg ha<sup>-1</sup>, com maior representatividade pelo componente fuste (madeira + casca), o qual contribui com 90,5% de toda a biomassa produzida. O estoque total de nutrientes alocado na biomassa arbórea foi de 1,43 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que o compartimento fuste é o que apresentou uma maior contribuição na alocação destes nutrientes. Os componentes da biomassa apresentaram composições distintas ( $p \leq 0,05$ ), sendo que os maiores teores encontrados foram no componente folhas e os menores na madeira. A quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo foi de 17,48 Mg ha<sup>-1</sup> e o estoque de nutrientes de 0,44 Mg ha<sup>-1</sup>. A biomassa do sub-bosque foi de 15,85 Mg ha<sup>-1</sup>, e um estoque de nutrientes correspondente a 0,42 Mg ha<sup>-1</sup>. Foi constatado que os nutrientes mais limitantes à produtividade no próximo ciclo serão o Potássio, Enxofre e Zinco no sistema de colheita apenas da madeira. Os maiores valores de CUB foram encontrados para o P, seguido do S > Mg > Ca > K > N. Isto indica que, dentre os macronutrientes avaliados, o P foi utilizado com maior eficiência para a produção de madeira. O componente madeira apresentou o maior coeficiente de utilização biológica dos nutrientes. Além disso, no sistema de colheita de toda biomassa acima do solo, no sistema de colheita da árvore inteira e no sistema de colheita somente da madeira com casca, a maioria dos nutrientes são limitantes, com exceção do Mg e Cu, os quais poderão suportar entre 3 e 10 rotações, respectivamente. O sistema de colheita apenas da madeira do tronco possibilitou maior número de rotações que os demais sistemas, sendo assim mais sustentável para manter a fertilidade do solo. O sistema de manejo RMa-Ca foi o que obteve menor exportação de nutrientes e menor remoção de biomassa do sítio, o que torna este sistema de colheita o mais

indicado para a manutenção da sustentabilidade nutricional do sítio. Portanto, o manejo dos resíduos deve ser levado em consideração pela empresa, para que possa garantir a sustentabilidade nutricional do solo, e consequentemente a produtividade das próximas rotações.

**Palavras-chave:** Ciclagem de Nutrientes. Colheita Florestal. Exportação de nutrientes.

## ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Graduation Program in Forestry Engineering  
Rural Science Center  
Federal University of Santa Maria

### **BIOMASS HARVESTING IMPLICATIONS AND THE REMOVAL OF NUTRIENTS OF *EUCALYPTUS SALIGNA***

AUTHOR: CATARINE BARCELLOS CONSENSA

ADVISER: Prof. Dr. rer. nat. techn. MAURO VALDIR SCHUMACHER

Defense Place and Date: Santa Maria, february 20<sup>nd</sup>, 2017.

It is vitally important to know the nutritional sustainability of homogeneous stands of *Eucalyptus* spp., compared to the proper management of forest enterprises in forest harvesting, and understanding regarding the maintenance of soil fertility of these settlements. The objective of this study was to evaluate the impact of different harvest intensities about nutritional balance of a seven years old *Eucalyptus saligna* stand in Barra do Ribeiro, RS. For this, the quantification of tree biomass, accumulated litter on soil and understorey, quantification of nutrient stock in each of these compartments was performed. A simulation of different forest harvesting systems was carried out, the number of rotational potential was determined and the coefficient of biological utilization was determined for each tree biomass constituent in order to verify the nutritional sustainability of the stands. The total tree biomass eucalyptus was 222.11 Mg ha<sup>-1</sup>, with greater representation by the shaft housing (wood + bark), which contributes 90.5% of the biomass produced. The total nutrient stock in the allocated tree biomass was 1.43 Mg h<sup>-1</sup>, and the magazine shaft is presented to a larger contribution to the allocation of these nutrients. The components of the biomass had different compositions ( $P < 0.05$ ), whereas the highest levels were found in the sheet and the smaller compartment the timber compartment. The accumulated litter on the ground presented a biomass of 17.48 Mg ha<sup>-1</sup> and a nutritional contribution of 0.44 Mg ha<sup>-1</sup>. The understory presented a contribution of 15.85 Mg ha<sup>-1</sup> of total biomass and a supply of nutrients corresponding to 0.42 Mg ha<sup>-1</sup>. It has been found that the nutrients most limiting to productivity in the next cycle will be Potássio, Enxofre and Zinco in harvesting system only the wood. The highest the CUB values were found for P, followed by S > Mg > Ca > K > N. This indicates that, among the evaluated macronutrients, P was used more efficiently for wood production. The wood compartment had the highest coefficient of biological utilization of nutrients. Furthermore, the collection of all above-ground biomass system, the entire tree harvesting system and collection system only timber shell, most of the nutrients are limiting, with the exception of Mg and Cu, which may withstand between 3 and 10 rotations, respectively. The system of harvesting only the wood trunk allowed a greater number of rotations than the other systems, being thus more sustainable to maintain the fertility of the soil. The RMa - Ca management system was the one that obtained less export of nutrients and less removal of biomass from the site, which makes this harvesting system the most suitable for maintaining the nutritional sustainability of the site. Therefore, the management of the waste must be taken into account by the company, so that it can guarantee the

nutritional sustainability of the soil, and consequently the productivity of the next rotations.

**Keywords:** Nutrient Cycling. Forest Harvesting. Export of Nutrients

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização do município de Barra do Ribeiro, RS (destaque em vermelho). Fonte: elaborado pelo autor. ....36
- Figura 2 - Diagrama climático da região do estudo. Valores referentes à média mensal anual do plantio (2006) até o corte raso (2013). ....37
- Figura 3 - Aspecto da moldura usada para coleta de serapilheira acumulada sobre o solo. No detalhe, à esquerda antes da coleta e a direita após a coleta da serapilheira. Fonte: Autor. ....45
- Figura 4 - Distribuição diamétrica em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade. ....49
- Figura 5 - Contribuição relativa de macro e micronutrientes nos constituintes da biomassa acima do solo em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade. ....60
- Figura 6 - Estoque de nutrientes disponíveis no solo e totais nos diferentes componentes da biomassa, sub-bosque e serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade. ....77
- Figura 7 - Percentagens de exportação de nutrientes em diferentes intensidades de colheita florestal em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade. .85

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Atributos físicos do solo em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> localizado no horto florestal Braba Negra - RS aos 7 anos de idade. ....                                                                    | 37 |
| Tabela 2 - Variáveis dendrométricas do povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade.....                                                                                                                        | 48 |
| Tabela 3 – Equações utilizadas para estimar a biomassa acima do solo dos componentes das árvores em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> , aos 7 anos de idade. ....                                                     | 50 |
| Tabela 4 – Estatísticas dos modelos de ajustes das equações de regressão utilizadas para estimar a biomassa acima do solo dos componentes das árvores em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> , aos 7 anos de idade..... | 50 |
| Tabela 5 – Biomassa dos componentes arbóreos ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade. ....                                                                                   | 51 |
| Tabela 6 - Biomassa da serapilheira acumulada e sub-bosque ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade.....                                                                      | 53 |
| Tabela 7 – Concentração de macro e micronutrientes nos diferentes componentes das árvores, serapilheira acumulada e sub bosque em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade. ....                         | 55 |
| Tabela 8 - Quantidade de macronutrientes nos componentes da árvore, serapilheira acumulada e sub-bosque em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade. ....                                                | 58 |
| Tabela 9 - Quantidade de micronutrientes nos componentes das árvores, serapilheira acumulada e sub-bosque em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade.....                                               | 59 |
| Tabela 10 – Atributos químicos do solo em diferentes profundidades em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> localizado no horto florestal Braba Negra - RS, aos 7 anos de idade. ....                                     | 73 |
| Tabela 11 – Estoque de nutrientes disponíveis no solo em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade. ....                                                                                                  | 74 |
| Tabela 12 - Quantidade de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RAr, remoção da árvore inteira de <i>Eucalyptus saligna</i> com 7 anos de idade.....                   | 80 |
| Tabela 13 - Quantidade de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RAr, remoção da árvore inteira de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 7 anos de idade.....                    | 81 |

|                                                                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 14 – Quantidade de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pela colheita da madeira com casca RMa+Ca de <i>Eucalyptus saligna</i> com 7 anos de idade. ....                                | 81 |
| Tabela 15 – Quantidade de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pela colheita da madeira com casca RMa+Ca de <i>Eucalyptus saligna</i> com 7 anos de idade. ....                                 | 82 |
| Tabela 16 - Biomassa aérea em $\text{kg ha}^{-1}$ , quantidade de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RMa-Ca de <i>Eucalyptus saligna</i> com 7 anos de idade.....   | 83 |
| Tabela 17 – Biomassa aérea em $\text{kg ha}^{-1}$ , quantidade de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ), removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RMa - Ca de <i>Eucalyptus saligna</i> com 7 anos de idade..... | 84 |
| Tabela 18 - Número potencial de rotações em um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> , aos 7 anos de idade.....                                                                                                              | 88 |
| Tabela 19 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes para um povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> , aos 7 anos de idade.....                                                                                 | 90 |

## SUMÁRIO

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>                                                             | <b>18</b> |
| 1.1 Hipótese .....                                                                         | 19        |
| 1.2 Objetivo geral .....                                                                   | 19        |
| 1.3Objetivos específicos.....                                                              | 19        |
| 1.4 Referências bibliográficas.....                                                        | 20        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                                        | <b>21</b> |
| 2.1 Eucalyptus saligna.....                                                                | 21        |
| 2.2 Ciclagem de nutrientes em florestas plantadas .....                                    | 22        |
| 2.3 Interação entre a serapilheira acumulada e o solo .....                                | 24        |
| 2.4 Biomassa florestal .....                                                               | 26        |
| 2.5.Manejo dos resíduos florestais.....                                                    | 27        |
| 2.6 Referências bibliográficas.....                                                        | 29        |
| <b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....</b>                                         | <b>36</b> |
| 3.1 Localização da área experimental.....                                                  | 36        |
| 3.2 Características climáticas e atributos do solo .....                                   | 36        |
| 3.3 Povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> .....                                          | 38        |
| 3.4 Análise Estatística.....                                                               | 36        |
| 3.5 Referências Bibliográficas .....                                                       | 39        |
| <b>4 BIOMASSA E NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE <i>Eucalyptus saligna</i> .....</b>            | <b>40</b> |
| 4.1 Introdução.....                                                                        | 42        |
| 4.2 Material e Métodos .....                                                               | 43        |
| 4.2.1 Quantificação da biomassa arbórea.....                                               | 43        |
| 4.2.2 Biomassa da serapilheira acumulada.....                                              | 45        |
| 4.2.3 Biomassa do sub-bosque .....                                                         | 45        |
| 4.2.4 Estimativa da biomassa arbórea e estoque de nutrientes na biomassa.....              | 46        |
| 4.2.5 Determinação de nutrientes na biomassa .....                                         | 47        |
| <b>4.3 Resultados e Discussão .....</b>                                                    | <b>48</b> |
| 4.3.1Características Dendrométricas .....                                                  | 48        |
| 4.3.2 Estimativa da biomassa do povoamento de <i>Eucalyptus saligna</i> .....              | 49        |
| 4.3.3 Estoque de nutrientes da biomassa arbórea, serapilheira acumulada e sub-bosque ..... | 55        |
| <b>4.4 Conclusão .....</b>                                                                 | <b>61</b> |
| <b>4.5 Referências Bibliográficas .....</b>                                                | <b>61</b> |



|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5 REFLEXOS DA INTENSIDADE DA COLHEITA NA NUTRIÇÃO DO SOLO EM POVOAMENTO DE <i>Eucalyptus saligna</i></b> ..... | <b>66</b> |
| <b>5.1 Introdução</b> .....                                                                                       | <b>68</b> |
| <b>5.2 Material e Métodos</b> .....                                                                               | <b>70</b> |
| 5.2.1 Balanço nutricional solo-planta.....                                                                        | 70        |
| 5.2.2 Simulação da remoção de nutrientes pela colheita .....                                                      | 71        |
| 5.2.3 Número Potencial de Rotação (NPR) e Coeficiente de Utilização Biológica (CUB).....                          | 71        |
| <b>5.3 Resultados e Discussão</b> .....                                                                           | <b>73</b> |
| 5.3.1 Solos e nutrientes.....                                                                                     | 73        |
| 5.3.2 Balanço de nutrientes no sistema solo - planta .....                                                        | 76        |
| 5.3.3 Simulação da remoção de nutrientes pela colheita .....                                                      | 79        |
| 5.3.4 Número Potencial de Rotações .....                                                                          | 87        |
| 5.3.5 Coeficiente de Utilização Biológica .....                                                                   | 89        |
| <b>5.4 Conclusão</b> .....                                                                                        | <b>91</b> |
| <b>5.5 Considerações finais</b> .....                                                                             | <b>92</b> |
| <b>5.6 Referências Bibliográficas</b> .....                                                                       | <b>93</b> |
| <b>6 APÊNDICES</b> .....                                                                                          | <b>96</b> |

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do eucalipto tem grande importância econômica, social e ambiental sendo que no Brasil e, particularmente no estado do Rio Grande do Sul, a eucaliptocultura está se expandindo em diversas áreas. Entre as razões a favor da cultura do eucalipto estariam às elevadas taxas de crescimento das diversas espécies; a incorporação de matéria orgânica ao solo pelos componentes das árvores (folhas, cascas, raízes, etc); a exploração de nutrientes de camadas mais profundas, nutrientes estes que, de certa maneira, estariam fora do alcance de culturas de sistemas radicular menos profundo; o aproveitamento de áreas não-agrícolas e, a diversificada utilização da madeira (FONSECA et al., 1993).

Porém, o avanço da introdução dos plantios homogêneos gerou muitas polêmicas, conforme ressalta Vital (2007), o qual sugere duas críticas frequentes e endereçadas aos plantios de *Eucalyptus*, sendo uma delas quanto ao consumo de água pelas árvores e a outra, quanto aos seus impactos sobre a umidade do solo, rios, lençol freático e o empobrecimento do solo onde ele é plantado.

Além disso, outra polêmica quanto à introdução de florestas plantadas, é em relação ao uso da biomassa florestal como insumo energético, sendo esta uma tendência mundial e que vem despertando interesse em muitos países, sendo que no Brasil, a participação das fontes renováveis como o uso da biomassa florestal, na oferta de energia tem aumentado consideravelmente.

Segundo Do Canto (2009), a utilização energética da biomassa florestal promove o aumento do aproveitamento de florestas comerciais existentes, pela possibilidade de utilização dos resíduos florestais, que geralmente são deixados no campo após a colheita e se constituem em potenciais fontes de energia.

Porém o uso alternativo como fonte energética destes resíduos, pode acarretar negativamente em consequências ecológicas e sustentáveis do sítio florestal, devido ao fato destes serem fundamentais, tanto do ponto de vista operacional como para a manutenção da fertilidade do solo (MENDHAM et al., 2003 e GONÇALVES et al., 2004).

Conforme Vital (2007) as diferentes técnicas de manejo podem acarretar impactos bastante distintos, como exemplo, se no momento da colheita, galhos,

folhas e cascas são deixadas no local, parte dos nutrientes retirados pelas árvores serão devolvidos ao solo, o que torna o gerenciamento desses resíduos da colheita durante o período de inter-rotação fundamental, pois estes são susceptíveis de influenciar significativamente a disponibilidade de nutrientes no solo e a sustentabilidade das futuras rotações em plantações de rápido crescimento (TIARKS e RANGER, 2008).

Ainda, Lima (1996), ressalta que o conhecimento das quantidades de nutrientes presentes no solo e na biomassa acima do solo é de fundamental importância para o entendimento da estrutura de um dado ecossistema, o que torna o presente trabalho fundamental para avaliar o desempenho dos resíduos da colheita florestal na manutenção e sustentabilidade de sítios em povoamentos de rápido crescimento.

### 1.1 HIPÓTESE

O sistema de colheita da biomassa e dos nutrientes do *Eucalyptus saligna* irá alterar a capacidade produtiva do solo.

### 1.2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo principal, quantificar a biomassa e o estoque de nutrientes e avaliar o impacto das diferentes intensidades de colheita sobre o balanço nutricional de um povoamento de *Eucalyptus saligna*.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Quantificada a biomassa arbórea de um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 07 anos de idade, com espaçamento 3 x 3m;
- b) Quantificada a biomassa do sub-bosque e da serapilheira acumulada sobre o solo;

- c) Quantificar o estoque de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos componentes das árvores, na serapilheira acumulada e no sub – bosque;
- d) Quantificar o estoque de nutrientes disponível no solo até 100 cm de profundidade;
- e) Estimar o número potencial de rotações com base no estoque de nutrientes disponíveis no sistema;
- f) Simular diferentes sistemas de colheita florestal com menor impacto nutricional para o sítio.

#### 1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DO CANTO, J. L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. 2009. 121 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. MG. 2009.

FONSECA, S. da et al. Alterações em um Latossolo sob eucalipto, mata natural e pastagem II. Propriedades orgânicas e microbiológicas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 289-302, mai/jun. 1993.

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

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

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

TIARKS, A.; RANGER. Soil properties in tropical forest plantations: evaluation and effects of local management Nambiar EKS (Ed.), Management and Productivity in tropical forest plantations. Process Workshops in Piracicaba (Brazil), 22-26 nov. 2004, Bogor (Indonésia) 2006, **CIFOR**, Bogor, Indonésia, p. 191-204, 2008.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EUCALYPTUS SALIGNA

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e conta com cerca de 600 espécies e grande número de variedades e híbridos adaptados a diversas condições de solo e clima, dessa grande variedade de espécies, apenas duas não são originárias da Austrália: *E. urophylla* e *E. deglupta*, (MORA; GARCIA, 2000).

CBI (2008) ressalta as principais espécies cultivadas atualmente no Brasil, como o *Eucalyptus saligna*, o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus camaldulensis*, entre outras. Além disso, foram desenvolvidos cruzamentos entre as espécies, resultando em híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*), também muito utilizado pelas empresas florestais, principalmente para a produção de celulose.

Dentre estas espécies, o *Eucalyptus saligna* é destacado por apresentar elevado potencial de adaptação e crescimento (KIKUTI e NAMIKAWA, 1990). A espécie apresenta sua área natural na Austrália, não tolera temperaturas elevadas, nem condições de seca pronunciadas, adapta-se a solos hidromórficos ou francamente arenosos e em diferentes altitudes; é uma espécie tolerante ao fogo baixo e apresenta alta capacidade de regeneração por brotação (RECH, 2003).

Ainda, Mora e Garcia (2000), ressaltam que se trata de uma espécie muito próxima ao *Eucalyptus grandis* nos aspectos botânicos, ecológicos e silviculturais, além disso, esta espécie fornece madeira clara e de baixa densidade apta para celulose e numerosas outras finalidades.

Segundo Reis et al. (1990), muitas espécies de eucaliptos crescem relativamente bem em solos de baixa fertilidade, o que intensifica o seu uso nas novas implantações florestais, que anteriormente não praticavam a tradição silvicultural para essas espécies, as quais estão ligadas à baixa exigência nutricional e à eficiência de utilização de nutrientes.

Além disso, a grande maioria das espécies de eucalipto desenvolveu mecanismos fisiológicos de adaptação às condições de déficit hídrico (falta de água

no solo), ou seja, mecanismos de restrição do consumo de água nos períodos do ano quando a disponibilidade de água no solo é menor (MORA; GARCIA, 2000).

Segundo Lima (1996), o eucalipto apresenta características esclerofíticas, ou seja, se adaptam mais a condições de baixa fertilidade do solo, do que a condições de clima seco. E atualmente, as diversas espécies de eucalipto estão entre as principais fontes de matéria-prima para a produção de celulose, de carvão vegetal para siderurgia, para geração de energia (bioenergia), bem como para fábricas de cimento, serrarias, postes, óleos essenciais, entre outras finalidades.

Viera (2010), relata que um dos principais benefícios do cultivo dos eucaliptos é oferecer uma alternativa para o suprimento de madeira, o que irá consequentemente diminuir a pressão sobre as florestas nativas, pois mesmo que estas pudessem ser utilizadas de forma sustentável, não seriam suficientes para atender à crescente demanda de madeira, apresentada atualmente no cenário da cadeia produtiva brasileira.

## 2.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES EM FLORESTAS PLANTADAS

A ciclagem de nutrientes é um dos aspectos fundamentais para a sustentabilidade da atividade florestal. O manejo florestal deve possibilitar a manutenção de um fluxo contínuo, entre o que é depositado no solo e o que é assimilado pelas raízes (SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001). Segundo Vital (2007), a partir de um ou dois anos, caem muitas folhas e galhos finos e, a partir de três a quatro anos, começam a cair também a casca, e se estabelece então, o processo de decomposição, liberação e absorção de nutrientes, compondo a ciclagem de nutrientes.

De acordo com Switzer e Nelson (1972), o processo de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ser caracterizado em três tipos:

I. *Ciclo geoquímico* refere-se à troca (entrada e saída) de elementos minerais entre os diversos ecossistemas. Conforme Poggiani e Schumacher (2000), neste ciclo as maiores perdas de nutrientes são ocasionadas pelos processos de erosão e lixiviação pela água de drenagem, fogo, processos de desnitrificação e, principalmente pela colheita florestal.

II. *Ciclo biogeoquímico* é aquele que se estabelece nas relações entre o solo e a planta. Este ciclo ocorre mediante o processo em que a planta, pelo seu sistema radicular retira os elementos minerais do solo para a produção da biomassa (folhas, ramos, casca, madeira e raízes) e posteriormente devolve parte destes elementos por meio da queda de resíduos (serapilheira), os quais, à medida que vão sendo mineralizados, novamente são absorvidos pelas raízes (POGGIANI e SCHUMACHER, 2004).

III. *Ciclo bioquímico* relaciona-se com as transferências internas dos elementos minerais dos tecidos mais velhos para os mais jovens. Uma vez absorvidos os nutrientes do solo, alguns destes elementos ficam em constante mobilização no interior da planta, como é o caso do Fósforo.

Dentre as formas de entrada de nutrientes em ecossistemas florestais, temos o intemperismo das rochas, uma vez que, a maioria dos nutrientes está disponível em quantidades adequadas como resultado do intemperismo (WARING e SCHLESINGER, 1985). Ao longo do tempo, pelo intemperismo, vão sendo liberados os nutrientes dos minerais do solo, principalmente naqueles mais novos com grande quantidade de minerais primários que vão sendo disponibilizados para a absorção pelas plantas e para a ciclagem dentro do ecossistema florestal (HAAG, 1985).

Outra fonte de entrada de nutrientes no processo de ciclagem de nutrientes se dá através da deposição atmosférica, pois a chuva contém substâncias dissolvidas e particuladas, incluindo importantes quantidades de nitrogênio e outros nutrientes fundamentais para o crescimento da floresta. As superfícies dos galhos e folhas, principalmente as pilosas, agem como eficientes filtros de partículas e gases atmosféricos, retendo nutrientes que são absorvidos pelas folhas ou escorrem, junto com a água, para o solo (HAAG, 1985) e, que conseqüentemente serão absorvidos pelo sistema radicular das árvores.

