

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

**DINÂMICA NUTRICIONAL EM UM POVOAMENTO  
HÍBRIDO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*  
EM ELDORADO DO SUL-RS, BRASIL**

**TESE DE DOUTORADO**

**Márcio Viera**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

**DINÂMICA NUTRICIONAL EM UM POVOAMENTO  
HÍBRIDO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* EM  
ELDORADO DO SUL-RS, BRASIL**

**Márcio Viera**

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 **Doutor em Engenharia Florestal**.

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

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

V665d Viera, Márcio

Dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul-RS, Brasil / Márcio Viera. – 2012.  
119 p. : il. ; 30 cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2012

1. Engenharia florestal 2. Nutrição florestal 3. Ciclagem de nutrientes 4. Remoção de nutrientes 5. Estoque de biomassa e nutrientes I. Schumacher, Mauro Valdir II. Título.

CDU 630\*2

Ficha catalográfica elaborada por  
Alenir Inácio Goularte – CRB 10/990  
Biblioteca Central da UFSM

---

© 2012

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

Endereço