No entanto, as saídas incluem a volatilização pelas queimadas ou pela desnitrificação, lixiviação e erosão hídrica, assim como, pela colheita da biomassa (PRITCHETT, 1990). Uma das principais vias de exportação de nutrientes, se não a mais importante, principalmente em povoamentos florestais, é a colheita da biomassa (PRITCHETT, 1990; LANDSBERG, 1986).

A ciclagem de nutrientes em florestas e plantações comerciais pode ser analisada por meio da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes compartimentos, como a biomassa das árvores, a serapilheira, a biomassa das

raízes, o solo, etc. (SCHUMACHER et al., 2003). Já a concentração e o conteúdo de nutrientes variam em função do tipo de solo, da vegetação, da densidade populacional, da habilidade da espécie em absorver, utilizar e translocar os nutrientes antes da senescência foliar, das condições edafoclimáticas, da idade das árvores e da espécie analisada (PALLARDY, 2008).

Conforme Foelkel (2005), a produtividade das plantações e a perpetuidade do ecossistema florestal estão intimamente relacionadas, a ciclagem dos nutrientes e ao conhecimento das exportações de nutrientes, sendo uma exigência básica estudá-las principalmente na região onde ocorre a implantação e futuramente a colheita de florestas de ciclo curto.

Os estudos de ciclagem de nutrientes, portanto, são importantes tanto para preservação dos sistemas naturais e sua sustentabilidade, quanto para avaliação de impactos causados ao ambiente. A fragilidade do ecossistema pode ser entendida como o balanço de nutrientes e sua quantidade, destacando-se a eficiência da ciclagem, sendo que, em certos casos, a adubação deve ser utilizada para manter ou elevar a produtividade do sistema (CAMPOS et al., 2004).

### 2.3 INTERAÇÃO ENTRE A SERAPILHEIRA ACUMULADA E O SOLO

A serapilheira é a porção mais dinâmica do conjunto solo-planta e, possivelmente, a mais variável não só entre ecossistemas, mas também dentro de um mesmo ecossistema (CORREIA e ANDRADE, 1999). Serapilheiras amostradas em diferentes florestas do mundo, em geral, são compostas de 60 a 80% por folhas, de 1 a 15% por frutos e material reprodutivo, de 12 a 15% por ramos e de 1 a 25% por cascas de árvores (BRAY e GORHAM, 1964).

Corrêa et al. (2016) em estudo da deposição de serapilheira de *Eucalyptus dunnii*, estabelecido no Bioma Pampa, RS, encontrou que quanto mais perto do tronco das árvores, maiores foram as deposições das frações miscelânea e folhas, com aporte anual para a fração folhas de 93%, 6% para a fração miscelânea e de 1% para galhos grossos. O autor ressalta que a permanência dos galhos mortos aderidos aos troncos das árvores e a baixa idade do povoamento contribuíram para a menor deposição desta fração.



Vários fatores afetam a quantidade de resíduos que irão formar a serapilheira, entre eles destacam-se: o clima, o solo, as características genéticas das plantas, a idade e a densidade de plantas em um mesmo povoamento. Brun et al. (2013), ressalta ainda que o acúmulo de serapilheira sobre o solo tende a variar de acordo com o crescimento das árvores do sítio, de espécie para espécie, de híbrido para híbrido ou de clone para clone, também de acordo com as condições de solo e clima do local de plantio.

Outro aspecto que é destacado pelo mesmo autor, refere-se ao acúmulo de serapilheira sobre o solo, o qual é regulado pela quantidade de material que cai da parte aérea das plantas e pela sua velocidade de decomposição. Quanto maior esta quantidade de material que cai e quanto menor a velocidade de decomposição, maior será a camada de serapilheira acumulada (KOLM, 2001).

Dentre as principais funções da serapilheira acumulada sobre o solo, temos a reposição e manutenção nutricional do sítio através da decomposição dos resíduos da floresta, que são depositados sobre o piso florestal, constituindo a via mais importante do ciclo biogeoquímico. Esse ciclo juntamente com o bioquímico, permite que as árvores possam sintetizar a matéria orgânica por meio da fotossíntese, reciclando os nutrientes, especialmente em solos altamente intemperizados, onde a biomassa vegetal depositada sobre o piso florestal é o principal reservatório de nutrientes (SCHUMACHER, 1992).

Contudo, a adição de material orgânico através da decomposição da serapilheira acumulada, tem se mostrado como uma técnica capaz de melhorar a agregação, a capacidade de armazenamento de água, a condutividade hidráulica, a densidade, o grau de compactação e a resistência à erosão hídrica e eólica (LEROY et al., 2008).

Dentre os atributos químicos, a matéria orgânica do solo apresenta potencial para ser utilizada como atributo-chave da qualidade do solo, pois além de satisfazer o requisito básico de ser sensível a modificações pelo manejo do solo, é ainda fonte primária de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (CONCEIÇÃO et al., 2005).

De acordo com Azevedo et al. (2007), os solos apresentam algumas funções ambientais, relacionadas principalmente à manutenção de ecossistemas, como a sustentação da produção de biomassa, filtragem, tamponamento e local de transformações, habitat biológico e reserva genética.

Contudo, a qualidade do solo é influenciada por propriedades químicas, ou seja, pela fertilidade. As intensidades de revolvimento do solo e de incorporação dos resíduos culturais promovem modificações nos teores da matéria orgânica, na capacidade de troca de cátions, no pH e na dinâmica dos íons (FALLEIRO et al., 2003).

Desta forma, relacionar o acúmulo de serapilheira sobre o solo depositado naturalmente, com diferentes taxas de resíduos deixados pela colheita florestal, poderá fornecer subsídios fundamentados para indicação de um melhor aproveitamento da produção do sítio local, sem agredir a sustentabilidade do ecossistema em questão e não ocasionar o esgotamento nutricional do solo.

## 2.4 BIOMASSA FLORESTAL

Na busca por um melhor entendimento da estrutura de um dado ecossistema, torna-se fundamental conhecermos a quantidade de biomassa acumulada no sítio. Segundo Golley (1975), a biomassa representa a matéria orgânica armazenada no ecossistema, sendo utilizada por muitos países em desenvolvimento como fonte de energia, devido ao seu rápido crescimento, produtividade e possibilidades de uso.

De acordo com Souza e Fiorentini (2013), a biomassa pode ser expressa em peso verde ou peso seco, onde o peso verde refere-se ao material fresco, contendo uma proporção variável de água, enquanto o peso seco se refere aos componentes obtidos após a secagem em estufa, até o peso constante. Para Curlin (1970), a distribuição da biomassa nos diferentes componentes da planta, geralmente segue a seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas.

O acúmulo de biomassa é afetado por fatores ambientais e fatores da própria planta (BARICHELO; SHUMACHER; VOGEL, 2005). Para Kramer e Kozlowski (1972), a acumulação da biomassa é influenciada principalmente por fatores como luz, temperatura, umidade, fertilidade do solo e doenças. Além disso, fatores como espécie, idade do povoamento, material genético, tipo de solo, disponibilidade hídrica, disponibilidade de nutrientes, espaçamento, luz e temperatura também podem influenciar no acúmulo de biomassa em um ecossistema florestal (VIERA, 2012).

Com isso, entende-se que a biomassa e o crescimento das árvores dependem principalmente de fatores relacionados com a qualidade do sítio, para que ocorra uma produtividade e perpetuidade do ecossistema, afim de que estes possam ser utilizados para as gerações futuras. Diante disso, estudos referentes ao estoque de biomassa em povoamentos de eucalipto se tornam importantes porque permitem obter informações sobre as características de diferentes ecossistemas e, direcionam para a tomada de decisões sobre o planejamento e tipo de manejo a ser utilizado (ANDRAE; KRAPPENBAUER, 1983).

Além disso, através de informações sobre biomassa e sua concentração de elementos minerais, pode-se calcular o reservatório de nutrientes minerais da floresta (GOLLEY, 1975) e, manter a ciclagem de nutrientes e o desenvolvimento do povoamento. Portanto, faz-se necessário que a manutenção dos nutrientes no solo, bem como, da produtividade de biomassa, seja monitorada para que seus efeitos não venham comprometer a sustentabilidade da produção florestal.

## 2.5.MANEJO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS

O crescimento de plantios florestais tem aumentado significativamente em todo o mundo (FAO, 2010), com isso, novas plantações estão sendo estabelecidas em diferentes tipos de solo e, sob diferentes condições climáticas e de manejo, sendo que a capacidade produtiva de um determinado local, depende principalmente da fertilidade do solo e das estratégias de manejo adotadas pelas empresas florestais (TIARKS et al., 2000).

Práticas como a queima dos resíduos florestais, eram adotadas no passado por muitas empresas florestais, como forma de limpar o terreno e facilitar as operações, além de promover um melhor desenvolvimento das plantas (CHEN e XU, 2005). Além disso, atualmente observa-se no novo cenário florestal uma alternativa para o uso dos resíduos deixados pela colheita, como a utilização na base energética e também como uma fonte de combustível e matéria prima para a produção de lascas de madeira.

Porém, através de muitos estudos realizados, estas práticas de eliminação dos resíduos da colheita através da queima e como uso energético dos mesmos,

tem sido crescentemente discutida, principalmente pelo fato, de que suas consequências são significativas principalmente na perda de matéria orgânica do solo, bem como, de nutrientes alocados nestes resíduos e ainda a degradação das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (LACLAU et al., 2005; ROCHA, 2013; CHEN e XU, 2005; HÉRNANDEZ et al., 2009) além de um declínio na produtividade (KUMARASWAMY et al., 2014).

Devido a isso, uma forma encontrada pelas empresas para resolver o problema dos resíduos gerados pela colheita tem sido o sistema de cultivo mínimo, onde ocorre a retenção dos resíduos no local da colheita. Esta é uma técnica de gestão alternativa, que inclui tanto a distribuição uniforme dos resíduos ou a sua colocação em uma leira, onde os resíduos são empurrados para uma linha criando então, espaço livre para o plantio de novas mudas (CHEN e XU, 2005).

Há empresas que trituram os resíduos e procuram incorporá-los ao solo. Outras os deixam espalhados sobre a área, procurando apenas afastá-los um pouco da linha de plantio (DEDECEK et al., 2007). Segundo os autores, a manutenção dos resíduos aumenta o conteúdo de água disponível na superfície do solo, comparativamente à retirada total dos resíduos da colheita.

Segundo Gonçalves et al. (2002), o cultivo mínimo melhora ou mantém as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, o que conseqüentemente irá aumentar ou manter a produtividade da floresta, devido ao fato, de que a manutenção dos resíduos no campo, reduz a exportação de nutrientes e com isso, aumenta a disponibilidade destes para as plantas.

O autor ressalta ainda que é fundamental analisar o sistema de colheita utilizado e o manejo adequado dos resíduos, pois estes apresentam grande influência na quantidade de resíduos orgânicos que permanecem sobre o solo, e conseqüentemente na exportação de nutrientes via colheita, sendo que o sistema de colheita onde todos os resíduos florestais (folhas, galhos e casca) são deixados no campo é o mais indicado, do ponto de vista de conservação do solo.

Além disso, a gestão dos resíduos da colheita influencia na formação da microbiota do solo, conforme é corroborada por Mendham et al. (2002), os quais encontraram maior biomassa microbiana do solo sob tratamentos em que os resíduos foram retidos, sugerindo mudanças na qualidade de C do solo ao nível microbiano, onde os subprodutos da atividade microbiana resultou em maior acúmulo de C no solo a longo prazo.

Colozzi et al. (1999) observaram que a permanência de resíduos na camada superficial diminui as oscilações de temperatura e umidade na superfície do solo, e estimulam ainda as comunidades microbianas.

Outro fator importante do uso dos resíduos florestais na manutenção do sítio foi observado por Silva et al. (2007), onde os autores verificaram que o tráfego sobre os resíduos florestais atenuou a compactação do solo, principalmente na condição de galhada + casca (GC), onde a pior situação foi a condição de solo limpo (SR), concluindo assim, que o solo sem resíduo (SR) é mais suscetível à compactação, e a presença de galhada + casca (GC) é a condição que oferece maior resistência à compactação.

Viera (2012) concluiu que deve-se evitar a remoção dos resíduos (folhas, cascas e galhos) durante a colheita florestal, contribuindo com a sustentabilidade ambiental, através do incremento da disponibilidade de nutrientes após decomposição desse material, conseqüentemente, diminuindo o uso de adubação (redução de custos e passivos ambientais), para reposição nutricional do sítio florestal.

Diante disso, o manejo adequado dos resíduos deixados pela colheita da madeira entre uma rotação e outra, é de fundamental importância no que se refere principalmente na fertilidade do solo e para a sustentabilidade de toda a produção florestal, pois, quando gerenciados corretamente podem melhorar a dinâmica da matéria orgânica do solo e a ciclagem de nutrientes, criando assim, um ambiente bastante favorável para o crescimento e desenvolvimento das plantas.

## 2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRAE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de Araucária de 17 anos em Passo Fundo, RS. Parte I: Inventário de Biomassa. In: (Eds). **Pesquisa Austro-Brasileira 1973- 1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lambertii* e *Eucalyptus saligna***. Santa Maria, Brasil/ Viena-Áustria: Universidade Federal de Santa Maria/ Universitaet fuer Bodenkultur, 1983. p. 16-29.

AZEVEDO, A. C. et al. A evolução da vida e as funções do solo no ambiente. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. v. 5, p. 1-48.

BALIEIRO et al. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 39, n. 6, p. 597-601, jun. 2004.

BARICHELO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. Quantificação da biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135.2005.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2009 – Ano base 2008**. Resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE. 2009. 48p.

BRAY, J. R.; GORHAM, E. Litter production in forest of the world. **Advances in Ecological Research**, London, v. 2, n. 1, p. 101–157, 1964.

BRUN, E. J. et al. Relação entre o acúmulo de serapilheira sobre o solo e variáveis dendrométricas em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, em Eldorado do Sul/RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v. 1, n. 1, p. 24-31, jan./abr., 2013.

CAMPOS, M. L. et al. A. Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. (Boletim Agropecuário, n. 64).

CBI. **Guia do Eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. 2008. 20p.

CHEN, C. R.; XU, Z. Soil carbon and nitrogen pools and microbial properties in a 6-year-old slash pine plantation of subtropical Australia: impacts of harvest residue management, **Forest Ecology and Management** . v. 206, p. 237-247, 2005.

COLOZZI, F. A. et al. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas: Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, p. 487- 508, 1999.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade de solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 29, p.777-788, 2005.

CORRÊA, R. C. et al. Deposição de serapilheira e micronutrientes ao longo das estações do ano em um plantio de eucalipto estabelecido sobre pastagem natural

degradada no bioma pampa. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 435-442, jun. 2016.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 490 p.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: Youngberg, C. T. e C. B. Davey. (Eds.). **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p. 313 - 326.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J.; MENEGOL, O. Influência do manejo dos resíduos e dos sistemas de preparo do solo no crescimento de eucaliptos em segunda rotação. **Scientia forestalis**, Piracicaba, n. 74, p. 9-17, jun. 2007.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n.6 , p. 1097-1104, 2003.

FAO. **Avaliação de Recursos Florestais de 2010**. Organização de Alimentação e Agricultura das Nações Unidas, Roma, Itália, 2010.

FOELKEL, C. E. B. “Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores”. **Eucalyptus Newsletter**, n. 2, out./2005.

FREITAS, R. do A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hil ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização no município de Alegrete – RS**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

GOLLEY, F. B. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. Tradução de Eurípides Malavolta. São Paulo: EPU, 1975. 256 p.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, cap. 3, v. 1, p. 131-204, 2002.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144 p.

HÉRNANDEZ, 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**. v. 258,p. 92-99, 2009.

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

KOLM, L. **Ciclagem de nutrientes e variação do microclima em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden manejadas através de desbastes progressivos**. 2001. 88 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. 2001.

KRAMER, R. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Goulbenkian, 1972. 745 p.

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

LACLAU, J. P. et al. Nutrient cycling in a clonal population of eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in the Congo : . three input and output budgets and the consequences for the sustainability of plantations. **Forest Ecology and Management**. V. 210, p. 375 - 391, 2005.

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

LEROY, B. L. M. et al. The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. *Soil Use and Management*, Amsterdam, v. 24, n. 2, p. 139-147, Jun. 2008.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

MENDHAM, D. S. et al. 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.



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

PALLARDY, S. **Physiology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 2008. 454p.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 285-306.

POGGIANI, F.; SHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. 427 p.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedad, conservación y mejoramiento**. México: Limusa Noriega, 1990. 634p.

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

REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 149- 162, jul./dez. 1985.

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

ROCHA, J. H. T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis***. 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2013.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell.** 1992, 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1992.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. Complexidade dos ecossistemas: Porto Alegre, 1997. 50 p.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, jan.- jun., 2001.

SCHUMACHER, M. V, et al. Retorno de Nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia – negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**. v. 27n. 6. p.791-798. Viçosa – MG. nov./dec. 2003.

SILVA, A. R. et al. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois Latossolos. **Pesquisa Agropecuária. Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 89-93, 2007.

SOUZA, J. T.; FIORENTINI, L. D. Quantificação da biomassa e do carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill x Maiden, em Santa Maria, RS. **Unoesc & Ciência – ACET**. v. 4, n. 2, p. 253-262, jul./dez. 2013.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 36: 143-147, 1972.

TIARKS, A. et al. Loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations in semitropical south-eastern United States In: NAMBIAR, E.K. S., TIARKS, A., COSSALTER, C., RANGER, J. (Eds.). Site management and productivity in tropical plantation forests: a progress. Centro de Pesquisa Florestal Internacional, Bogor, Indonésia, p. 101-103, 2000.

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil**. 2012. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

VIERA, M. **Crescimento inicial e produtividade em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agrossilvicultural**. 2010. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

VITAL, M. H. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. **Forest ecosystems: concepts and management**. San Diego: Academic Press, 1985. 340 p.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi realizado no horto florestal Barba Negra, localizado no município da Barra do Ribeiro - RS, pertencente à Empresa Celulose Riograndense, conforme as coordenadas  $30^{\circ} 40' 96''$  S e  $51^{\circ} 22' 15''$  W, Figura 1.

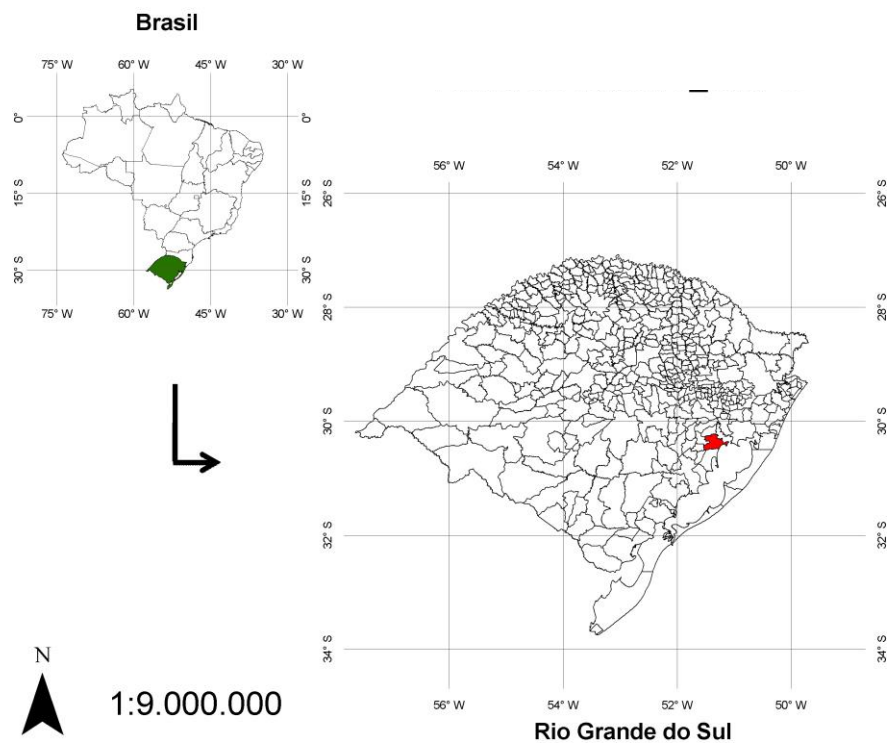


Figura 1 – Localização do município de Barra do Ribeiro, RS (destaque em vermelho). Fonte: elaborado pelo autor.

#### 3.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E ATRIBUTOS DO SOLO

O Clima predominante da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com temperatura média das máximas oscilando em torno de  $25^{\circ}\text{C}$  e a média das

mínimas em torno de 15,5 °C, temperatura média anual é de 19,3°C e a precipitação média anual é cerca de 1.322,0 mm, conforme a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2014), Figura 2.

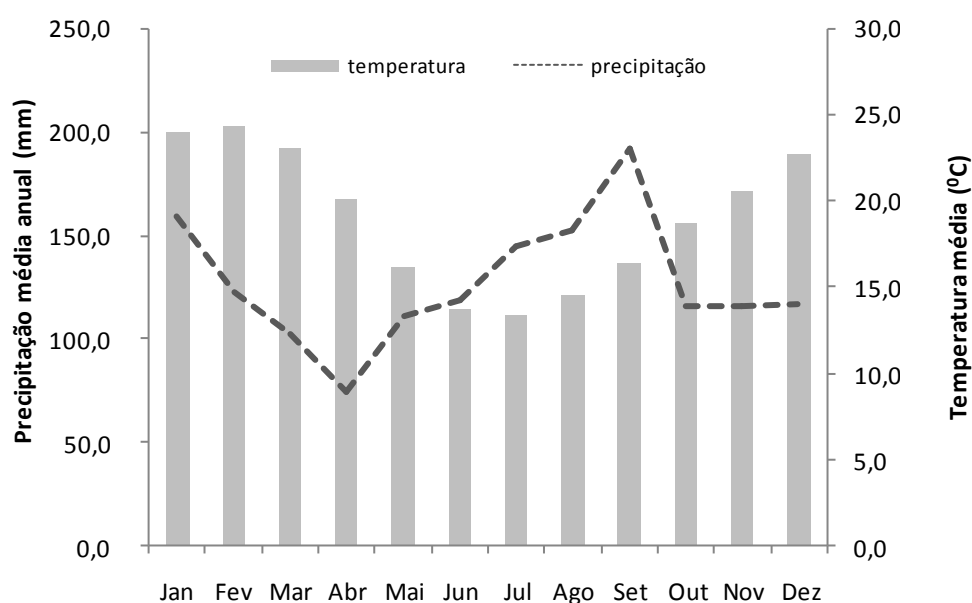


Figura 2 - Diagrama climático da região do estudo. Valores referentes à média mensal anual do plantio (2006) até o corte raso (2013).

Fonte: Estação meteorológica monitorada pela empresa CMPC no local de estudo.

O solo na região de estudo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico espessarênico, segundo a classificação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004), apresentando como características principais textura arenosa - média, contendo em média 66% de areia grossa, 7% de areia fina, 12% de silte e 14% de argila, conforme os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos físicos do solo em um povoamento de *Eucalyptus saligna* localizado no horto florestal Braba Negra - RS aos 7 anos de idade.

| Atributos (%) | 0 – 20             | 20 – 40        | 40 – 60        | 60 – 80        | 80 – 100       |
|---------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|               | Profundidades (cm) |                |                |                |                |
| Areia Grossa  | 76,43<br>±4,75     | 71,02<br>±3,85 | 66,89<br>±4,60 | 61,19<br>±6,37 | 56,34<br>±6,76 |
| Areia Fina    | 7,07<br>±1,93      | 6,83<br>±2,08  | 7,36<br>±2,00  | 7,34<br>±2,53  | 7,15<br>±2,11  |

| Atributos (%) | 0 – 20                | 20 – 40               | 40 – 60               | 60 – 80               | 80 – 100              |
|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|               | Profundidades (cm)    |                       |                       |                       |                       |
| Silte         | 11,60<br><i>±3,36</i> | 12,43<br><i>±2,66</i> | 12,52<br><i>±3,10</i> | 12,27<br><i>±3,18</i> | 13,80<br><i>±2,80</i> |
| Argila        | 4,89<br><i>±2,53</i>  | 9,73<br><i>±1,99</i>  | 13,23<br><i>±4,21</i> | 19,19<br><i>±5,39</i> | 22,71<br><i>±7,52</i> |

Onde: AG= areia grossa (2 - 0,2 mm); AF= areia fina (0,2 - 0,05 mm); Silte (0,05 - 0,002 mm); Argila (< 0,002 mm). Valores em *itálico* referem-se ao desvio padrão da média.

### 3.3 POVOAMENTO DE EUCALYPTUS SALIGNA

O estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus saligna* com sete anos de idade, implantado com espaçamento de 3 m x 3 m. A implantação do povoamento de *Eucalyptus saligna* ocorreu no ano de 2006.

Para a implantação do povoamento de *Eucalyptus saligna*, foi realizado o preparo do solo no mês de abril de 2006, onde fez-se a subsolagem com trator de esteira à 45 cm de profundidade e adubou-se com 200 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples no sulco de plantio. Também foi feita a aplicação de 3 L ha<sup>-1</sup> de herbicida pré-emergente (Goal oxyfluorfen) na faixa de 1 m da linha do plantio para o combate de plantas daninhas.

Antes do plantio foi realizada capina química em área total com Scout (glifosato) (4 kg ha<sup>-1</sup>) e aplicação 2000 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico. A fertilização de base foi em covetas laterais à 10 cm da muda, aplicando-se 100 g/planta de NPK 06:30:06 + 1% Zn + 0,3% de Cobre.

Quatro meses após o plantio foi realizada capina química manual na linha e entrelinha com 2 Kg ha<sup>-1</sup> de Scout (glifosato) e adubação de cobertura (200 Kg ha<sup>-1</sup> de NPK 12:00:20 + 0,7% de Boro) aplicada manual em coroa na projeção da copa.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SAS 9.1 (2012), ao nível de 5% de probabilidade de erro. A separação

dos contrastes de médias utilizou-se o teste de Tukey, considerando-se delineamento inteiramente casualizado.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, D. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

**SAS Statistical Analysis System**: Programa de computador, ambiente VM. Cary, 2012. Versão 9.1.2.

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS, 10.ed., 2004. 400p.

## RESUMO

### BIOMASSA E NUTRIENTES EM POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS SALIGNA*

AUTOR: Catarine Barcellos Consensa  
ORIENTADOR: Mauro Valdir Schumacher

O objetivo deste estudo foi quantificar a biomassa arbórea acima do solo, da serapilheira acumulada e do sub-bosque, bem como, quantificar o estoque de nutrientes nos diferentes componentes das árvores, na serapilheira acumulada e no sub-bosque em um povoamento de *Eucalyptus saligna* com 7 anos de idade. Primeiramente delimitou-se uma área amostral de um hectare, 100 m x 100 m, onde realizou-se a medição de todos os diâmetros e a altura de 20% do total de árvores. Com base no diâmetro mínimo e máximo, foram delimitadas seis classes diamétricas, em cada classe foram selecionadas três árvores para serem abatidas. As árvores foram seccionadas ao nível do solo e fracionadas nos componentes: folhas, galhos finos, galhos grossos, casca e madeira. Coletou-se uma amostra representativa de cada fração, bem como, a pesagem para determinação da biomassa. Para amostragem da serapilheira acumulada foram coletadas 120 amostras, distribuídas aleatoriamente, utilizando uma moldura com área útil de 0,25 m<sup>2</sup>. Para estimativa da biomassa do sub-bosque coletou-se toda vegetação sobre o solo em 10 parcelas de área útil de 6 m<sup>2</sup>. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório onde foram secas a 70°C, e posteriormente encaminhadas para análise química para determinação dos macro e micronutrientes. O estoque total de nutrientes no solo foi de 4038,33 kg ha<sup>-1</sup>. A biomassa total arbórea foi de 222,11 Mg ha<sup>-1</sup>, com uma contribuição relativa de 90,5% madeira; 3,7% de casca; 2,7% de galho grosso; 1,8% de folha e 1,3% de galho fino. A quantidade total de macronutrientes encontrada na biomassa arbórea foi de 1392,21 kg ha<sup>-1</sup>, e 40,48 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes, com uma magnitude de distribuição nos compartimentos arbóreos de: madeira > casca > folha > galho grosso > galho fino. A serapilheira acumulada sobre o solo, apresentou uma biomassa total 17,48 Mg ha<sup>-1</sup>, e um estoque total de 423,05 kg ha<sup>-1</sup> e 20,71 kg ha<sup>-1</sup> para macronutrientes e micronutrientes, respectivamente. A biomassa total encontrada no sub-bosque foi de 15,85 Mg ha<sup>-1</sup> e o estoque total de nutrientes foi de 410,19 kg ha<sup>-1</sup> para macronutrientes e 12,48 kg ha<sup>-1</sup> para micronutrientes.

**Palavras-chave:** Silvicultura. Ciclagem de Nutrientes. Nutrição Florestal.



## ABSTRACT

### BIOMASS AND NUTRIENTS IN *Eucalyptus saligna* STAND

AUTHOR: Catarine Barcellos Consensa

ADVISER: Mauro Valdir Schumacher

The objective of this study was to quantify aboveground tree biomass, accumulated litter and understorey, as well as, quantify the stock nutrient in the different components of the trees, litter accumulated and understorey in a settlement of *Eucalyptus saligna* with 7 years-old. The first was delimited the experimental plots of 100 m x 100 m, where all the diametric were measured and the height of 20% of the total trees. Based on the minimum and maximum diametric, six diametric classes were delimited, and in each diametric class three trees were selected to be harvested. The trees were sectioned at ground level and fractionated in the components: leaves, thin branches, thick branches, bark and wood. A representative sample of each fraction was collected as well as weighing for biomass determination. For the sampling of accumulated litter 120 samples were collected, randomly distributed, using a frame with area of 0.25 m<sup>2</sup>. In order to estimate the understorey biomass, all vegetation on the soil was collected in 10 plots of 6 m<sup>2</sup> area. The samples were sent to the laboratory where they were dried at 70°C and then sent to the chemical analysis for determination of macro and micronutrients. The total nutrient stock in the soil was 4038.33 kg ha<sup>-1</sup>. The total tree biomass was 222.11 Mg ha<sup>-1</sup>, with a relative contribution of 90.5% wood; 3.7% bark; 2.7% of thick branches; 1.8% leaf and 1.3% fine branches. The total amount of macronutrients found in tree biomass was 1392.21 kg ha<sup>-1</sup> and 40.48 kg ha<sup>-1</sup> of micronutrients, with a distribution magnitude in the tree compartments of: wood > bark > leaf > thick branches > fine branches. The accumulated litter on the soil showed a total biomass of 17.48 Mg ha<sup>-1</sup>, and a total stock of 423.05 kg ha<sup>-1</sup> and 20.71 kg ha<sup>-1</sup> for macronutrients and micronutrients, respectively. The total biomass found in the understorey was 15.85 Mg ha<sup>-1</sup> and the total nutrient stock was 410.19 kg ha<sup>-1</sup> for macronutrients and 12.48 kg ha<sup>-1</sup> for micronutrients.

**Keywords:** Forestry. Nutrients Ciclyng. Forestry nutrition.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Entre as plantações de árvores de rápido crescimento, as espécies de eucalipto desempenham um papel cada vez mais importante para satisfazer a demanda mundial por produtos florestais. O gênero *Eucalyptus* apresenta grande potencial para produção de biomassa no Brasil devido a boa adaptação às condições edafoclimáticas do país e aos programas de melhoramento genético que tem potencializado ainda mais a produção madeireira, chegando a atingir, em determinadas regiões, produção superior a  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (QUEIROZ et al., 2009).

Do ponto de vista econômico, a melhor espécie florestal é aquela que produz maior quantidade de biomassa, principalmente de madeira, no menor intervalo de tempo, com o mínimo de fertilizantes, entretanto, nem sempre estes quesitos são os melhores do ponto de vista ecológico do sistema (SCHUMACHER e CALDEIRA, 2004). Segundo Guo et al. (2002), é importante que as espécies corretas sejam selecionadas, pois assim será possível atingir a máxima produção de biomassa para um determinado local e minimizar a absorção de nutrientes.

Deste modo, Schumacher, Witschoreck e Calil (2011) afirmam que informações sobre a partição da biomassa e dos nutrientes, nos diferentes componentes da biomassa, são essenciais para definições de espécies e práticas silviculturais quando objetiva-se a sustentabilidade ou manutenção da capacidade produtiva dos sítios florestais. Além disso, a quantificação dos nutrientes nos componentes da biomassa de um povoamento florestal permite avaliar a magnitude dos reflexos que seriam causados no ecossistema, seja por fenômenos naturais ocorridos ou pela intervenção do homem como exportação de nutrientes pela colheita (VIERA; SCHUMACHER; LIBERALASSO, 2011).

A maioria dos nutrientes tem tendência de se concentrar prioritariamente nas folhas, já que é o componente onde encontram-se a maioria das células vivas responsáveis pela fotossíntese e transpiração (VIERA et al., 2012), no entanto a madeira apresenta normalmente a menor concentração de nutrientes por estar associada à retranslocação interna de nutrientes e apresentar atividade fisiológica menos intensa quando comparado aos demais componentes (SALVADOR et al., 2015). Apesar da madeira apresentar as menores concentrações de nutrientes, este é componente que geralmente apresenta o maior estoque de

nutrientes devido aos expressivos valores de biomassa nos povoamentos, fato este que deve ser observado no momento da colheita, já que a madeira é o principal componente retirado do sistema.

Assim, objetivou-se quantificar a biomassa arbórea, a biomassa da serapilheira acumulada e do sub bosque, bem como, quantificar o estoque de nutrientes nos diferentes componentes das árvores, na serapilheira acumulada e no sub-bosque em um povoamento de *Eucalyptus saligna*.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Quantificação da biomassa arbórea

A quantificação da biomassa arbórea ocorreu após a medição das parcelas do povoamento de *Eucalyptus saligna*, quando o mesmo encontrava-se com 7 anos de idade

No povoamento estudado, inicialmente fez-se um inventário florestal da área experimental, onde foram alocadas doze parcelas amostrais de 25 m x 30 m. Em cada parcela mediu-se os diâmetros a 1,30 m de altura (DAP) de todas as árvores da área amostral (867 árvores) e a altura de 20% do total de árvores.

As medidas de diâmetro foram realizadas com auxílio de fita diamétrica e, a altura com um aparelho tipo Vertex (modelo VERTEX III). De posse do valor mínimo e máximo do DAP das árvores, fez-se a distribuição das árvores em seis classes diamétricas, de 4 cm de intervalo (7,1-11,2; 11,3-15,4; 15,5-19,6; 19,7-23,8; 23,9-27,9; 28,0-32,0), para cada classe, abrangendo assim todos os DAP's da área amostral.

Posteriormente foram selecionadas três árvores (terço inferior, terzo médio e terzo superior da classe) por classe diamétrica, totalizando 18 árvores.

As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e submetidas à cubagem rigorosa pelo método de Smalian descritas por Machado e Figueiredo Filho (2009).

Para estimativa da biomassa e os nutrientes, as amostras foram coletadas da seguinte forma: para os componentes folha, galho fino (menor que 1 cm de diâmetro), galho grosso (maior que 1 cm de diâmetro) coletou-se uma amostra por árvore. E para os componentes madeira e casca, procedeu-se com a retirada de discos com espessura entre 2 e 3 cm nas posições: na base da árvore, no DAP, na metade da altura total do fuste, na altura comercial do fuste e na metade do ponteiro. A altura comercial foi considerada com diâmetro mínimo do fuste de 7 cm.

Logo após o abate, as amostras foram pesadas no campo em balança de gancho para obtenção da biomassa úmida. Após a pesagem foi separada uma amostra de cada componente da árvore (500 g de cada árvore), para estimar a biomassa seca e quantificar os nutrientes. As amostras foram condicionadas em sacos de papel, identificadas e encaminhadas para secagem no Horto Florestal Barba Negra da empresa CMPC Celulose Riograndense em estufa de circulação de ar a 70°C até atingir peso constante.

Após a secagem, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, onde foi realizado o processo de moagem das amostras e encaminhamento para análise química das mesmas.

A biomassa total das dezoito árvores foi quantificada a partir do teor de umidade das amostras, o qual foi obtido através da seguinte fórmula:

$$Ba = Pt * \left[ 1 - \frac{(Pu - Ps)}{Pu} \right]$$

Sendo,  $Ba$  = a biomassa da amostra (kg / árvore),  $Pt$  = Peso total úmido das amostras (kg);  $Pu$  = Peso úmido das amostras (kg) e  $Ps$  = o Peso seco das amostras (kg).

#### 4.2.2 Biomassa da serapilheira acumulada

Para avaliar a serapilheira acumulada sobre o solo, foram coletadas 10 amostras com o auxílio de uma moldura de ferro com dimensões de 25 cm x 25 cm (Figura 3), totalizando 120 amostras. Sua massa seca foi determinada diretamente através da secagem e pesagem de cada amostra.



Figura 3 - Aspecto da moldura usada para coleta de serapilheira acumulada sobre o solo. No detalhe, à esquerda antes da coleta e à direita após a coleta da serapilheira. Fonte: Autor.

#### 4.2.3 Biomassa do sub-bosque

Para quantificar a biomassa do sub bosque acima do solo foi delimitada uma sub-parcela de 6 m<sup>2</sup> (3 m x 2 m), no centro de cada uma das 12 parcelas do inventário florestal, totalizando 12 amostras. Coletou-se toda a biomassa acima do solo, que posteriormente foi pesada no campo com balanço de gancho,

homogeneizada e retirou-se uma amostra, que foi enviada para o laboratório para análise química.

A biomassa média por hectare do sub bosque e da serapilheira foram estimados em função da área e da biomassa média das unidades amostrais e extrapoladas pela área de um hectare.

#### 4.2.4 Estimativa da biomassa arbórea e estoque de nutrientes na biomassa

A biomassa arbórea e o estoque total de nutrientes das árvores não amostradas foram estimados através de equações de regressão com o auxílio do software estatístico SAS 9.1.2 (2012), realizando procedimento stepwise, com verificação da independência dos resíduos pela estatística de Durbin-Watson.

Utilizaram-se como variáveis dependentes, a biomassa arbórea e o estoque de nutrientes de cada componente arbóreo (folha, galho fino, galho grosso, casca e madeira). Já para as variáveis independentes e combinações utilizadas na modelagem foram às seguintes:  $d$  (diâmetro à altura do peito),  $h$  (altura total),  $d^2$ ,  $h^2$ ,  $d^3$ ,  $h^3$ ,  $d.h$ ,  $d^2.h$ ,  $d^3.h$ ,  $d.h^2$ ,  $d.h^3$ ,  $(d.h)^2$ ,  $(d.h)^3$ ,  $d^{-1}$ ,  $h^{-1}$ ,  $(d^2)^{-1}$ ,  $(h^2)^{-1}$ ,  $(d^3)^{-1}$ ,  $(h^3)^{-1}$ ,  $(d.h)^{-1}$ ,  $(d^2.h)^{-1}$ ,  $(d^3.h)^{-1}$ ,  $(d.h^2)^{-1}$ ,  $(d.h^3)^{-1}$ ,  $((d.h)^2)^{-1}$ ,  $((d.h)^3)^{-1}$ ,  $d.h^{-1}$ ,  $d^2.h^{-1}$ ,  $d^3.h^{-1}$ ,  $d^{-1}.h$ ,  $d^{-1}.h^2$ ,  $d^{-1}.h^3$ ,  $1/d^2.h^{-1}$ ,  $1/d^3.h^{-1}$ ,  $1/d^{-1}.h^2$ ,  $1/d^{-1}.h^3$ , além do logaritmo natural das variáveis dependentes e independentes.

A partir destes modelos estimou-se a biomassa arbórea e o estoque de nutrientes para os diferentes componentes das demais árvores do povoamento que não foram abatidas e que não tiveram seu peso determinado. Os modelos foram escolhidos conforme o ajuste e a precisão dos parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e o erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ).

Após a seleção das equações, estimou-se o estoque de nutrientes na biomassa arbórea, por hectare, para cada componente, pelos dados do inventário florestal e extrapolação com base na área da unidade amostral.

#### 4.2.5 Determinação de nutrientes na biomassa

Para determinação da concentração de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus saligna*, bem como na serapilheira acumulada sobre o solo e sub bosque, foram utilizadas as amostras coletadas para determinação da biomassa de cada componente, as quais no laboratório foram secas, moídas e submetidas às análises químicas para obtenção dos teores dos nutrientes.

As análises do N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn foram realizadas por digestão úmida, as análise de B foram realizada por digestão seca. As análises de N foram realizadas por titulação pelo método de Kjeldahl (digestão sulfúrica =  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ ). Cálcio e Magnésio e Zinco foram determinados por espectrometria de absorção atômica, Potássio por fotometria de chama e Fósforo, Enxofre e Boro por colorimetria conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A quantidade de nutrientes em cada componente arbóreo, na serapilheira acumulada e no sub-bosque foi encontrada através do produto entre a biomassa e as concentrações de nutrientes em cada um dos referidos componentes, conforme mostra a seguinte fórmula:

$$N_{ac} = \frac{(Biomassa * Teor)}{1000}$$

Sendo:  $N_{ac}$  = acúmulo de nutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$  para macronutrientes e  $\text{g ha}^{-1}$  para os micronutrientes) para cada componente arbóreo do povoamento; Biomassa = biomassa de cada classe ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), Teor = teor de nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$  ou  $\text{mg kg}^{-1}$ ) do componente arbóreo.

No caso do tronco (casca e madeira) para obter o conteúdo de nutrientes foi utilizada a biomassa seca de cada um dos segmentos pelas concentrações dos nutrientes nos discos de madeira e sua respectiva casca de cada secção.

## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Características Dendrométricas

Na Tabela 2, verificam-se as principais variáveis dendrométricas do povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade, obtidos pelo inventário florestal.

Tabela 2 - Variáveis dendrométricas do povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| <b>Variáveis</b> | <b>DAP</b><br>(cm) | <b>Altura</b><br>(m) | <b>N</b><br>(árv ha <sup>-1</sup> ) | <b>G</b><br>(m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | <b>V c/c</b><br>(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | <b>V s/c</b><br>(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Média            | 20,64              | 30,68                | 867                                 | 18,93                                          | 411,11                                             | 408,39                                             |
| DesvPad          | 4,29               | 4,57                 | -                                   | 0,01                                           | 0,02                                               | 0,02                                               |
| CV %             | 20,80              | 14,89                | -                                   | 35,33                                          | 4,14                                               | 3,48                                               |

Onde: DAP = diâmetro altura do peito; N = número de árvores; G = área basal média; V c/c = volume com casca, V s/c = volume sem casca; DesvPad = desvio padrão da média e CV = coeficiente de variação da média.

Viera e Shumacher, (2017) ao avaliar *Eucalyptus saligna* no bioma Pampa, aos 18 meses, com uma densidade de 1422 árvores ha<sup>-1</sup>, observaram um DAP médio de 7,4 cm e uma altura de 7,6 m. No entanto, Londero et al. (2015), também com *E. saligna*, aos 7 anos de idade, no município de Guaíba/RS, observaram um DAP médio de 20,6 cm, altura de 28,4 m e volume sem casca de 432,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, valores muito similares aos obtidos pelo presente estudo, já que a espécie, idade e condições de sítio dos estudos foram análogos.

Em estudo com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes tipos solos, também aos 7 anos, Salvador et al. (2015), observaram um crescimento médio em DAP de 17,94 cm, altura de 28,0 m, valores estes similares aos obtidos pelo estudo, porém o volume obtido pelos autores (457,88 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) foi superior.

Já Viera et al. (2013) ao avaliar um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, aos 10 anos de idade em Eldorado do Sul/RS, também



obtiveram DAP médio de 20,16 cm, altura média de 28,67 m e volume com casca de 444,28 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. O volume encontrado pelos autores supracitados foi superior ao encontrado pelo estudo devido ao maior densidade de árvores no sítio.

Aos 7 anos de idade, o povoamento apresentou mais de 80% dos indivíduos (741 árvores) na faixa diamétrica entre 15,5 - 27,9 cm de DAP, apresentando assim uma curva de distribuição diamétrica semelhante à curva normal, característica de povoamentos equiâneos (Figura 4). Inicialmente o povoamento apresentava 1152 árvores ha<sup>-1</sup>, ocorrendo uma redução para 867 árvores ha<sup>-1</sup>, aos 7 anos de idade, o que representa uma perda de 24,7% de indivíduos do plantio até a idade de corte.

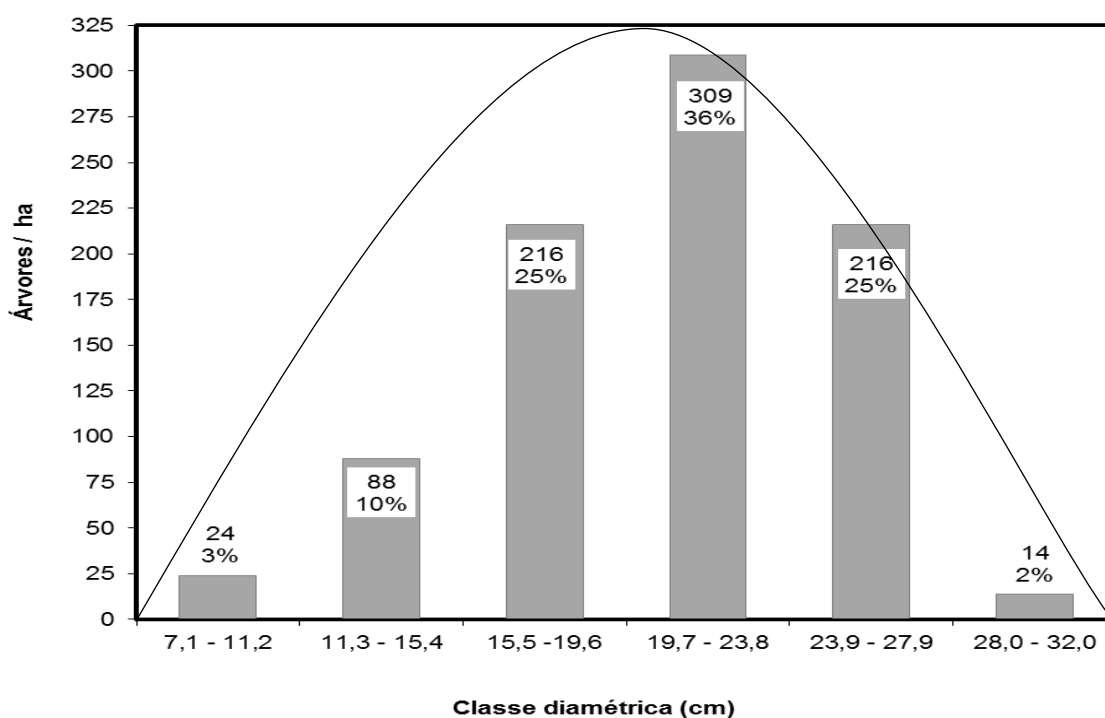


Figura 4 - Distribuição diamétrica em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

#### 4.3.2 Estimativa da biomassa do povoamento de *Eucalyptus saligna*

A biomassa dos componentes das árvores do eucalipto e biomassa total não amostrada do povoamento de *Eucalyptus saligna* foi estimada com base no ajuste

de equações de regressão, sendo selecionadas as equações com os melhores ajustes ( $R^2_{aj.}$ ) e menores erros ( $S_{yx}\%$ ), onde apenas os galhos finos e casca do tronco apresentaram base logarítmica natural conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Equações utilizadas para estimar a biomassa acima do solo dos componentes das árvores em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade.

| Componentes              | Modelos                                         |
|--------------------------|-------------------------------------------------|
| Folhas                   | $Y = b_0 + b_1.(D^3 \cdot H^3)$                 |
| Galho fino               | $\ln Y = b_0 + b_1.(D) + b_2.(H^3)$             |
| Galho grosso             | $\ln Y = b_0 + b_1.(D) + b_2 \cdot (D \cdot H)$ |
| Casca                    | $\ln Y = b_0 + b_1.(D^{-1})$                    |
| Madeira                  | $Y = b_0 + b_1.(D^2)$                           |
| Biomassa total do tronco | $Y = b_0 + b_1.(D^2)$                           |

Onde: ln = logaritmo natural; Y = variável dependente (biomassa em kg por árvore; volume em m<sup>3</sup> por árvore; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> = coeficientes da equação de regressão; D = DAP (diâmetro à altura do peito em cm); H = altura total (m).

As equações obtidas com a análise de regressão apresentaram boa predição das variáveis analisadas, devido ao alto coeficiente de determinação ajustado e ao baixo erro padrão das estimativas, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Estatísticas dos modelos de ajustes das equações de regressão utilizadas para estimar a biomassa acima do solo dos componentes das árvores em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade.

| Componentes               | b <sub>0</sub> | b <sub>1</sub>          | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | Prob>F  | R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub> | Syx     |
|---------------------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|---------|-------------------------------|---------|
| Folhas                    | 2,1200         | 7,17 x 10 <sup>-9</sup> | --             | --             | <0,0001 | 0,9358                        | 0,7473  |
| Galho fino                | -1,3937        | 0,1540                  | -0,000020      | --             | 0,0355  | 0,9211                        | 0,2212  |
| Galho grosso              | -4,1138        | 0,55588                 | -0,00860       | --             | 0,0040  | 0,9546                        | 0,2538  |
| Casca                     | 3,9996         | -34,221                 | --             | --             | 0,0001  | 0,7018                        | 0,5551  |
| Madeira                   | -42,9643       | 0,6405                  | --             | --             | 0,0001  | 0,9859                        | 20,8624 |
| Biomassa total do tronco* | -42,0156       | 0,6610                  | --             | --             | <0,0001 | 0,9865                        | 21,0977 |

\* madeira total + casca total. Onde: b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> e b<sub>3</sub> = coeficientes da equação de regressão; Prob > F = nível de significância para a estatística F; R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro-padrão da estimativa absoluto em %.

O total de biomassa arbórea encontrada no povoamento de *Eucalyptus saligna* foi de 222,12 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 5). A biomassa da madeira sem casca representou 90,5% da biomassa total da árvore, já os componentes casca, galho grosso, galho fino e folha representaram 3,7%; 2,7%; 1,3% e 1,8%, respectivamente, como podemos observar na Tabela 5.

Tabela 5 – Biomassa dos componentes arbóreos (Mg ha<sup>-1</sup>) em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| Análise | Folhas              | Galho fino | Galho grosso | Casca  | Madeira | Total  |
|---------|---------------------|------------|--------------|--------|---------|--------|
|         | Mg ha <sup>-1</sup> |            |              |        |         |        |
| Média   | 4,00b               | 2,93b      | 5,96b        | 8,32b  | 200,91a | 222,12 |
| %       | 1,8                 | 1,3        | 2,7          | 3,7    | 90,5    | 100    |
| DesvPad | 137,24              | 104,95     | 251,65       | 251,65 | 7101,62 | --     |
| CV      | 34,34               | 35,77      | 42,22        | 30,25  | 35,35   | --     |

Onde: % = contribuição relativa dos constituintes arbóreos para a biomassa total; desvpad = desvio padrão da média; CV = coeficiente de variação do conjunto de dados; Letras diferentes em itálico, na horizontal indicam diferenças significativas entre os componentes da biomassa arbórea, ao nível de 0,05 de significância pelo teste de Tukey.

Corroborando com o resultado do presente estudo, Salvador et al. (2016) ao estudar a produção de biomassa arbórea acima do solo em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 6,7 anos de idade, encontrou uma biomassa total de 249,49 Mg ha<sup>-1</sup> e Londero et al. (2015), também com *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade, observou uma produção de 254,2 Mg ha<sup>-1</sup>.

Em um estudo realizado por Pereira et al. (1984), em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 9 anos de idade, estes encontraram uma alocação da biomassa total de 71,31% no tronco; 12,17% na casca; 7,37% nos galhos e 9,15% nas folhas. Valores semelhantes também foram encontrados por Souza e Fiorentin (2013), ao quantificar a biomassa em um povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em Santa Maria, RS aos 11 anos de idade, onde os autores encontraram uma alocação percentual de 72,0%; 14,5%; 8,4% e 5,0% para madeira, galhos, casca e folhas, respectivamente.

Schumacher e Caldeira (2004) estudando a biomassa de um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade em Barra do Ribero/RS, encontraram valores percentuais de 3% para folhas, 5% para os galhos, 7% para a casca e 85% para a componente madeira, estando portanto estes valores similares ao encontrado pelo presente estudo. Além disso, os autores encontraram 136,89 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa arbórea acima do solo.

Valor semelhante foi observado por Benatti (2013), estudando a produção de biomassa arbórea em dois clones de eucaliptos com 6,5 anos de idade, o qual observou que a biomassa total acima do solo foi de 151,59 Mg ha<sup>-1</sup> e 128,14 Mg ha<sup>-1</sup> para o clone I-144 e para o clone I-220, respectivamente. Ainda, ao estudar o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul – RS, aos 10 anos de idade, Viera et al. (2013), encontrou uma produção de biomassa arbórea de 198,5 Mg ha<sup>-1</sup>, estando portanto os valores de biomassa total arbórea abaixo do estoque total encontrado por este estudo.

Ao estudar a produção de biomassa arbórea com o híbrido *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos de idade, em diferentes tipos de solo, na região de Telêmaco Borba - PR, Salvador et al. (2015), encontrou uma biomassa total de 214,94 Mg ha<sup>-1</sup> para o solo com textura arenosa, sendo este valor similar ao encontrado neste trabalho, onde solo também apresentou textura arenosa. Já em solo com textura argilosa, Salvador et al. (2015) encontrou biomassa total de 264,25 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo mais elevada que deste estudo.

Como podemos observar os valores de biomassa total arbórea encontrados nos diferentes estudos supracitados, variam conforme a espécie, tipo de solo, condições edafoclimáticas e idade do povoamento, fatores que podem ser corroborados por Saidelles (2005), o qual afirma que o acúmulo de biomassa sofre algumas restrições em função da espécie, cobertura vegetal, idade do povoamento, época do ano, densidade de plantio, variações do solo e das condições edafoclimáticas onde se encontra estabelecido o povoamento.

Guimarães (2014) ressalta que fatores genéticos (melhoramento e escolha de procedências), e de manejo estão relacionados diretamente com a capacidade de produção das espécies. Ainda, a variação da distribuição da biomassa, de acordo com Abrahamson e Gadgil (1973) nos diferentes órgãos da planta, varia de espécie para espécie; e até mesmo, em uma população da mesma espécie, bem como em razão das condições ambientais e de procedências (CALDEIRA, 1998).

Conforme Curlin (1970), geralmente a parte aérea das árvores tem sua biomassa distribuída na seguinte ordem: madeira > galhos > casca > folhas, sendo semelhante à apresentada pelo presente estudo, o qual apresentou uma ordem decrescente de biomassa para: madeira > casca > galho grosso > folha > galho fino.

De acordo com Gonçalves et al. (2000), Schumacher, Witschoreck e Calil (2011) e Londero et al. (2015), com o crescimento dos povoamentos, a produção de biomassa do lenho tende a aumentar, pois grande parte dos carboidratos que antes eram utilizadas para a produção de folhas, passa então a ser canalizada para a produção do lenho, diminuindo gradativamente a produção de folhas e ramos, o que se confirma nas diferentes classes de diâmetro encontrada por este estudo.

Tabela 6 - Biomassa da serapilheira acumulada e sub-bosque ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| Análise | Serapilheira        | Sub bosque | Serapilheira + Sub bosque +<br>Eucalipto |
|---------|---------------------|------------|------------------------------------------|
|         | $\text{Mg ha}^{-1}$ |            |                                          |
| Média   | 17,48               | 15,85      | 255,45                                   |
| DesvPad | 4,91                | 3,58       | --                                       |
| CV      | 28,09               | 22,59      | --                                       |

Onde: CV = coeficiente de variação do conjunto de dados;

A biomassa de serapilheira acumulada sobre o solo para este estudo foi de  $17,48 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 6). Valor semelhante foi encontrado por Viera et al. (2012) encontrou em média  $14,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de serapilheira estocada sobre o solo em *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* no município de Eldorado do Sul-RS. E em Minas Gerais, por Neto et al. (2013), o qual obteve  $13,42 \text{ Mg ha}^{-1}$  de serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus urograndis*.

Contudo, Santos et al. (2014) relatou uma biomassa acumulada sobre o solo, de  $12,76 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $12,00 \text{ Mg ha}^{-1}$  em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* aos 4,5 e 5 anos de idade, respectivamente, em São Gabriel, RS. Neto et al. (2013), avaliando o acúmulo de serapilheira em povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, *Acacia mangium* e *Mimosa artemisiana*, com 4,5 anos de idade encontraram  $13,42$ ;

6,85 e 2,36 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, valores abaixo do encontrado pelo presente estudo.

Logo, podemos observar que o total de serapilheira acumulada sobre o solo deste estudo mostrou ser superior aos valores encontrados nas literaturas supracitadas, isso porque o acúmulo de serapilheira sobre o solo tende a variar de acordo com o crescimento das árvores no sítio. Além disso, tal aspecto pode ser variável de espécie para espécie ou de clone para clone, também de acordo com as condições de solo e clima do local de plantio (BRUN et al., 2013), bem como de acordo com as diferenças de sítios, idade, densidade de plantio, diferentes características genéticas de cada espécie e da estabilidade do povoamento (VIERA et al., 2010).

Para o sub-bosque, Tabela 6, a biomassa total encontrada foi de 15,85 Mg ha<sup>-1</sup>. Valores bem abaixo do encontrado pelo presente estudo foram encontrados por Viera (2012), ao quantificar a biomassa e nutrientes do sub-bosque em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* aos 10 anos de idade, o qual encontrou biomassa de sub-bosque de 2,9 Mg ha<sup>-1</sup>. Ainda, Salvador et al. (2015), ao estudar o híbrido *Eucalyptus urophylla*, encontrou valores de 1,08 Mg ha<sup>-1</sup> e 0,88 Mg ha<sup>-1</sup> de sub-bosque para solo arenoso e argiloso, respectivamente.

A expressiva biomassa de sub bosque obtida no presente estudo, quando comparado aos demais estudos, pode ser explicada pela extensa área de vegetação de Mata Atlântica que circunda o povoamento, a qual representa uma grande fonte de sementes, com riquíssima biodiversidade de fauna e flora, promovendo assim a dispersão de sementes e o desenvolvimento de um sub bosque denso.

Segundo Onofre et al. (2010), fatores como a densidade das copas, abertura do dossel, condições edáficas favoráveis, densidade do talhão, das condições de sítio e tipo de manejo, bem como da espécie plantada e, idade do povoamento, são alguns dos fatores que afetam na regeneração natural do sub-bosque em plantios de florestas comerciais. Além disso, outros fatores podem estar relacionados com este tipo de vegetação, sendo estes: a baixa luminosidade causada pelo adensamento das copas do povoamento, e a concorrência por água e nutrientes com o desenvolvimento da plantação florestal (REZENDE et al., 1994).

### 4.3.3 Estoque de nutrientes da biomassa arbórea, serapilheira acumulada e sub-bosque

Na Tabela 7, podemos observar que a concentração dos nutrientes nos componentes da biomassa acima do solo no povoamento de *Eucalyptus saligna* varia conforme o componente amostrado. Pode-se verificar ainda, que os teores de nutrientes diferiram significativamente entre si para os componentes da biomassa arbórea.

Tabela 7 – Concentração de macro e micronutrientes nos diferentes componentes das árvores, serapilheira acumulada e sub bosque em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| Nutrientes | Unidade             | Folha                | Galho fino          | Galho grosso         | Casca                | Madeira           | SE                  | SUB                 |
|------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| N          | g kg <sup>-1</sup>  | 15,81a<br>(±0,87)    | 4,58b<br>(±0,32)    | 2,68c<br>(±0,38)     | 3,35c<br>(±0,24)     | 1,17d<br>(±0,06)  | 9,15<br>(±1,27)     | 8,75<br>(±1,32)     |
| P          |                     | 0,98a<br>(±0,05)     | 0,72b<br>(±0,15)    | 0,36c<br>(±0,07)     | 0,63b<br>(±0,13)     | 0,12d<br>(±0,02)  | 0,47<br>(±0,07)     | 0,75<br>(±0,26)     |
| K          |                     | 7,98a<br>(±0,26)     | 5,42b<br>(±0,56)    | 2,47c<br>(±0,32)     | 4,90b<br>(±0,72)     | 1,08d<br>(±0,23)  | 1,31<br>(±0,42)     | 5,08<br>(±2,69)     |
| Ca         |                     | 6,64c<br>(±0,44)     | 10,57b<br>(±3,20)   | 6,56c<br>(±2,01)     | 31,68a<br>(±2,86)    | 0,52d<br>(±0,05)  | 10,03<br>(±1,41)    | 7,82<br>(±1,29)     |
| Mg         |                     | 3,25a<br>(±0,13)     | 2,49b<br>(±0,28)    | 1,56c<br>(±0,35)     | 3,68a<br>(±0,18)     | 0,44d<br>(±0,58)  | 2,49<br>(±0,29)     | 2,44<br>(0,25)      |
| S          |                     | 1,23a<br>(±0,10)     | 0,39b<br>(±0,02)    | 0,28cd<br>(±0,02)    | 0,34cb<br>(±0,04)    | 0,24d<br>(±0,03)  | 0,87<br>(±0,16)     | 1,17<br>(±0,37)     |
| B          | mg kg <sup>-1</sup> | 30,27a<br>(±1,62)    | 11,55b<br>(±0,75)   | 6,96c<br>(±1,01)     | 12,84b<br>(±1,08)    | 3,67d<br>(±0,72)  | 20,84<br>(±4,0)     | 15,14<br>(±3,37)    |
| Cu         |                     | 6,33a<br>(±0,52)     | 5,87a<br>(±0,89)    | 3,16b<br>(±0,46)     | 3,19b<br>(±0,15)     | 1,76c<br>(±0,41)  | 6,64<br>(±1,91)     | 6,0<br>(±1,17)      |
| Fe         |                     | 83,81a<br>(±2,81)    | 62,13ab<br>(±12,94) | 50,36bc<br>(±24,61)  | 52,79b<br>(±10,46)   | 28,72c<br>(±4,95) | 288,93<br>(±126,38) | 142,54<br>(±63,21)  |
| Mn         |                     | 866,68b<br>(±105,35) | 803,96b<br>(±72,11) | 501,04c<br>(±139,30) | 1253,55a<br>(±47,73) | 43,84d<br>(±5,95) | 859,36<br>(±119,13) | 589,09<br>(±110,48) |
| Zn         |                     | 14,84a<br>(±1,58)    | 12,31ab<br>(±1,65)  | 7,29c<br>(±2,33)     | 6,09c<br>(±1,37)     | 10,51b<br>(±1,31) | 15,09<br>(±2,50)    | 20,55<br>(±6,52)    |

\* Médias seguidas pela mesma letra na horizontal não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses representam o desvio padrão da média de cada componente. SE= serapilheira acumulada; SUB= sub-bosque

Conforme podemos observar na (Tabela 7), dentre os componentes da árvore, a folha apresentou as maiores concentrações de N, P, K, S, B, Cu, Fe e Zn, essa tendência deve-se por que a maioria dos nutrientes tende a se concentrar nas estruturas mais novas da planta onde ocorre uma maior atividade metabólica. Esta tendência da maior concentração de nutrientes nas folhas também foi encontrada por Schumacher e Caldeira (2001), ao estudar os teores de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus globulus* aos 4 anos de idade e, Guimarães (2014) ao avaliar os teores de nutrientes em *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis* aos 6 meses de idade.

Schumacher e Poggiani (1993), com base nos resultados de estudo em três espécies de eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana*) com 9; 9 e 12 anos de idade, respectivamente, em Anhembi, SP, inferiram que os nutrientes se concentraram em escala decrescente na ordem de: folhas > ramos > casca > madeira, sendo que para o presente estudo estes se dispuseram de forma semelhante a encontrada pelos autores, a qual seguiu a seguinte ordem de distribuição: folhas > galhos > casca > madeira.

Segundo Epstein e Bloom (2006), a capacidade fotossintética de uma folha é fortemente correlacionada com seu conteúdo de nitrogênio, pois ele é um dos principais constituintes de todos os aminoácidos, proteínas, etc. Ainda conforme os autores, esse nutriente é altamente móvel no floema, fazendo com que quando o suprimento torna-se inadequado, as folhas jovens tornam-se fortes drenos, justificando, portanto a maior concentração deste nutriente no compartimento folhas.

Além disso, o nitrogênio é um nutriente que está relacionados aos mais importantes processos fisiológicos que ocorrem nas plantas, tais como respiração desenvolvimento e atividade das raízes, absorção iônica de outros nutrientes, crescimento, diferenciação celular e genética (MALAVOLTA, 1985).

Associado ao nitrogênio, o mesmo autor, relata ainda que o enxofre se encontra em sua maior parte na composição das proteínas, e participa na formação de alguns aminoácidos essenciais ao metabolismo energético, intervém na síntese de compostos orgânicos, em especial vitaminas e enzimas, sendo um nutriente imóvel o que justifica sua maior concentração também no compartimento folhas.

Já o nutriente potássio está envolvido no crescimento meristemático, além de ser também importante para a manutenção da quantidade de água nas plantas



(EPSTEIN, 1965). A absorção de água pela célula e pelos tecidos é frequentemente consequência da absorção ativa do potássio (EPSTEIN, 1965).

Segundo Malavolta (1980), o K tem a função de ativador de funções enzimáticas e de manutenção da turgidez celular. O autor ressalta ainda, que assim como o potássio, o fósforo também é um elemento móvel e intervém na formação de compostos orgânicos, produção de energia, na respiração, divisão celular e em diversos outros processos metabólicos, como nas substâncias de reserva. Portanto, todos os processos supracitados ocorrem com maior intensidade no compartimento folhas, o que justifica o elevado teor destes nutrientes essenciais, serem encontrados por este estudo no compartimento folhas.

Todavia, o cálcio, magnésio e manganês apresentaram os maiores valores para concentração no componente casca. O cálcio segundo Epstein e Bloom (2006) é um constituinte estrutural da parede celular e faz parte da lamela média da membrana celular, tornando-se indispensável para manter a estrutura e o funcionamento normal das membranas. Além disso, ele é um elemento considerado imóvel no floema e atua na ativação enzimática (MALAVOLTA, 1985). Assim como o Ca, o Mg também atua na ativação enzimática das plantas, e dentre as suas principais funções destaca-se a participação na composição da clorofila, da protoclorofila e da pectina (MALAVOLTA, 1985), o que pode explicar a concentração elevada destes nutrientes na fração casca.

Segundo Vogel et al. (2013), são inúmeros os fatores que afetam a concentração de nutrientes nos diferentes componentes das árvores, dentre eles destacam-se o material de origem do solo, a profundidade do solo, o clima e a espécie usada para o plantio. Também se devem levar em consideração as entradas de nutrientes via poeiras e outros elementos provenientes principalmente, das precipitações que incidem diretamente na floresta, e que ao lavar o dossel transportam vários nutrientes até o solo, onde estes são reabsorvidos e retranslocados dentro da própria planta.

Além disso, Hernández et al. (2009), afirma que as concentrações dos nutrientes nos diversos componentes das árvores de eucalipto, bem como a sua produção de biomassa tem relação direta com a densidade de plantio, a fertilidade do solo e a ciclagem de nutrientes do sítio.

Na Tabela 8, verificam-se as quantidades dos nutrientes acumulados nos diferentes componentes da biomassa das árvores de *Eucalyptus saligna*. Em termos

gerais a menor concentração de nutrientes foi encontrada no componente madeira, e a maior quantidade de nutrientes esta também no componente madeira, devido esta apresentar uma maior quantidade de biomassa.

Tabela 8 - Quantidade de macronutrientes nos componentes da árvore, serapilheira acumulada e sub-bosque em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| Componentes             | N                   | P               | K                 | Ca                | Mg                | S               | Total             |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                         | kg ha <sup>-1</sup> |                 |                   |                   |                   |                 |                   |
| Folha                   | 63,20               | 3,94            | 31,90             | 26,53             | 13,00             | 4,94            | 143,51            |
| Galho fino              | 13,45               | 2,13            | 15,92             | 31,03             | 7,32              | 1,17            | 71,02             |
| Galho grosso            | 15,98               | 2,17            | 14,74             | 39,15             | 9,32              | 1,67            | 83,03             |
| Casca                   | 28,22               | 5,28            | 41,31             | 266,85            | 30,99             | 2,88            | 375,53            |
| Madeira do fuste        | 235,73              | 23,84           | 217,25            | 104,83            | 89,76             | 47,73           | 719,14            |
| Total <i>Eucalyptus</i> | 356,58<br>(25,6%)   | 37,36<br>(2,7%) | 321,12<br>(23,1%) | 468,39<br>(33,6%) | 150,39<br>(10,8%) | 58,39<br>(4,2%) | 1392,21<br>(100%) |
| Total Sub-bosque        | 138,14              | 11,73           | 78,32             | 124,36            | 38,93             | 18,41           | 409,9             |
| Total Serrapilheira     | 159,15              | 8,3             | 22,59             | 174,23            | 43,55             | 15,23           | 423,1             |

Conforme exposto na Tabela 8, observa-se que as quantidades de macronutrientes no povoamento de *Eucalyptus saligna* foram de 1392,21 kg ha<sup>-1</sup>, sendo o Ca o macronutriente com maior quantidade representando 33,6%, e o P o macronutriente que apresentou menor quantidade, contribuindo com apenas 2,7%.

A quantidade de macronutrientes em diferentes componentes acima do solo foi, em geral, em ordem decrescente de: Ca > N > K > Mg > S > P. Essa tendência também foi encontrada por Schumacher e Caldeira (2001) em povoamento de *Eucalyptus globulus*, aos 4 anos de idade. Freitas et al. (2004) também obteve esta distribuição de macronutrientes ao estudar um povoamento de *Eucalyptus grandis*, aos 9 anos de idade.

Para os micronutrientes, o que apresentou maiores quantidades foi o Mn, representando 69,76%, já o Cu foi o micronutrientes que menos contribuiu no estoque total de nutrientes, ou seja, este representou apenas 1,1% da quantidade total de micronutrientes encontrada (Tabela 9).

Tabela 9 - Quantidade de micronutrientes nos componentes das árvores, serapilheira acumulada e sub-bosque em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| Componentes             | B                 | Cu               | Fe<br>g ha <sup>-1</sup> | Mn                  | Zn                | Total              |
|-------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| Folha                   | 120,96            | 25,31            | 334,90                   | 3463,27             | 59,31             | 4003,75            |
| Galho fino              | 33,91             | 17,23            | 182,31                   | 2359,09             | 36,13             | 2628,67            |
| Galho grosso            | 41,53             | 18,87            | 300,21                   | 2986,39             | 43,47             | 3390,47            |
| Casca                   | 108,18            | 26,94            | 444,62                   | 10557,40            | 51,31             | 11188,45           |
| Madeira do fuste        | 737,38            | 354,04           | 5771,16                  | 8807,95             | 2112,78           | 17783,31           |
| Total <i>Eucalyptus</i> | 1041,96<br>(2,7%) | 442,39<br>(1,1%) | 7033,20<br>(18%)         | 28174,10<br>(72,3%) | 2303,00<br>(5,9%) | 38994,70<br>(100%) |
| Total Sub-bosque        | 243,66            | 94,02            | 2304,41                  | 9518,60             | 326,56            | 12487,25           |
| Total Serrapilheira     | 363,91            | 115,3            | 5028,07                  | 14941,79            | 263,04            | 20712,11           |

Logo, o povoamento de *Eucalyptus saligna* em estudo apresentou uma contribuição de micronutrientes, na seguinte ordem decrescente: Mn > Fe > Zn > B > Cu, como mostra a Figura 5. Distribuição semelhante à encontrada por Caldeira et al. (2008), diferindo apenas para ferro e manganês, sendo esta de: Fe > Mn > Zn > B > Cu.

De modo geral, a ordem decrescente de contribuição dos macronutrientes totais nos componentes arbóreos foi a seguinte: madeira > casca > folha > galho grosso > galho fino. No total de macronutrientes presentes na árvore, a madeira teve um acúmulo de 51,65%, a casca 26,97%, a folha 10,31%, o galho grosso 5,96% e o galho fino 5,10%.

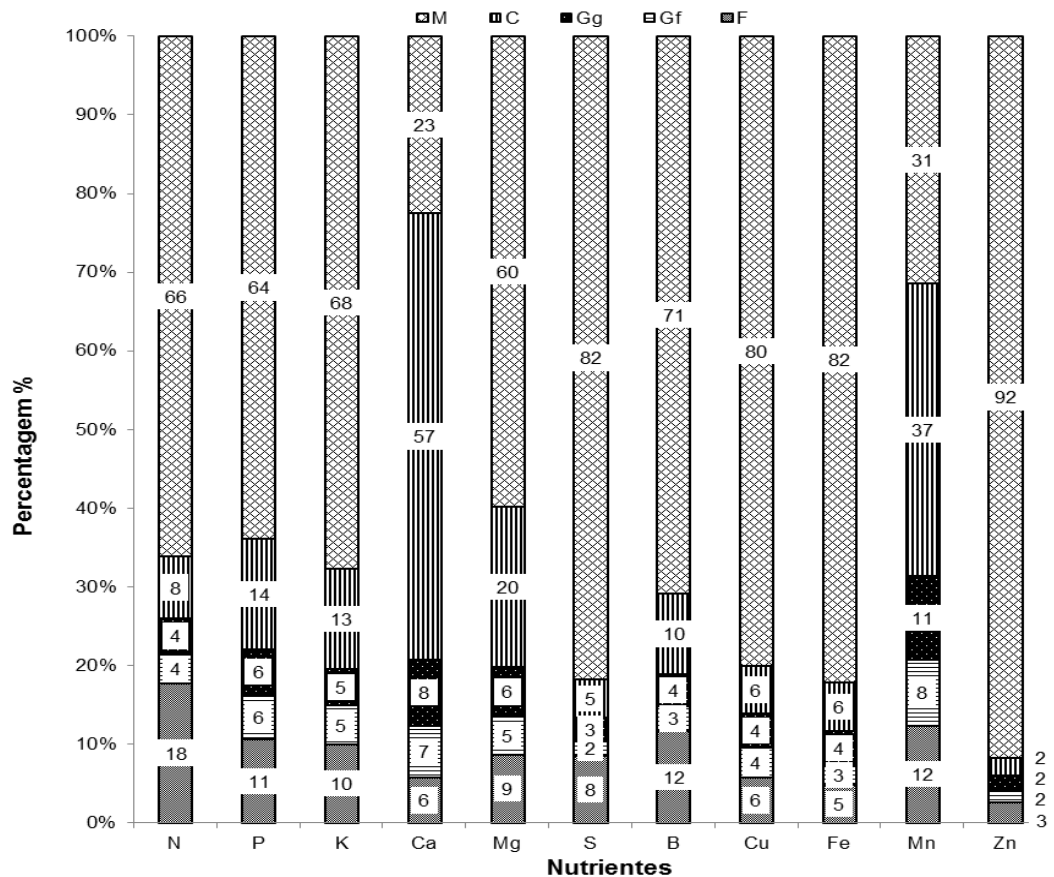


Figura 5 - Contribuição relativa de macro e micronutrientes nos constituintes da biomassa acima do solo em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade.

No acúmulo de micronutrientes a madeira representou 45,83% do total, a casca ficou com 28,63%, a folha com 10,27%, galho grosso com 8,59% e os galhos finos com 6,68% do total de micronutrientes presentes na biomassa acima do solo.

No total, a quantidade de nutrientes encontrada no sítio (eucalipto + sub-bosque + serapilheira) foi de 2,95 Mg ha<sup>-1</sup> de nutrientes, sendo que a quantidade encontrada nos compartimentos do eucalipto, sub-bosque e serapilheira acumulada correspondem a 60,47%; 18,15% e 21,28%, respectivamente. Deste total, os micronutrientes encontrados, representam 75,50%, já os micronutrientes tiveram uma contribuição relativa de 24,50 % do total encontrado.

Tais resultados demonstram a importância da manutenção de componentes não comercializáveis no sítio quando objetiva-se a redução do impacto nutricional da colheita a sustentabilidade nutricional do sistema, dentre os quais podemos citar a

casca, galhos e folhas que representaram um total de 48,35% dos macronutrientes e 54,17% dos micronutrientes.

A contribuição nutricional de cada componente do sítio mostra a sua importância para o mesmo, a qual poderá contribuir significativamente para a fertilidade do solo e consequentemente para a sustentabilidade nutricional do povoamento que venha a ser implantado no local.

#### 4.4 CONCLUSÃO

A biomassa total das árvores de *Eucalyptus saligna* foi de 222,11 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que a componente madeira representou 90,5% do total, já os componentes, casca, galho grosso, galho fino e folha representaram 3,7%; 2,7%; 1,3% e 1,8%, respectivamente.

Os componentes da biomassa arbórea apresentaram teores nutricionais distintos. Os maiores teores foram encontrados na folha e casca, e menores na nos galhos e madeira.

O estoque de nutrientes foi maior na madeira, pois foi o componente que apresentou maior acúmulo de biomassa. Apresentando a seguinte distribuição dos macro e micronutrientes: Madeira> Casca> Folha> Galho grosso> Galho fino.

#### 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAMSON, W. G.; GADGIL, M. Growth and reproductive affect in goldenrods solidago (Compositae). **American Naturalist**, v. 107, p. 651- 661, 1973.

BENATTI, B. P. **Compartimentalização de biomassa e nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos**. 2013. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

BRUN, E. J. et al. Relação entre o acúmulo de serapilheira sobre o solo e variáveis dendrométricas em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, em Eldorado do Sul/RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.1, n.1, p.24-31, jan./abr., 2013.

CALDEIRA, M. V. W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De wild.)**. 1998. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: Youngberg, C. T. e C. B. Davey. (Eds.). **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p. 313 - 326.

EPSTEIN, P. Mineral metabolism. IN: BONNER, J.; VARNER, J.E. (eds.). **Plant Biochemistry** London: Academic Press, 1965. p. 438 - 466.

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

FREITAS et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete - RS. **Biomassa e Energia**, Viçosa – MG, v.1, n.1, p.93-104, 2004.

GONÇALVES, J. L. M. et al,. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: Gonçalves, J. L. M; Benedetti, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. 427 p.

GUIMARÃES, C. C. **Biomassa e nutrientes em plantios de Eucaliptos no bioma pampa**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H.; HORNE, D. J. et al. Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand. I: biomass and nutrient accumulation. **Bioresource Technology**, v. 85, n. 3, dez. 2002, p. 273-283.

HERNÁNDEZ, 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**, Amsterdam, v. 258, n. 2 p. 92–99, 2009.

LONDERO, E. K. et al. Calibração do modelo 3-pg para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 293-305, abr.-jun., 2015.

MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Guarapuava/PR: UNICENTRO, 316 p. 2009.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. p. 77-116.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

NETO, F. V. C. et al. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações Florestais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 379-387, jul.-set., 2013.

ONOFRE, F. F, et al. Regeneração natural de espécies da Mata Atlântica em sub-bosque de *Eucalyptus saligna* Smith. em uma antiga unidade de produção florestal no Parque das Neblinas, Bertioga, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 39-52, mar. 2010.

PEREIRA, A. P. et al. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* cultivados na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 18-26, jan.-dez. 1984.

QUEIROZ, M. M. et al. Comportamento de materiais genéticos de eucalipto em Paty do Alferes, RJ. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.16, n.1, p. 01-10, jan.-jun., 2009.

REZENDE, M. L. et al. Regeneração natural de espécies florestais nativas em sub-bosque de *Eucalyptus grandis* e mata secundária no município de Viçosa, Zona da Mata - MG, Brasil. In: SIMPÓSIO SUL - AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR. Curitiba: FUPEP, 1994. p. 409- 418.

SAIDELLES, F. L. F. **Determinação da biomassa e altura de amostragem para a quantificação de nutrientes em *Acacia mearnsii* de Wild**. 2005. 97 p. Tese (Doutorado em Engenharia Floresta) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

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

SALVADOR, S. M. et al. Biomassa e estoque de nutrientes em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* Smith. em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba/SP, v.44, n.110, p. 311-321, jun., 2016.

SANTOS, J. C. et al. Nutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith em São Gabriel, RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.2, n.1, p.1-8, 2014.

**SAS – Statistical Analysis System**: Programa de computador, ambiente VM. Cary, 2012. Versão 9.1.2.

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

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (labillardière) sub-espécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, jan.- jun., 2001.

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação de biomassa em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. com diferentes idades. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 4, p. 381-391, out.-dez. 2004.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F.N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**. v 2, p. 17-22, 2011

SOUZA, J. T.; FIORENTIN, L. D. **Quantificação da biomassa e do carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, em Santa Maria, RS.** Unoesc & Ciência - ACET, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 253-262, jul./dez. 2013.

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



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

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; LIBERALASSO. Crescimento e produtividade de povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 415-421, 2011.

VIERA, M. et al. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul-RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v. 1, n. 1, p.1-13, jan./abr. 2013.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Biomass and nutrient allocation to aboveground components in fertilized *Eucalyptus saligna* and *E. urograndis* plantations. **New Forests**, v.48, n.3, p. 445-462, mai., 2017.

VOGEL, et al. Biomassa e macronutrientes de uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil, **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 37, n. 1, 99 - 105, 2013.

.

## RESUMO

### REFLEXOS DA INTENSIDADE DA COLHEITA NA NUTRIÇÃO DO SOLO EM POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS SALIGNA*

AUTOR: Catarine Barcellos Consensa  
ORIENTADOR: Mauro Valdir Schumacher

Dada a crescente expansão dos plantios de *Eucalyptus* spp. no Brasil e a importância da gestão dos resíduos da colheita dessas espécies de rápido crescimento, diante da disponibilidade de nutrientes para as próximas rotações, o objetivo deste trabalho foi avaliar as implicações nutricionais causadas pelas diferentes práticas de manejo dos resíduos da colheita no estoque de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade no município da Barra do Ribeiro – RS. A avaliação foi realizada através do balanço de nutrientes entre o sistema solo – planta, da simulação de diferentes sistemas de colheita, da estimativa do número potencial de rotações para cada nutriente, bem como, através da análise do coeficiente de utilização biológica dos nutrientes. Para tanto, levou-se em consideração o estoque dos nutrientes nos compartimentos do povoamento de *Eucalyptus saligna*, do sub-bosque, da serapilheira acumulada sobre o solo, avaliados no capítulo 4. No sistema de colheita RAr foi exportado 87% de biomassa arborea, 1,31 Mg ha<sup>-1</sup> de macronutrientes e 38,54 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes. O sistema RMa+Ca removeu 80% de biomassa arborea, 970,4 Kg ha<sup>-1</sup> de macronutrientes e 27,36 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes. E o sistema RMa-Ca exportou 77% de biomassa arborea, 605,3 Kg ha<sup>-1</sup> de macronutrientes e 17,01 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes. O sistema de manejo RMa-Ca foi o que obteve menor exportação de nutrientes e menor remoção de biomassa do sítio, o que torna este sistema de colheita o mais indicado para a manutenção da sustentabilidade nutricional do sítio. O sistema de colheita apenas da madeira do tronco possibilitou maior número de rotações que os demais sistemas, sendo assim mais sustentável para manter a fertilidade do solo. Foi constatado que os nutrientes mais limitantes à produtividade no próximo ciclo serão o Potássio, Enxofre e Zinco no sistema de colheita apenas da madeira. Os maiores valores de CUB foram encontrados para o P, seguido do S > Mg > Ca > K > N. Isto indica que, dentre os macronutrientes avaliados, o P foi utilizado com maior eficiência para a produção de madeira. Portanto, o manejo dos resíduos deve ser levado em consideração pela empresa, para que possa garantir a sustentabilidade nutricional do solo, e consequentemente a produtividade das próximas rotações.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade Nutricional. *Eucalyptus*. Resíduo Florestal.

## ABSTRACT

### REFLECTIONS OF HARVEST INTENSITY IN SOIL NUTRITION IN *Eucalyptus saligna*

AUTHOR: Catarine Barcellos Consensa

ADVISER: Mauro Valdir Schumacher

Due to the growing expansion of *Eucalyptus* spp. In Brazil, and the importance of the management of crop residues of these fast growing species, given the availability of nutrients for the next rotations, the objective of this work was to evaluate the nutritional implications caused by different practices of crop residues management in the nutrient stock in a *Eucalyptus saligna* stands at 7 years-old of Barra do Ribeiro - RS. The evaluation was accomplished through the nutrient balance between the soil - plant system, the simulation of different harvesting systems, the estimation of the potential number of rotations for each nutrient, as well as, the analysis of the coefficient of biological utilization of the nutrients. In order to do so, the nutrient stock in the *Eucalyptus saligna*, understory and litter accumulated was evaluated in chapter 4. In the RAr harvest system, 87% of tree biomass, 1.31 Mg ha<sup>-1</sup> of macronutrients and 38.54 kg ha<sup>-1</sup> of micronutrients were exported. The RMa + Ca system had 80% of tree biomass removed, 970.4 kg ha<sup>-1</sup> of macronutrients and 27.36 kg ha<sup>-1</sup> of micronutrients. And the RMa - Ca system exported 77% of tree biomass, 605.3 kg ha<sup>-1</sup> of macronutrients and 17.01 kg ha<sup>-1</sup> of micronutrients. The RMa - Ca management system was the one that obtained less export of nutrients and less removal of biomass from the site, which makes this harvesting system the most suitable for maintaining the nutritional sustainability of the site. The system of harvesting only the wood trunk allowed a greater number of rotations than the other systems, being thus more sustainable to maintain the fertility of the soil. It has been found that the nutrients most limiting to productivity in the next cycle will be Potássio, Enxofre and Zinco in harvesting system only the wood. The highest the CUB values were found for P, followed by S > Mg > Ca > K > N. This indicates that, among the evaluated macronutrients, P was used more efficiently for wood production. Therefore, the management of the waste must be taken into account by the company, so that it can guarantee the nutritional sustainability of the soil, and consequently the productivity of the next rotations.

**Keywords:** Sustainability Nutrition. *Eucalyptus*. Residue management.

## 5.1 INTRODUÇÃO

Para garantir a sustentabilidade de povoamentos florestais de rápido crescimento, faz-se necessário o adequado equilíbrio entre a sustentabilidade ambiental, a econômica e a social (BARROS, NEVES e NOVAIS, 2005). Conforme os autores, a sustentabilidade ambiental depende da capacidade dos sítios de disponibilizar fatores para a produção de madeira e seus derivados, mantendo as bases para o funcionamento equilibrado do ecossistema (nutrição do solo, qualidade da água, do ar, do solo e da fauna).

Segundo Chaer e Tólot (2007), o solo é considerado um importante componente relacionado à produção florestal, pois é ele o responsável pelo suprimento de água e de nutrientes para as plantas, o que faz com que a sua conservação ou melhoria da sua qualidade torne-se vital para sustentação dessa atividade produtiva, pois a sustentabilidade da atividade florestal está, dessa forma, diretamente relacionada à conservação do solo.

No Brasil, a área ocupada por plantações de eucalipto e pinus, tanto para a produção de celulose como para a produção de madeira, vem se expandindo nos últimos anos, justificada principalmente pela forte demanda de projetos industriais do setor madeireiro (ABRAF, 2016). Sendo que, a maioria dessas plantações, foram e continuam, sendo estabelecidas principalmente em terras anteriormente utilizadas para a agricultura e pecuária.

Estes sistemas de produção, em curto prazo, demandam uma elevada quantidade de nutrientes do solo, fator este que preocupa a sustentabilidade dos sistemas florestais, principalmente se instalados em áreas com desgaste nutricional do solo, pois pode ocorrer o esgotamento de nutrientes do solo e comprometer tanto a produção como a sustentabilidade da área.

Além disso, pode-se considerar como outro fator que poderá agravar o esgotamento de nutrientes no solo, a colheita das árvores, principalmente quando adotado o sistema de colheita de árvores inteiras, onde tanto a madeira como galhos e folhas são exportados do sítio, o que poderá ocasionar uma forma de empobrecimento da fertilidade do solo.

O sistema de colheita de árvores inteiras como contribuinte para o decréscimo nutricional do solo, justifica-se, devido há relação entre transporte, absorção e

alocação de nutrientes e umidade do solo, e, por consequência, de produção florestal. Quanto maior a produção, maior será a absorção de água e o acúmulo de nutrientes pelas árvores (BARROS, NEVES e NOVAIS, 2005), e, uma vez, todos os constituintes das árvores serem exportados do sítio, não haverá uma futura reposição sustentável e adequada de nutrientes para garantir as próximas rotações.

Diante disso, uma opção para a manipulação de taxas de fornecimento de nutrientes no solo, para o próximo ciclo de plantação, pode ser expressa através da adoção do sistema de colheita onde os resíduos das árvores (folhas, galhos e casca) são depositados sobre a superfície do solo (JONES et al., 1999), e executado o manejo adequado dos mesmos.

Chen e Xu (2005) mostraram que a retenção de resíduos da colheita de pinheiros na Austrália, aumentou significativamente a acumulação do total de C e N do solo em comparação com a remoção de resíduos. Para Jones et al. (1999), o manejo de resíduos beneficia as plantações através do aumento de nutrientes disponíveis para as plantas, reduzindo a necessidade de insumos e fertilizantes.

Segundo Mendham et al. (2003) os resíduos da colheita de plantações de eucalipto representam uma proporção significativa de matéria orgânica e nutrientes, e sua gestão pode influenciar diretamente a produtividade do plantio a longo prazo através de mudanças no teor de matéria orgânica do solo e fornecimento de nutrientes.

Além disso, a retenção dos resíduos resulta em uma maior umidade do solo e favorece a conservação de N após a exploração madeireira (O'CONNELL et al., 2004). Visto isto, é importante analisar as diversas situações de manejo dos resíduos deixados pela colheita florestal e verificar principalmente a sua contribuição na ciclagem de nutrientes na superfície do solo.

Portanto, o objetivo deste estudo foi investigar implicações nutricionais causadas pelas diferentes sistemas de colheita florestal no estoque de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade, visando à sustentabilidade nutricional da área.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os reflexos da intensidade da colheita na nutrição do solo do povoamento de *Eucalyptus saligna* foram utilizadas as seguintes metodologias: balanço nutricional solo - planta; simulação da remoção de nutrientes em diferentes sistemas de colheita; avaliação do impacto da colheita sobre a sustentabilidade do sítio florestal, através do conceito do número potencial de rotações (NPR), e avaliar a eficiência nutricional do *Eucalyptus saligna* utilizando o Coeficiente de utilização biológica (CUB).

### 5.2.1 Balanço nutricional solo-planta

O balanço nutricional foi avaliado com base nos dados da biomassa apresentados no capítulo 4 e no estoque de nutrientes no solo.

Para quantificar o estoque de nutrientes no solo, foram coletadas amostras de solo em 12 trincheiras nas camadas de 0 - 20 cm, 20 - 40 cm, 40 - 60 cm, 60 - 80 cm e 80 - 100 cm. As amostras foram encaminhadas para análise química no Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995).

O estoque de nutrientes (P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn) foi calculado a partir do teor de nutrientes em cada camada de solo, e convertido de  $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para  $\text{kg ha}^{-1}$  através da massa atômica dos nutrientes e densidade do solo correspondendo a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ . No caso do nitrogênio, para efeito de cálculo, foi considerado apenas 10% da matéria orgânica, como disponível para as plantas (GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001).

### 5.2.2 Simulação da remoção de nutrientes pela colheita

A estimativa da remoção dos nutrientes foi calculada considerando os estoques acumulados na biomassa arbórea, na serapilheira acumulada, no sub-bosque e no solo, para isso utilizou-se os dados de nutrientes apresentados no Capítulo 4, intitulado: “Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus saligna*”.

Foram avaliados três sistemas de colheita florestal que simulam práticas operacionais:

- I. RAr = remoção da árvore inteira, manutenção da serapilheira e sub-bosque sobre o solo;
- II. RMa-Ca = remoção apenas da madeira comercial sem casca, manutenção de todos os resíduos sobre o solo;
- III. RMa+Ca = remoção da madeira comercial com casca;

### 5.2.3 Número Potencial de Rotação (NPR) e Coeficiente de Utilização Biológica (CUB)

O cálculo do número potencial de rotações (NPR) de 7 anos para o *Eucalyptus saligna*, foi realizado segundo as equações  $NPR_{total}$  = colheita de toda a biomassa acima do solo;  $NPR_{eucalipto}$  = colheita da árvore inteira de eucalipto;  $NPR_{madeira+ casca}$  = colheita da biomassa de madeira e casca do eucalipto; e  $NPR_{madeira}$  = colheita da biomassa de madeira do eucalipto, propostas por VIERA (2012):

$$NPR_{total} = \frac{NBT}{NS}$$

$$NPR_{eucalipto} = \frac{NE}{NS + NSS + NSA}$$

$$NPR_{madeira+casca} = \frac{NM + NC}{NS + NSS + NSA + NG + NF}$$

$$NPR_{madeira} = \frac{NM}{NS + NSS + NSA + NG + NF + NC}$$

Sendo:

$NS$  = estoque de nutrientes no solo, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NBT$  = quantidade de nutrientes na biomassa total acima do solo, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NSS$  = quantidade de nutrientes na biomassa do sub-bosque, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NSA$  = quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NE$  = quantidade de nutrientes no Eucalipto, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NG$  = quantidade de nutrientes no componente galho, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NF$  = quantidade de nutrientes no componente folha, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NM$  = quantidade de nutrientes no componente madeira, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

$NC$  = quantidade de nutrientes no componente casca, em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

$NPR$  = número potencial de rotações

Nesta simulação não foi levado em conta a biomassa de raízes. Uma vez que não foi possível realizar a determinação a campo da biomassa de raízes.

O coeficiente de utilização biológica (CUB) foi obtido pela relação entre a quantidade de biomassa de cada componente e os nutrientes nesta distribuídos, ambos com a mesma unidade conforme a equação:

$$CUB = \frac{\text{Quantidade de biomassa por componente}}{\text{Quantidade de nutriente por componente}}$$



### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1 Solos e nutrientes

Na Tabela 10, verificam-se as características químicas do solo da área de estudo, nas profundidades de 0 - 20; 20 - 40; 40 - 60; 60 - 80 e 80 - 100 cm, e os teores extremamente baixos de alguns nutrientes como S, B, Cu, Zn e Mg.

Tabela 10 – Atributos químicos do solo em diferentes profundidades em um povoamento de *Eucalyptus saligna* localizado no horto florestal Braba Negra - RS, aos 7 anos de idade.

| Prof<br>cm | MO<br>% | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | P                   | K     | S    | B    | Cu   | Zn   | V     | m     | Ca                     | Mg   | CTC <sub>efet</sub> |
|------------|---------|--------------------------|---------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------|------------------------|------|---------------------|
|            |         |                          | mg dm <sup>-3</sup> |       |      |      |      |      | %     |       | cmolc dm <sup>-3</sup> |      |                     |
| 0-20       | 1,43    | 5,10                     | 9,20                | 66,98 | 3,57 | 0,63 | 0,94 | 0,92 | 62,09 | 5,54  | 2,13                   | 0,49 | 2,92                |
| 20-40      | 0,82    | 4,64                     | 2,43                | 34,15 | 3,80 | 0,65 | 1,43 | 0,28 | 37,27 | 44,36 | 1,22                   | 0,25 | 2,65                |
| 40-60      | 0,75    | 4,40                     | 1,68                | 41,50 | 3,83 | 0,67 | 1,34 | 0,25 | 28,96 | 53,08 | 0,83                   | 0,54 | 3,05                |
| 60-80      | 0,78    | 4,39                     | 1,42                | 32,30 | 4,37 | 0,65 | 1,59 | 0,26 | 26,55 | 53,41 | 0,80                   | 0,92 | 3,99                |
| 80-100     | 0,76    | 4,34                     | 1,63                | 38,16 | 5,24 | 0,57 | 1,53 | 0,26 | 21,85 | 53,96 | 0,87                   | 1,06 | 4,36                |

Onde: % x 10= g/kg; MO = matéria orgânica; V = saturação por base trocável; m = saturação por alumínio trocável; CTC<sub>efet</sub> = capacidade de troca catiônica efetiva.

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) corresponde ao total de cargas negativas que o solo apresenta, responsável por segurar os nutrientes no solo, como o cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) (SERRAT et al., 2002). De acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2016), o valor da CTC efetiva de 2,92 cmolc /dm<sup>3</sup> – 4,36 cmolc /dm<sup>3</sup> (baixo) reflete que o solo em estudo apresenta baixa capacidade de reter cátions.

De acordo com a Comissão, os teores de matéria orgânica são considerados baixos (< 2,5). A matéria orgânica pode indicar a quantidade de nutrientes existentes na camada superficial do solo, sendo extremamente importante para algumas propriedades do solo, pois ela auxilia na solubilização dos nutrientes; apresenta alta capacidade de troca de cátions; aumenta a capacidade de retenção de água do solo;

melhora a estrutura do solo; melhora a capacidade tampão do solo, deixando o pH estável e exerce efeitos promotores de crescimento, isto é, favorece um melhor crescimento e desenvolvimento das plantas (SERRAT et al., 2002).

Além disso, o solo analisado apresentou um aumento da acidez com o aumento da profundidade ( $\text{pH} < 7$ ), logo os teores de P, K e Ca, tendem a diminuir, pois o pH da solução do solo afeta diretamente a eficiência da absorção de nutrientes pelas raízes da planta (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). Serrat et al. (2002), corrobora ainda que, a acidez dos solos promove o aparecimento de elementos tóxicos, como o alumínio (Al), além de causar a diminuição da presença de nutrientes importantes para as plantas e consequentemente os efeitos causados pela acidez levam à baixa produtividade dos povoamentos.

Logo, o solo em estudo apresentou valores elevados de saturação por alumínio trocável (m) com o aumento da profundidade, o que indica ser um solo com alto impedimento ao crescimento das plantas por toxidez de alumínio ( $> 40\%$ ). Consequentemente diminui os teores de Ca, Mg, K e a percentagem de saturação por alumínio (LOPES e GUILHERME, 2004) como pode ser corroborado por este estudo.

Contudo, a saturação por base trocável (V), apresentou-se elevada na primeira camada de solo ( $> 50\%$ ), refletindo que o solo tem alto potencial nutricional para as plantas na primeira camada do solo, porém com o aumento da profundidade diminui gradativamente os valores de V, indicando um decréscimo no potencial de fertilidade do solo em estudo.

O estoque total de nutrientes disponíveis no solo para as plantas foi de  $4,04 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Tabela 11). O Cálcio e o Magnésio foram os nutrientes mais abundantes no solo do presente estudo. A magnitude média dos macronutrientes foi:  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{N} > \text{P}$  e a magnitude média dos micronutrientes foi:  $\text{S} > \text{Cu} > \text{B} > \text{Zn}$ .

Tabela 11 – Estoque de nutrientes disponíveis no solo em um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| Prof<br>(cm) | N*                     | P     | K      | Ca     | Mg     | S    | B    | Cu   | Zn   |
|--------------|------------------------|-------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
|              | (kg ha <sup>-1</sup> ) |       |        |        |        |      |      |      |      |
| 0 – 20       | 71,39                  | 18,41 | 133,95 | 851,67 | 120,14 | 7,14 | 1,25 | 1,88 | 1,85 |
| 20 – 40      | 81,79                  | 4,85  | 68,30  | 489,67 | 60,37  | 7,60 | 1,30 | 2,85 | 0,56 |

| Prof<br>(cm) | N*                     | P     | K      | Ca      | Mg     | S     | B    | Cu    | Zn   |
|--------------|------------------------|-------|--------|---------|--------|-------|------|-------|------|
|              | (kg ha <sup>-1</sup> ) |       |        |         |        |       |      |       |      |
| 40 – 60      | 75,12                  | 3,37  | 83,00  | 330,00  | 131,28 | 7,65  | 1,35 | 2,68  | 0,50 |
| 60 – 80      | 77,52                  | 2,84  | 64,60  | 320,67  | 224,48 | 8,75  | 1,31 | 3,19  | 0,51 |
| 80 – 100     | 76,14                  | 3,26  | 76,32  | 346,33  | 257,30 | 10,47 | 1,15 | 3,06  | 0,52 |
| Total        | 382,96                 | 32,73 | 426,16 | 2338,33 | 793,58 | 41,62 | 6,36 | 13,65 | 3,93 |

\* 10 % como disponível para as plantas.

Conforme podemos observar na Tabela 11, a maioria dos nutrientes está presente em maiores quantidades nas camadas superiores, sendo esta camada superficial a qual ocorre a grande maioria da entrada de nutrientes, exceto, para os nutrientes Mg, S e Cu, os quais apresentaram um padrão inverso dos demais nutrientes, onde o aumento do estoque total disponível para as plantas ocorre com o aumento da profundidade, isso acontece devido ao fato, de estes elementos serem facilmente lixiviados das camadas superiores para as camadas inferiores.

A baixa disponibilidade de N encontrada no presente estudo justifica-se pelo baixo teor de MO na área de estudo, uma vez que, este nutriente está diretamente relacionado com os valores de MO, e deste, parte é resistente a mineralização, fazendo com que a absorção pelas plantas possa ser ainda menor (MENGEL, 1996).

Valores semelhantes a este estudo foram encontrados por Salvador (2015), ao verificar o estoque total de nitrogênio em um povoamento com híbridos de *Eucalyptus urograndis*, o autor encontrou valores de 222,96 e 377,90 kg ha<sup>-1</sup> em um solo arenoso e argiloso respectivamente, na região norte do estado do Paraná.

Conforme ressalta Serra (2006), os principais fatores que afetam diretamente a disponibilidade de N no solo são a umidade, o clima, a lixiviação, o teor de MO e atividade microbiana. Gomes (2009) acrescenta que as propriedades físicas e biológicas, também tendem a atuar diretamente na disponibilidade de N no solo em um ambiente com espécies florestais de rápido crescimento, conforme a utilizada pelo presente estudo.

### 5.3.2 Balanço de nutrientes no sistema solo - planta

É de fundamental importância entender a distribuição dos nutrientes em cada componente da planta, pois é através desta distribuição que poderemos fazer a melhor recomendação para a colheita destas espécies, levando em consideração a sustentabilidade do sítio e a garantia da produtividade das próximas rotações, tendo por base o manejo nutricional destas espécies.

Na Figura 6, verifica-se a distribuição dos nutrientes nos diferentes componentes das plantas no povoamento de *Eucalyptus saligna*.

Dentre todos os constituintes da biomassa arbórea os componentes folha e casca, apresentaram o menor valor de biomassa, porém apresentam elevadas quantidades de nitrogênio e manganês, para o componente folha. Já a casca, apresenta uma contribuição significativa, principalmente de Ca e K.

Para o macronutriente K, encontrou-se um total de 848,16 Kg ha<sup>-1</sup>, distribuídos na grande maioria no solo, o qual representa 50,24% do total encontrado. Já árvore, serapilheira e sub bosque, representam 49,75% do total encontrado. Destes, a maior contribuição esta nas árvores: 76,06%, seguida pelo sub bosque: 18,48% e pela serapilheira: 5,45%.

A quantidade total de N no sítio foi de 1,17 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que quando comparados os valores de N nos diferentes compartimentos (árvore, sub bosque, serapilheira e solo), o N no compartimento árvore (folhas + galhos + casca + madeira), representa 42,11% do total encontrado no sítio, sendo que deste total de contribuição, as folhas, galhos e cascas, que são os resíduos geralmente deixados pela colheita da madeira, representam uma contribuição de 24,29% de N.

Ainda, o N nos compartimentos árvore + sub bosque + serapilheira representam 48,29% do total encontrado na área de estudo, isso significa ainda, que estes compartimentos representam uma contribuição de 1,7 vezes superior de N, do que o total encontrado no solo, sendo que o compartimento solo teve uma contribuição de 32,57% de N.

Contudo, o compartimento serapilheira contribuiu com 13,55% de N e o compartimento sub bosque apresentou a menor taxa de contribuição sendo esta de apenas 11,76% do N total encontrado no presente estudo.

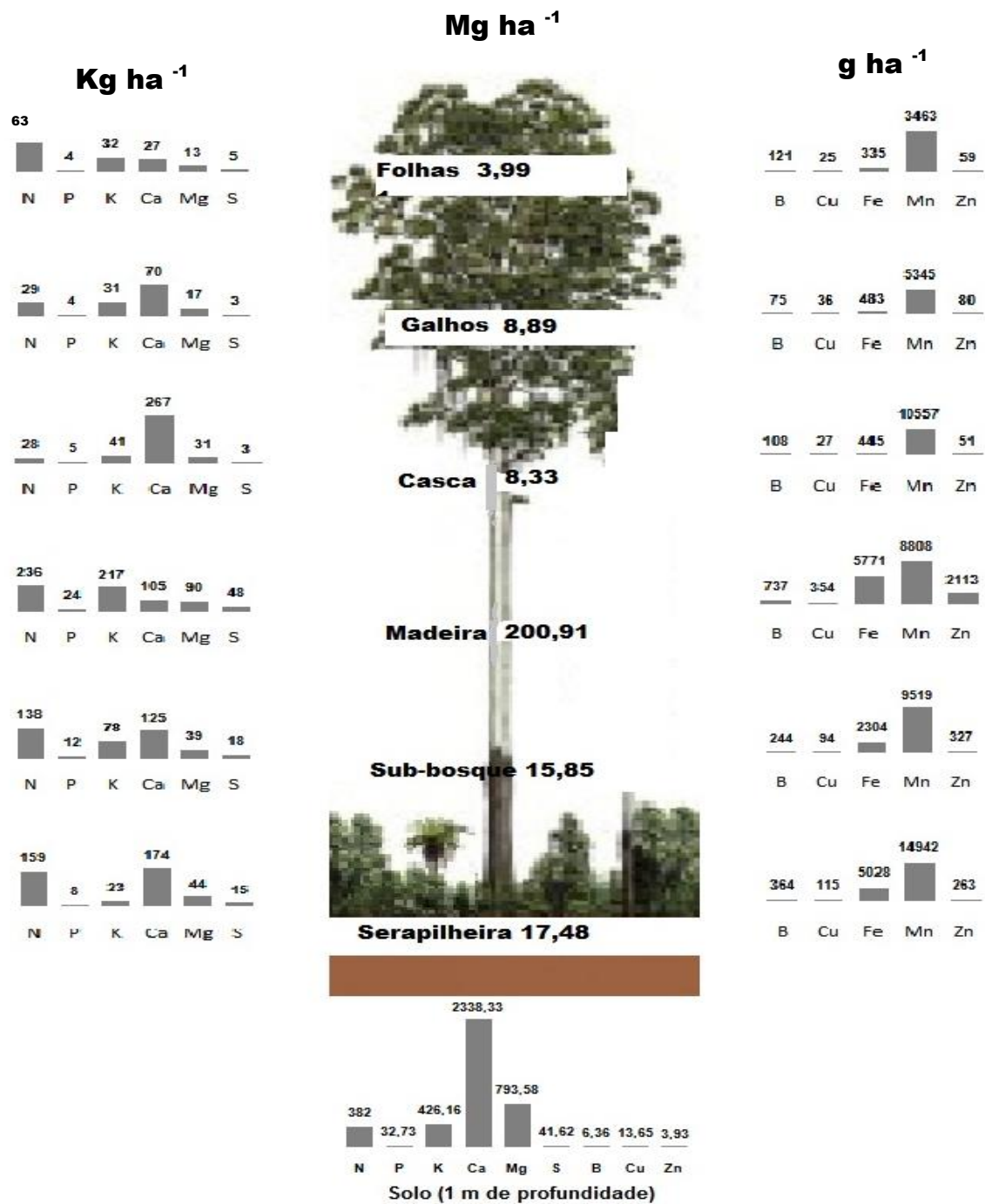


Figura 6 - Estoque de nutrientes disponíveis no solo e totais nos diferentes componentes da biomassa, sub-bosque e serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade.

Agregando os compartimentos que permanecem no sítio após a colheita (serapilheira + solo + sub bosque) com os resíduos que deveriam ser deixados pela colheita, encontrou-se uma percentagem de contribuição de 82,17% de N que poderá permanecer no sítio, caso estes resíduos permaneçam na área.

Valores diferentes de contribuição são encontrados para o macronutriente Ca, pois ele apresenta uma contribuição total no sítio de  $3,10 \text{ Mg ha}^{-1}$ , sendo que deste total, 75,28% esta no solo, 5,60% na serapilheira, 4,02% no sub bosque e 15,09% nas árvores.

Diferentemente do N, o Ca esta presente em taxas de contribuição maiores no solo, o que representa 03 vezes mais no solo do que nos demais compartimentos (árvore, serapilheira e sub bosque), isso significa que a contribuição das árvores, serapilheira e sub bosque é de apenas  $768 \text{ Kg ha}^{-1}$  ou 24,72% de Ca total, na área de estudo, e que, o solo tem uma contribuição de  $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de Ca superior do que os demais contribuintes, o que representa uma diferença de contribuição de 67,16% de Ca somente pelo solo.

Analisando a contribuição de Ca pelas árvores, os compartimentos folhas, galhos e cascas representam uma contribuição de 77,61% de Ca e a madeira representa apenas 22,39%.

A maior contribuição percentual de P foi pelas árvores, as quais representaram 41,23% do total de P, seguidas pelo solo, o qual apresentou uma taxa de contribuição de 36,47% de P; sub bosque contribuiu com 13,37% de P e ainda, a menor contribuição de P foi pela serapilheira, a qual representou apenas 8,91% do total de P encontrado na área de estudo.

A forma e a dinâmica do P no solo podem ser afetadas significativamente por mudanças no uso do solo, incluindo mudanças na cobertura vegetal, na produção de biomassa e na ciclagem de nutrientes (MAGID et al., 1996). Contudo, na serapilheira de florestas, altas taxas de decomposição resultam na produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, os quais podem ser translocadas para baixo da camada explorada pelas raízes (BETTANY et al., 1979).

Com base nesta distribuição de nutrientes por compartimento do sítio, podemos estabelecer critérios que poderão contribuir significativamente para o manejo do povoamento durante o seu desenvolvimento, bem como, para adequar o melhor sistema de colheita para o mesmo, a fim de minimizar os impactos nutricionais, causados pelas diferentes intensidades de colheita.

### 5.3.3 Simulação da remoção de nutrientes pela colheita

No sistema de colheita RAr, em que é removida a árvore inteira e mantida apenas a serapilheira e o sub-bosque sobre o solo, foi removido  $222,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  de biomassa (entre madeira e resíduos), representando uma exportação de aproximadamente 87% de biomassa arbórea, e permaneceu sobre o solo apenas  $33,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  da biomassa total encontrada no povoamento, o que representa 13%, conforme mostra a Tabela 12.

Rocha (2014), ao estudar a remoção de resíduos em uma plantação de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade, observou que aproximadamente  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos permanecem sobre o solo, sendo este valor semelhante ao encontrado por este estudo.

No sistema RAr, a quantidade total de macronutrientes exportada do sítio foi de  $1,31 \text{ Mg ha}^{-1}$  (61,1%) e permaneceu  $0,83 \text{ Mg ha}^{-1}$  (38,9%) de macronutrientes. O Cálcio foi o nutriente removido em maior quantidade com  $484,4 \text{ Kg ha}^{-1}$ , sendo que esta maior remoção de Ca esta diretamente relacionada com a componente de casca que possui elevada concentração deste nutriente.

Contudo, o macronutriente que apresentou a menor quantidade de remoção neste sistema de colheita foi o P, com uma remoção de apenas  $32,8 \text{ kg ha}^{-1}$ , isso devido este elemento ser altamente móvel e facilmente nos horizontes do solo, conforme podemos observar na Tabela 12.

Tabela 12 - Quantidade de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RAr, remoção da árvore inteira de *Eucalyptus saligna* com 7 anos de idade.

| COMPONENTES                            | Biomassa<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomassa<br>% | N     | P    | K     | Ca    | Mg    | S    | TOTAL  |
|----------------------------------------|------------------------------------|---------------|-------|------|-------|-------|-------|------|--------|
|                                        |                                    |               |       |      |       |       |       |      |        |
| Macronutrientes (Kg ha <sup>-1</sup> ) |                                    |               |       |      |       |       |       |      |        |
| Toras comerciais                       | 197,2                              | 77,1          | 211,2 | 19,2 | 186,1 | 105,1 | 37,3  | 46,4 | 605,3  |
| Casca do tronco                        | 8,0                                | 3,1           | 24,4  | 4,0  | 38,6  | 267,9 | 27,5  | 2,7  | 365,0  |
| Madeira do ponteiro                    | 3,7                                | 1,5           | 5,9   | 0,8  | 6,1   | 1,8   | 5,5   | 0,9  | 20,9   |
| Casca do ponteiro                      | 0,5                                | 0,2           | 2,4   | 0,6  | 2,8   | 12,9  | 2,5   | 0,2  | 21,5   |
| Galho grosso                           | 6,0                                | 2,3           | 16,0  | 2,2  | 14,7  | 39,1  | 9,3   | 1,7  | 83,0   |
| Galho fino                             | 2,9                                | 1,1           | 13,4  | 2,1  | 15,9  | 31,0  | 7,3   | 1,2  | 71,0   |
| Folha                                  | 4,0                                | 1,6           | 63,2  | 3,9  | 31,9  | 26,5  | 13,0  | 4,9  | 143,5  |
| Serapilheira acumulada                 | 17,5                               | 6,8           | 159,2 | 8,3  | 22,6  | 174,2 | 43,6  | 15,2 | 423,1  |
| Sub-bosque                             | 15,9                               | 6,2           | 138,1 | 11,7 | 78,3  | 124,8 | 38,9  | 18,4 | 410,3  |
| Total removido na colheita             | 222,3                              | 87,0          | 336,5 | 32,8 | 296,1 | 484,4 | 102,5 | 58,0 | 1310,3 |
| Total mantido sob o solo               | 33,3                               | 13,0          | 297,3 | 20,0 | 100,9 | 299,0 | 82,5  | 33,6 | 833,3  |

Na Tabela 13, observa-se que grande parte dos micronutrientes é removida no sistema RAr, totalizando  $38,54 \text{ kg ha}^{-1}$  (53,7%) e mantidos sobre o solo um total de  $33,21 \text{ kg ha}^{-1}$  (46,3%) de micronutrientes. O Mn foi o micronutriente exportado em maior quantidade, no total de  $27,42 \text{ kg ha}^{-1}$ . Já o Cu foi o micronutriente com o menor índice de exportação, isto é, apenas  $0,42 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu foram removidos com a colheita, permanecendo na área  $0,21 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cu.



Tabela 13 - Quantidade de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RAr, remoção da árvore inteira de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade.

| COMPONENTES                | Biomassa<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomassa<br>% | B                                     | Cu    | Fe     | Mn      | Zn     | TOTAL   |
|----------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------------|-------|--------|---------|--------|---------|
|                            |                                    |               | Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> ) |       |        |         |        |         |
| Toras comerciais           | 197,2                              | 88,7          | 735,7                                 | 328,1 | 5659,2 | 7867,0  | 2322,8 | 17001,6 |
| Casca do tronco comercial  | 8,0                                | 3,1           | 89,1                                  | 24,8  | 410,1  | 9792,2  | 41,6   | 10360,9 |
| Madeira do ponteira        | 3,7                                | 1,5           | 12,8                                  | 8,0   | 107,3  | 221,9   | 20,3   | 371,8   |
| Casca do ponteiro          | 0,5                                | 0,2           | 10,6                                  | 1,9   | 31,5   | 733,3   | 5,2    | 782,7   |
| Galho grosso               | 6,0                                | 2,3           | 41,5                                  | 18,9  | 300,2  | 2986,4  | 43,5   | 3392,8  |
| Galho fino                 | 2,9                                | 1,1           | 33,9                                  | 17,2  | 182,3  | 2359,1  | 36,1   | 2629,8  |
| Folha                      | 4,0                                | 1,6           | 121,0                                 | 25,3  | 334,9  | 3463,3  | 59,3   | 4005,3  |
| Serapilheira acumulada     | 17,5                               | 6,8           | 363,9                                 | 115,3 | 5028,1 | 14941,8 | 263,0  | 20718,9 |
| Sub-bosque                 | 15,9                               | 6,2           | 243,7                                 | 94,0  | 2304,4 | 9518,6  | 326,6  | 12493,4 |
| Total removido na colheita | 222,3                              | 98,5          | 1044,6                                | 424,3 | 7025,5 | 27423,1 | 2528,9 | 38545,0 |
| Total mantido sob o solo   | 33,3                               | 13,0          | 607,6                                 | 209,3 | 7332,5 | 24460,4 | 589,6  | 33212,4 |

Ao avaliar o sistema de colheita da madeira comercial com casca RMa+Ca, o qual representa a retirada da madeira com a casca, a exportação de macronutrientes foi de  $970,4 \text{ Kg ha}^{-1}$  (45,2%), fazendo com que permanecesse no sítio  $1,17 \text{ Mg ha}^{-1}$  de macronutrientes, ou seja 54,7 % de nutrientes permanecerão no sítio (Tabela 14).

Tabela 14 – Quantidade de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) removidos e mantidos no solo pela colheita da madeira com casca RMa+Ca de *Eucalyptus saligna* com 7 anos de idade.

| COMPONENTES                | Biomassa<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomassa<br>% | N     | P    | K     | Ca    | Mg    | S    | TOTAL  |
|----------------------------|------------------------------------|---------------|-------|------|-------|-------|-------|------|--------|
|                            |                                    |               |       |      |       |       |       |      |        |
|                            |                                    |               |       |      |       |       |       |      |        |
| Toras comerciais           | 197,2                              | 77,1          | 211,2 | 19,2 | 186,1 | 105,1 | 37,3  | 46,4 | 605,3  |
| Casca do tronco comercial  | 8,0                                | 3,1           | 24,4  | 4,0  | 38,6  | 267,9 | 27,5  | 2,7  | 365,0  |
| Madeira do ponteiro        | 3,7                                | 1,5           | 5,9   | 0,8  | 6,1   | 1,8   | 5,5   | 0,9  | 20,9   |
| Casca do ponteiro          | 0,5                                | 0,2           | 2,4   | 0,6  | 2,8   | 12,9  | 2,5   | 0,2  | 21,5   |
| Galho grosso               | 6,0                                | 2,3           | 16,0  | 2,2  | 14,7  | 39,1  | 9,3   | 1,7  | 83,0   |
| Galho fino                 | 2,9                                | 1,1           | 13,4  | 2,1  | 15,9  | 31,0  | 7,3   | 1,2  | 71,0   |
| Folha                      | 4,0                                | 1,6           | 63,2  | 3,9  | 31,9  | 26,5  | 13,0  | 4,9  | 143,5  |
| Serapilheira acumulada     | 17,5                               | 6,8           | 159,2 | 8,3  | 22,6  | 174,2 | 43,6  | 15,2 | 423,1  |
| Sub-bosque                 | 15,9                               | 6,2           | 138,1 | 11,7 | 78,3  | 124,8 | 38,9  | 18,4 | 410,3  |
| Total removido na colheita | 205,1                              | 80,2          | 235,6 | 23,2 | 224,7 | 373,0 | 64,8  | 49,1 | 970,4  |
| Total mantido sob o solo   | 50,5                               | 19,8          | 398,3 | 29,6 | 172,3 | 410,4 | 120,1 | 42,5 | 1173,3 |

Ainda, ao avaliar o sistema de colheita da madeira comercial com casca RMa+Ca, a exportação total de biomassa seria de 205,1 Mg ha<sup>-1</sup>, fazendo com que permanecesse no sítio apenas 50,49 Mg ha<sup>-1</sup> (19,8%) de biomassa acima do solo, provenientes dos galhos grossos, galhos finos, folhas, serapilheira acumulada e sub-bosque, o que representa uma exportação de 80% do total de biomassa produzida pelo povoamento (Tabela 14).

No sistema RMa+Ca, grande parte dos micronutrientes foram removidos do sítio com a colheita da madeira com casca, totalizando 27,36 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja 38,1%. E mantidos sobre o solo um total de 44,39 kg ha<sup>-1</sup>, representando 61,9% (Tabela 15).

Segundo Viera (2012), o sistema de colheita da madeira com a casca, muitas vezes é utilizado pela indústria onde a madeira é a matéria-prima para a produção de celulose e papel, já a casca é utilizada em caldeiras como fonte energética.

Tabela 15 – Quantidade de micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>) removidos e mantidos no solo pela colheita da madeira com casca RMa+Ca de *Eucalyptus saligna* com 7 anos de idade.

| COMPONENTES                | Biomassa<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomassa<br>% | B                                     | Cu    | Fe     | Mn      | Zn     | TOTAL   |
|----------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------------|-------|--------|---------|--------|---------|
|                            |                                    |               | Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> ) |       |        |         |        |         |
| Toras comerciais           | 197,2                              | 88,7          | 735,7                                 | 328,1 | 5659,2 | 7867,0  | 2322,8 | 17001,6 |
| Casca do tronco comercial  | 8,0                                | 3,1           | 89,1                                  | 24,8  | 410,1  | 9792,2  | 41,6   | 10360,9 |
| Madeira do ponteira        | 3,7                                | 1,5           | 12,8                                  | 8,0   | 107,3  | 221,9   | 20,3   | 371,8   |
| Casca do ponteiro          | 0,5                                | 0,2           | 10,6                                  | 1,9   | 31,5   | 733,3   | 5,2    | 782,7   |
| Galho grosso               | 6,0                                | 2,3           | 41,5                                  | 18,9  | 300,2  | 2986,4  | 43,5   | 3392,8  |
| Galho fino                 | 2,9                                | 1,1           | 33,9                                  | 17,2  | 182,3  | 2359,1  | 36,1   | 2629,8  |
| Folha                      | 4,0                                | 1,6           | 121,0                                 | 25,3  | 334,9  | 3463,3  | 59,3   | 4005,3  |
| Serapilheira acumulada     | 17,5                               | 6,8           | 363,9                                 | 115,3 | 5028,1 | 14941,8 | 263,0  | 20718,9 |
| Sub-bosque                 | 15,9                               | 6,2           | 243,7                                 | 94,0  | 2304,4 | 9518,6  | 326,6  | 12493,4 |
| Total removido na colheita | 205,1                              | 91,8          | 824,8                                 | 353,0 | 6069,3 | 17659,2 | 2364,4 | 27362,5 |
| Total mantido sob o solo   | 50,5                               | 19,8          | 827,3                                 | 280,7 | 8288,7 | 34224,3 | 754,1  | 44394,8 |

Já no sistema de colheita da madeira sem a casca (RMa - Ca), a remoção de biomassa foi de apenas 197,2 Mg ha<sup>-1</sup>, e o total de resíduos que permanece sobre o solo foi de 58,4 Mg ha<sup>-1</sup>, neste caso o total exportado representou 77%, comparando com o sistema RAr ocorreu uma redução na exportação total de biomassa e um acréscimo no total de resíduos que permaneceria no sítio (Tabela 16).

Tabela 16 - Biomassa aérea em kg ha<sup>-1</sup>, quantidade de macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RMa-Ca de *Eucalyptus saligna* com 7 anos de idade.

| COMPONENTES                | Biomassa<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomassa<br>% | N                                      | P    | K     | Ca    | Mg    | S    | TOTAL  |
|----------------------------|------------------------------------|---------------|----------------------------------------|------|-------|-------|-------|------|--------|
|                            |                                    |               | Macronutrientes (Kg ha <sup>-1</sup> ) |      |       |       |       |      |        |
| Toras comerciais           | 197,2                              | 77,1          | 211,2                                  | 19,2 | 186,1 | 105,1 | 37,3  | 46,4 | 605,3  |
| Casca do tronco comercial  | 8,0                                | 3,1           | 24,4                                   | 4,0  | 38,6  | 267,9 | 27,5  | 2,7  | 365,0  |
| Madeira do ponteira        | 3,7                                | 1,5           | 5,9                                    | 0,8  | 6,1   | 1,8   | 5,5   | 0,9  | 20,9   |
| Casca do ponteiro          | 0,5                                | 0,2           | 2,4                                    | 0,6  | 2,8   | 12,9  | 2,5   | 0,2  | 21,5   |
| Galho grosso               | 6,0                                | 2,3           | 16,0                                   | 2,2  | 14,7  | 39,1  | 9,3   | 1,7  | 83,0   |
| Galho fino                 | 2,9                                | 1,1           | 13,4                                   | 2,1  | 15,9  | 31,0  | 7,3   | 1,2  | 71,0   |
| Folha                      | 4,0                                | 1,6           | 63,2                                   | 3,9  | 31,9  | 26,5  | 13,0  | 4,9  | 143,5  |
| Serapilheira acumulada     | 17,5                               | 6,8           | 159,2                                  | 8,3  | 22,6  | 174,2 | 43,6  | 15,2 | 423,1  |
| Sub-bosque                 | 15,9                               | 6,2           | 138,1                                  | 11,7 | 78,3  | 124,8 | 38,9  | 18,4 | 410,3  |
| Total removido na colheita | 197,2                              | 77,1          | 211,2                                  | 19,2 | 186,1 | 105,1 | 37,3  | 46,4 | 605,3  |
| Total mantido sob o solo   | 58,4                               | 22,9          | 422,7                                  | 33,6 | 210,9 | 678,3 | 147,6 | 45,2 | 1538,3 |

Valor semelhante ao observado por este estudo foi encontrado por Rocha (2014), o qual observou que, após a colheita da madeira sem casca de uma plantação de *Eucalyptus grandis* de 8 anos, permanecem sobre o solo aproximadamente 55 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos.

Além disso, neste sistema de colheita RMa - Ca, o total de macronutrientes removidos foi de apenas 605,3 Kg ha<sup>-1</sup>, ou seja 27,3% do total. E foi mantido sobre o solo 1,54 Mg ha<sup>-1</sup>, representando 77,7% dos macronutrientes, os quais atuarão diretamente na sustentabilidade nutricional do povoamento, reduzindo o uso de fertilizantes.

Pelo fato de remover apenas a madeira comercial, deixa-se de aplicar a seguinte quantidade de fertilizantes utilizando o sistema de colheita RMa - Ca: 638,53 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (45% de N), 80,66 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (45% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 220,00 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (50% de K<sub>2</sub>O). Salientando que para este cálculo foi considerada a conservação do componente casca do tronco comercial, casca do ponteiro, madeira do ponteiro, galho grosso, galho fino e folha sobre o solo. Não foi considerada a quantidade de nutriente presente na serapilheira acumulada e no sub bosque, uma vez que não são removidos pelos sistemas de colheitas.

No sistema RMa - Ca, as quantidades totais de nutrientes na biomassa da madeira colhida foram elevadas no caso do N e K de 211,16 kg ha<sup>-1</sup> e 186,10 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente. Já para o Ca, a remoção diminuiu, uma vez que a casca foi mantida sobre o solo, quando comparado com o sistema de colheita RAr.

Na Tabela 17, verificamos que o total de micronutrientes removidos pelo sistema de colheita RMa - Ca, foi de 17,02 kg ha<sup>-1</sup> (23,7%), e mantidos sobre o solo 54,76 kg ha<sup>-1</sup> (76,3%). Neste sistema de colheita, o micronutrientes que apresentou uma remoção mais elevada com a colheita foi o Mn, com 7,87 kg ha<sup>-1</sup>, e o Cu novamente seria o micronutriente com a menor quantidade de remoção com a colheita, totalizando apenas 0,33 kg ha<sup>-1</sup> de Cu removidos.

Tabela 17 – Biomassa aérea em kg ha<sup>-1</sup>, quantidade de micronutrientes (g ha<sup>-1</sup>), removidos e mantidos no solo pelo sistema de colheita RMa - Ca de *Eucalyptus saligna* com 7 anos de idade.

| COMPONENTES                | Biomassa<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Biomassa<br>% | B                                     | Cu    | Fe     | Mn      | Zn     | TOTAL   |
|----------------------------|------------------------------------|---------------|---------------------------------------|-------|--------|---------|--------|---------|
|                            |                                    |               | Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> ) |       |        |         |        |         |
|                            |                                    |               |                                       |       |        |         |        |         |
| Toras comerciais           | 197,2                              | 88,7          | 735,7                                 | 328,1 | 5659,2 | 7867,0  | 2322,8 | 17001,6 |
| Casca do tronco comercial  | 8,0                                | 3,1           | 89,1                                  | 24,8  | 410,1  | 9792,2  | 41,6   | 10360,9 |
| Madeira do ponteira        | 3,7                                | 1,5           | 12,8                                  | 8,0   | 107,3  | 221,9   | 20,3   | 371,8   |
| Casca do ponteiro          | 0,5                                | 0,2           | 10,6                                  | 1,9   | 31,5   | 733,3   | 5,2    | 782,7   |
| Galho grosso               | 6,0                                | 2,3           | 41,5                                  | 18,9  | 300,2  | 2986,4  | 43,5   | 3392,8  |
| Galho fino                 | 2,9                                | 1,1           | 33,9                                  | 17,2  | 182,3  | 2359,1  | 36,1   | 2629,8  |
| Folha                      | 4,0                                | 1,6           | 121,0                                 | 25,3  | 334,9  | 3463,3  | 59,3   | 4005,3  |
| Serapilheira acumulada     | 17,5                               | 6,8           | 363,9                                 | 115,3 | 5028,1 | 14941,8 | 263,0  | 20718,9 |
| Sub-bosque                 | 15,9                               | 6,2           | 243,7                                 | 94,0  | 2304,4 | 9518,6  | 326,6  | 12493,4 |
| Total removido na colheita | 197,2                              | 88,7          | 735,7                                 | 328,1 | 5659,2 | 7867,0  | 2322,8 | 17001,6 |
| Total mantido sob o solo   | 58,4                               | 22,9          | 916,5                                 | 305,5 | 8698,8 | 44016,5 | 795,6  | 54755,8 |

Para Rocha (2014), a produção de uma tonelada de madeira de eucalipto, é consumida em média 4 kg de macronutrientes, e para a produção de uma tonelada de folhas, galhos, cascas e serapilheira são consumidos 37, 16, 23 e 20 kg t<sup>-1</sup> de macronutrientes, respectivamente. Nutricionalmente e de forma a manter a conservação do solo, o sistema de colheita que mais se adequa é o qual seja removido apenas a madeira, deixando os demais constituintes do sítio na área colhida.

As diferenças percentuais na exportação de nutrientes do sítio, em função da intensidade da colheita da biomassa em um povoamento de *Eucalyptus saligna* podem ser observadas na Figura 7.

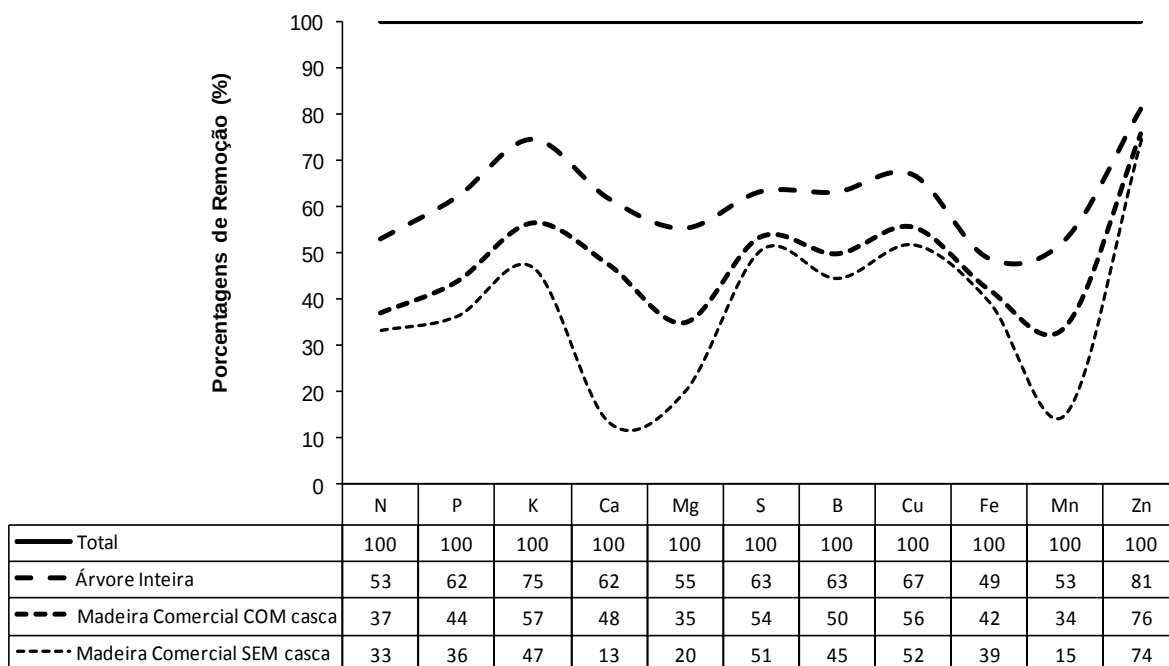


Figura 7 - Percentagens de exportação de nutrientes em diferentes intensidades de colheita florestal em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade.

Onde: total = quantidade total de nutrientes estocados na biomassa do eucalipto + sub-bosque + serapilheira + estoque total disponível no solo; Árvore inteira = biomassa arbórea total – sub-bosque + serapilheira + estoque total disponível no solo; Madeira comercial COM casca = madeira comercial com casca – biomassa da ponteira + sub-bosque + serapilheira + estoque total disponível no solo; Madeira comercial SEM casca = madeira comercial sem casca – biomassa da ponteira + sub-bosque + serapilheira + estoque total disponível no solo.

Considerando o sistema de colheita onde será removida toda a biomassa arbórea acima do solo, a remoção de nutrientes seria superior a 70% para Zn e K, e superior a 60% para a grande maioria dos nutrientes, como Cu, S, B, Ca e P, sendo somente inferior a 55% para Mg, N e Fe. Ainda, neste sistema de colheita estarão sendo removidos 87% do total de nutrientes contidos no sítio, e estaria permanecendo apenas 13% de nutrientes, o que poderá comprometer significativamente o próximo ciclo.

Utilizando-se o sistema de colheita da madeira com a casca irá ocorrer uma remoção de 76% de Zn, 57% para K, 56% para o Cu, 54% para o S, 48% de Ca,

44% de P, 37% de N e 35% para o Mg, sendo que de um modo geral, ocorre uma redução de 7% na exportação total de nutrientes, sendo que neste sistema de colheita estaríamos exportando 80% do total de nutrientes encontrados no sítio, e estaremos deixando no local apenas 20% de nutrientes, porém, ainda poderemos comprometer o próximo povoamento, devido ao baixo percentual de nutrientes que irá permanecer no local.

Viera (2012) verificou que utilizando esse sistema, a remoção de nutrientes chegaria a 71% do K; 66% do Ca; 63% do P; 61% do Mg; 57% do S; 47% do N, valores semelhantes ao encontrado por este estudo, mas que pode ser justificado em função da espécie utilizada, da diferente biomassa arbórea, dos diferentes teores de nutrientes, da idade de corte, bem como, em função da alocação destes nutrientes nos diferentes compartimentos da planta.

Santana et al. (1999), indicam que o descascamento no campo é recomendável pois, além de maior proteção ao solo, adiciona cerca de 14 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa, evitando a exportação em média, de 58% do Ca, 47% do Mg, 27% do P, 22% do K e 14% do N.

Além disso, Gonçalves et al. (2000), relatam que o descascamento da madeira no campo tem grande relevância em termos nutricionais, pois as cascas representam entre 12 e 14% da biomassa do tronco e possuem elevadas concentrações de Ca e P. Em um estudo com *Eucalyptus grandis* aos 7 anos de idade, o autor encontrou uma representação da casca de 23% do total de resíduos gerados pela colheita, e nela estava contido 12, 41; 42 e 28 % de N, P, K, e Ca total destes resíduos, respectivamente.

Santana et al. (1999), relataram que, embora a casca das árvores de eucalipto representa geralmente apenas 10% da biomassa das toras colhidas, esta tem um teor elevado de nutrientes. Segundo esses autores, a manutenção dos resíduos pode reduzir substancialmente as exportações de nutrientes, o que poderia contribuir para uma maior sustentabilidade ou menor uso de fertilizantes em florestas de eucalipto no Brasil.

No entanto, ao analisarmos a exportação média de nutrientes na colheita da madeira sem a casca, observamos que não passou de 55% do total exportado, exceto para o Zn, o qual apresentou uma remoção de 74 %, seguido pelo Cu, com 52%, S com 50%, do K com 47%, B com 45%, Fe com 39%, P com 36%, N 33%, Mg com 20%, Mn com 15% e Ca com 13%.

Conforme podemos verificar neste estudo, o Ca apresentou um decréscimo de exportação com o aumento da quantidade de resíduos deixados pela colheita sobre o solo. Sendo que, com a retirada de toda a árvore da área, seriam exportados 62% do total de Ca encontrado na biomassa arbórea, já com a colheita apenas da madeira comercial com a casca, ocorre uma redução para 48% de exportação e, mais expressamente, ocorre a redução quando realiza-se a colheita apenas da madeira comercial e deixa-se a casca na área, a qual representa uma exportação de apenas 13% do total de Ca encontrado por este estudo. O Ca, em especial apresentou uma queda de 49% do total removido no sistema de colheita da biomassa total de eucalipto.

Diferentemente do encontrado por Hernández et al. (2009) em plantação de *Eucalyptus dunnii* no Uruguai, onde os autores verificaram que os nutrientes mais exportados foram o P (35%), N (27%) e K (18%) com a colheita da madeira sem a casca. Rocha (2014), observou que menos de 40% dos nutrientes acumulados na biomassa aérea de *Eucalyptus grandis* estão contidos no lenho, com exceção do S que aproximadamente 80% do acumulado na parte aérea, encontra-se no lenho.

De um modo geral, o sistema de colheita da madeira sem casca RMa - Ca exportou menor quantidade de macronutrientes (27,3%), seguido do sistema RMa+Ca da madeira com casca (45,2%) e o sistema de colheita da árvore inteira ocorreu uma grande remoção de macronutrientes (61,1%), o que torna o sistema RMa - Ca o mais indicado no manejo da colheita, para manter a sustentabilidade do sítio e garantir a produtividade do próximo povoamento.

#### **5.3.4 Número Potencial de Rotações**

O número potencial de rotações no povoamento foi calculado com base no estoque de nutrientes da biomassa acima do solo e no estoque de nutrientes no solo. A Tabela 18, apresenta a estimativa do número potencial de rotações para cada nutriente no povoamento de *Eucalyptus saligna*.

Tabela 18 - Número potencial de rotações em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade.

| Sistema de Colheita     | N     | P    | K    | Ca    | Mg   | S    | B    | Cu    | Zn   |
|-------------------------|-------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| NPR1 - Total            | -     | 0,16 | 0,28 | 0,80  | 1,10 | 0,12 | 1,01 | 5,64  | 0,34 |
| NPR 2 – Eucalipto       | 1,00  | 0,87 | 0,72 | 1,91  | 2,79 | 0,77 | 2,18 | 8,91  | 0,65 |
| NPR 3 - Madeira + Casca | 2,52  | 1,59 | 1,23 | 2,74  | 4,87 | 1,06 | 3,00 | 10,89 | 0,75 |
| NPR 4 – Madeira         | 10,27 | 2,13 | 1,69 | 12,25 | 9,19 | 1,18 | 3,48 | 11,79 | 0,78 |

No sistema de colheita de toda biomassa acima do solo, no sistema de colheita da árvore inteira “Full harvest” e no sistema de colheita da madeira + casca, a maioria dos nutrientes são limitantes, com exceção do Mg e Cu, os quais suportarão aproximadamente entre 3 e 9 rotações respectivamente, para os dois primeiros sistemas de colheita e podendo atingir, entre 4 e 10 rotações no terceiro sistema de colheita estudado.

De modo geral, considerando a colheita apenas da madeira, o número de rotações aumentou para todos os nutrientes, principalmente para o Ca, Mg e Cu. Diante deste resultado encontrado e corroborando com Viera (2012), ressalta-se que adotando um sistema de manejo que possibilite a permanência da casca no sítio e apenas seja retirada a madeira, o número potencial de rotações seria aumentado, principalmente em consideração ao aumento da disponibilidade de Ca, uma vez que, este nutriente apresentou os maiores teores concentrado no componente casca para o presente estudo (capítulo 4).

Já a estimativa para o K, S e Zn no sistema de colheita somente da madeira, mostra que estes podem ser limitantes nas próximas rotações, uma vez que apresentaram valores inferiores a duas rotações.

Segundo Bizon (2005), em estudos com *Pinus taeda*, se observou que no sistema das toras descascadas, o sítio poderia se sustentar por 25,6 ciclos, enquanto o sistema menos conservacionista (sistema de colheita de árvores inteiras, com uso de queima e erosão do solo de 2 cm a cada ciclo) a sustentabilidade do sistema apresentaria uma queda considerável, para apenas 2,6 ciclos.

A manutenção de resíduos é uma questão importante na avaliação da sustentabilidade da produção florestal. Para Witschoreck (2008), o número potencial de rotações é uma ferramenta de manejo e indica uma transição para um nível de



produtividade inferior, pois na prática, o esgotamento absoluto dos nutrientes não acontece.

Segundo Viera (2012), o número potencial de rotações varia conforme o local de implantação do povoamento, pois implica diretamente nas condições nutricionais do solo. Além disso, depende de cada espécie, devido ao fato de cada uma apresentar diferentes usos e eficiências nutricionais para cada nutriente e entre nutrientes, pois cada um apresenta um comportamento diferente de alocação e translocação dentro da planta.

Além disso, o conhecimento da sustentabilidade nutricional dos manejos aplicados às florestas plantadas é necessário para a adequada gestão desses empreendimentos, principalmente com plantações estabelecidas em solos de baixa fertilidade (BIZON, 2005).

### **5.3.5 Coeficiente de Utilização Biológica**

De acordo com Witschoreck (2008), o coeficiente de utilização biológica corresponde à taxa de conversão de nutrientes em biomassa. Para o autor, esse valor demonstra quantas unidades de biomassa são formadas por unidade de nutriente, e quanto maior o valor, mais eficiente será a conversão dos nutrientes em biomassa, podendo então desta forma potencializar a produtividade de madeira.

Além disso, o autor ressalta que no contexto silvicultural, o que se busca é potencializar a produtividade de madeira, portanto quanto maior o CUB neste componente melhor será a utilização dos nutrientes.

Santana et al. (2002), ressaltam que o CUB é um dos parâmetros fundamentais para a definição das melhores técnicas de manejo e consequentemente para a manutenção da capacidade produtiva do sítio florestal.

Observa-se na Tabela 19, que os maiores valores de CUB para componente madeira, foram encontrados para o macronutriente P e micronutrientes Cu. Indicando que foram utilizados com maior eficiência para a produção de madeira, e apresentam baixos teores no solo estudado. Valor semelhante foi encontrado por Guimarrães (2014), ao analisar o CUB para diferentes espécies de *Eucalyptus* ssp.

no bioma Pampa, onde o autor encontrou o P e o Cu com as melhores taxas de conversão.

O CUB para a componente madeira decresceu na seguinte ordem:  $P > S > Mg > Ca > K > N$ , conforme pode ser observado na Tabela 19. Sendo semelhante a ordem encontrada por Melo et al. (1995), para *Eucalyptus saligna*, onde os autores observaram a magnitude média de  $P > Mg > Ca > K$  e a encontrada por Salvador (2015), em plantios de *Eucalyptus urograndis*, sendo esta de:  $P > Mg > S > Ca > N > K$ .

De modo geral, ao avaliar os CUB para os micronutrientes, destacou-se como mais eficientemente utilizado o Cu e o micronutriente com a menor eficiência foi o Mn, em todos os compartimentos da biomassa arbórea. Na seguinte magnitude média:  $Cu > Zn > Fe > B > Mn$ .

Tabela 19 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes para um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 7 anos de idade.

| Comp. | Macronutrientes |      |     |      |      |      | Micronutrientes |        |       |       |        |
|-------|-----------------|------|-----|------|------|------|-----------------|--------|-------|-------|--------|
|       | N               | P    | K   | Ca   | Mg   | S    | B               | Cu     | Fe    | Mn    | Zn     |
| F     | 64              | 1027 | 127 | 153  | 312  | 820  | 33483           | 160028 | 12093 | 1169  | 68280  |
| Gf    | 231             | 1459 | 195 | 100  | 424  | 2641 | 91424           | 179941 | 17004 | 1314  | 85809  |
| Gg    | 464             | 3422 | 504 | 190  | 796  | 4433 | 178659          | 393262 | 24716 | 2485  | 170702 |
| C     | 317             | 1693 | 216 | 34   | 289  | 3103 | 82652           | 331859 | 20110 | 847   | 174267 |
| M     | 888             | 8785 | 964 | 1998 | 2333 | 4388 | 284034          | 591575 | 36291 | 23779 | 99130  |

Onde: Comp = componentes; F = folhas; Gf = galho fino; Gg = galho grosso; C = casca; M = madeira.

Em relação, aos componentes galhos finos, galhos grossos e casca, o maior coeficiente de utilização de macronutriente foi observado para o S e o menor foi K e Ca. Analisando ainda a componente folha, o macronutriente mais eficientemente utilizado foi do S e o menor foi N.

## 5.4 CONCLUSÃO

Utilizando o sistema de colheita da árvore inteira (RAr), sendo mantida sobre o solo apenas a serapilheira e o sub-bosque, a quantidade de resíduos florestais foi de aproximadamente 33,3 Mg ha<sup>-1</sup>. No sistema de colheita da árvore com casca (RMa+Ca), o total de resíduos que permaneceram sobre o solo foi de 50,49 Mg ha<sup>-1</sup>. Já o sistema em que a árvore é descascada durante a colheita, removendo apenas a madeira (RMa-Ca), apresentou a maior quantidade de resíduos florestais, 197,2 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo este o mais indicado, pois os resíduos florestais consistem em uma importante fonte de nutrientes para o solo.

No sistema de colheita RAr foi exportado 87% de biomassa arbórea, 1,31 Mg ha<sup>-1</sup> de macronutrientes e 0,38 Mg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes. Já no sistema RMa + Ca foi removido 80% de biomassa arbórea, 970,4 Kg ha<sup>-1</sup> de macronutrientes e 27,3 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes. Contudo, o sistema RMa - Ca exportou 77% de biomassa arbórea, 605,3 Kg ha<sup>-1</sup> de macronutrientes e 17,1 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes. O sistema de manejo RMa - Ca foi o que obteve menor exportação de nutrientes e menor remoção de biomassa do sítio, o que torna este sistema de colheita o mais indicado para a manutenção da sustentabilidade nutricional do sítio.

O sistema de colheita apenas da madeira do tronco possibilitou maior número de rotações que os demais sistemas, sendo assim mais sustentável para manter a fertilidade do solo, além disso, o balanço nutricional do povoamento estudado evidenciou que, a sustentabilidade da produção de madeira é altamente dependente do manejo empregado.

Foi constatado que os nutrientes mais limitantes à produtividade no próximo ciclo serão o Potássio, Enxofre e Zinco no sistema de colheita apenas da madeira. O conteúdo de K, S e Zn disponível no solo não serão suficientes para um número médio de cortes superior a dois, ou seja, aproximadamente 14 anos.

Os maiores valores de CUB foram encontrados para o P, seguido do S> Mg> Ca> K> N. Isto indica que, dentre os macronutrientes avaliados, o P foi utilizado com maior eficiência para a produção de madeira. Enquanto que o K e o N foram os nutrientes utilizados com menor eficiência pela planta na produção de madeira, porém mais eficientes na produção de galhos grossos.

## 5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos verificamos que a hipótese da tese “O sistema de colheita da biomassa e dos nutrientes do *Eucalyptus saligna* irá alterar a capacidade produtiva do solo” foi corroborada. Ficando evidente a necessidade de adequarmos um sistema de manejo para diferentes espécies de eucalipto, pois será através da gestão adequada destes povoamentos que conseguiremos manter a sustentabilidade nutricional do sítio e garantir a produtividade de novos povoamentos.

Resíduos da colheita mantidos no solo, representaram uma proporção significativa de biomassa e de nutrientes, por isso é de suma importância realizar o manejo dos resíduos para contribuir no fornecimento de nutrientes, proteção do solo e garantia da sustentabilidade do sítio.

É necessário selecionar espécies eficientes na utilização dos nutrientes quando estabelecidas em solos de baixa fertilidade, para obter altas taxas de produção através do manejo florestal adequado.

E ainda, é extremamente necessário estabelecer a produção de povoamentos florestais com sustentabilidade ambiental, pois somente desta forma poderemos garantir as demais rotações de um sítio, sem comprometer o desgaste nutricional do solo, diminuir o uso de fertilizantes e garantir o desenvolvimento sustentável das futuras plantações que venham a ser estabelecidas.

## 5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2016 ano Base 2015**. ABRAF: Brasília, 2016, 108 p.

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R.F. Fertilidade de solos, nutrientes e produção florestal. **Visão Agrícola**, n.4, p. 76-79, 2005.

BETTANY, J. R.; STEWART, J.W.B; SAGGAR, S.K. The nature and forms of sulfur in organic matter fractions of soil selected along an environmental gradient. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, 43:981-985, 1979.

BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

CHAER, G. M.; TÓLOTA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 31, p.1381-1396, 2007.

CHEN, C. R.; XU, Z. Reservatórios de carbono e nitrogênio do solo e propriedades microbianas em 6 anos de idade, plantação de corte de pinheiros de subtropical Austrália: impactos da gestão de resíduos de colheita. **Forest Ecology and Management** . v. 206, p. 237-247, 2005.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11<sup>a</sup> ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 376 p., 2016.

GUIMARÃES, C. **Biomassa e nutrientes em plantios de Eucaliptos no bioma pampa**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GOMES, S. S. **Predição da disponibilidade de nitrogênio e potencial de resposta a fertilização nitrogenada em plantações de Eucalipto**. 2009. 81 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2009.

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

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 3, p. 601-616, 2001.

HERNÁNDEZ, 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**, Amsterdam, v. 258, n. 2, p. 92–99, 2009.

JONES, H. E. et al. The effect of organic-matter management on the productivity of *Eucalyptus globulus* stands in Spain and Portugal: tree growth and harvest residue decomposition in relation to site and treatment, **Forest Ecology and Management**, 122, 1999, p. 73-86.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Interpretação de análise de solo: Conceito e Aplicações. **Boletim Técnico**, n. 2, 50 p. 2004.

MAGID, J.; TIESSEN, H; CONDRON, L.M. Dynamics of organic phosphorus in soils under natural and agricultural ecosystems. In: PICCOLO, A., ed. **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam, Elsevier, 1996. p. 429-466.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MELO, V. F. et al. **Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul**. IPEF, 48/49:8-17, 1995.

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

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, v. 181, p. 83-93, 1996.

O'CONNELL, A. M. et al. 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.

ROCHA, J. H. T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis***. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2014.

SALVADOR, S. M. S. **Quantificação da biomassa e nutrientes em plantios de *Eucalyptus urograndis* em solos distintos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SANTANA et al. Biomassa e Conteúdo de Nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* de alguns sítios Florestais do Estado de São Paulo, **Scientia Florestalis**, v. 56, p. 155-169, 1999.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, 2002.

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal**. 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2006.

SERRAT, B. M. et al. **Conhecendo o solo**. Curitiba, 1 ed. 2002. p. 32.

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

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil**. 2012. 119f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2012.

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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.



## APÊNDICES

APÊNDICE A – Aspecto do povoamento de *Eucalyptus saligna* de 07anos de idade, em Barra do Ribeiro (RS).



APÊNDICE B – Fotos da coleta de Sub-bosque no povoamento de *Eucalyptus saligna* de 07anos de idade, em Barra do Ribeiro (RS).





APÊNDICE C – Fotos da coleta de biomassa no povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos 07anos de idade, em Barra do Ribeiro (RS).





APÊNDICE D – Coleta de solos no povoamento de *Eucalyptus saligna* de 07anos de idade, em Barra do Ribeiro (RS).



APÊNDICE E – Equações de regressão e estatísticas de ajuste das equações utilizadas para estimar o conteúdo de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de *Eucalyptus saligna*, com 7 anos de idade.

| Nutrientes   | Equação                                       | $R^2_{\text{ajust}}$ | Sxy     | Sxy(%)  |
|--------------|-----------------------------------------------|----------------------|---------|---------|
| Folha        |                                               |                      |         |         |
| N            | $Y = 35,0089 + 1,081 \cdot D^3 H^3$           | 0,908                | 13,670  | 94,700  |
| P            | $Y = 2,0565 + 7,233 \cdot D^3 H^3$            | 0,937                | 0,749   | 15,325  |
| K            | $Y = 16,0829 + 6,0766 \cdot D^3 H^3$          | 0,947                | 5,732   | 7,209   |
| Ca           | $Y = 11,3174 + 0,000046 \cdot D^2 H^2$        | 0,834                | 7,737   | 108,590 |
| Mg           | $Y = 1798,16 + 6,114 \cdot D^3 H^3$           | 0,933                | 653,500 | 38,456  |
| S            | $Y = 2,7412 + 8,386 \cdot D^3 H^3$            | 0,889                | 0,207   | 235,820 |
| B            | $Y = 22,267 + 8,894 \cdot D^3 H^3$            | 0,928                | 9,849   | 13,369  |
| Cu           | $Y = 13,1032 + 4,432 \cdot D^3 H^3$           | 0,898                | 5,945   | 56,140  |
| Fe           | $Y = 179,2379 + 5,781 \cdot D^3 H^3$          | 0,835                | 101,700 | 151,087 |
| Zn           | $Y = 22,7791 + 0,000113 \cdot D^2 H^2$        | 0,809                | 20,609  | 14,518  |
| Galho fino   |                                               |                      |         |         |
| N            | $\ln Y = 1,99965 + 0,00215 \cdot D^2$         | 0,887                | 0,208   | 31,056  |
| P            | $\ln Y = 0,58693 + 1,19186 \cdot D^3 H^3$     | 0,766                | 0,261   | 8,052   |
| K            | $\ln Y = 2,20941 + 0,00203 \cdot D^2$         | 0,839                | 0,241   | 182,868 |
| Ca           | $Y = 27,43744 + 4,704 \cdot D^3 H^3$          | 0,762                | 10,403  | 1,664   |
| Mg           | $\ln Y = 6,31844 + 0,09063 \cdot D$           | 0,887                | 0,227   | 2,551   |
| S            | $\ln Y = -0,21420 + 0,00000151 \cdot D^2 H^2$ | 0,854                | 0,234   | 675,463 |
| B            | $\ln Y = 2,92424 + 0,00214 \cdot D^2$         | 0,881                | 0,215   | 13,473  |
| Cu           | $Y = 12,29546 + 0,00137 \cdot D^3$            | 0,843                | 5,130   | 4,912   |
| Fe           | $y = 0,69132 \cdot D^2$                       | 0,412                | 202,300 | 10,583  |
| Mn           | $Y = 1676,91 + 0,00000599 \cdot D^3 H^3$      | 0,944                | 580,500 | 4,426   |
| Zn           | $Y = 25,68679 + 8,418505 \cdot D^3 H^3$       | 0,037                | 8,674   | 737,836 |
| Galho grosso |                                               |                      |         |         |
| N            | $\ln Y = 0,97464 + 0,07121 \cdot D$           | 0,720                | 0,309   | 3,123   |
| P            | $\ln Y = -0,34524 + 0,00163 \cdot D^2$        | 0,652                | 0,320   | 209,096 |
| K            | $Y = 2,67885 + 0,02017 \cdot D^2$             | 0,880                | 2,020   | 5,072   |
| Ca           | $\ln Y = 2,29563 + 0,04596 \cdot D$           | 0,372                | 0,401   | 3,542   |
| Mg           | $\ln Y = 8,56746 - 17,21019 \cdot D^{-1}$     | 0,514                | 0,464   | 2,493   |
| S            | $\ln Y = -0,73323 + 0,00199 \cdot D^2$        | 0,873                | 0,207   | 57,062  |
| B            | $\ln Y = 1,91138 + 0,07195 \cdot D$           | 0,761                | 0,281   | 921,380 |
| Cu           | $\ln Y = 1,74025 + 0,00177 \cdot D^2$         | 0,641                | 0,355   | 474,055 |
| Fe           | $\ln Y = 4,53365 + 0,00151 \cdot D^2$         | 0,393                | 0,489   | 445,046 |
| Zn           | $Y = 19,65882 + 3,347919 \cdot D^3 H^3$       | 0,301                | 19,077  | 3,706   |

| Casca   |                                                    |       |       |         |
|---------|----------------------------------------------------|-------|-------|---------|
| N       | $\ln Y = 4,987687 - 20,9729 \cdot D^{-1}$          | 0,758 | 0,334 | 8,472   |
| P       | $\ln Y = 2,14236 - 22121,8 \cdot D^{-1} \cdot H^3$ | 0,697 | 0,377 | 8,195   |
| K       | $\ln Y = 4,812361 - 148,122 \cdot (D^{-1})^2$      | 0,753 | 0,391 | 8,106   |
| Ca      | $\ln Y = 6,68897 - 131,65101 \cdot (D^{-1})^2$     | 0,687 | 0,408 | 5,467   |
| Mg      | $\ln Y = 11,13343 - 23,26451 \cdot D^{-1}$         | 0,717 | 0,412 | 2,148   |
| S       | $\ln Y = 2,79840 - 32,40457 \cdot (H^{-1})$        | 0,685 | 0,380 | 3,920   |
| B       | $\ln Y = 2,84914 + 0,07790 \cdot H$                | 0,754 | 0,354 | 5,614   |
| Cu      | $\ln Y = 5,07105 - 22,56200 \cdot D^{-1}$          | 0,730 | 0,386 | 2,836   |
| Fe      | $\ln Y = 7,01755 - 12,16128 \cdot (D^{-1})^2$      | 0,638 | 0,417 | 2,367   |
| Zn      | $\ln Y = 5,23623 - 16,24702 \cdot D^{-1}$          | 0,641 | 0,340 | 9,780   |
| Madeira |                                                    |       |       |         |
| N       | $Y = 3,25790 + 0,00218 \cdot H^2$                  | 0,981 | 0,150 | 335,690 |
| P       | $\ln Y = 1,35761 + 0,00006270 \cdot H^3$           | 0,924 | 0,283 | 108,862 |
| K       | $\ln Y = 2,22474 + 0,15441 \cdot D$                | 0,818 | 0,509 | 0,476   |
| Ca      | $\ln Y = 2,32635 + 0,00301 \cdot H^2$              | 0,964 | 0,232 | 1,137   |
| Mg      | $\ln Y = 6,52942 + 0,001571 \cdot H^2$             | 0,969 | 0,187 | 56,864  |
| S       | $\ln Y = 1,70727 + 0,00266 \cdot H^2$              | 0,962 | 0,209 | 54,690  |
| B       | $\ln Y = 4,35161 + 0,00278 \cdot H^2$              | 0,914 | 0,339 | 63,872  |
| Cu      | $\ln Y = 3,641141 + 0,003712 \cdot D \cdot H$      | 0,947 | 0,283 | 16,396  |
| Fe      | $\ln Y = 5,47671 + 0,16908 \cdot D$                | 0,941 | 0,297 | 49,872  |
| Zn      | $Y = 5,48498 + 0,00278 \cdot H^2$                  | 0,930 | 0,303 | 6,842   |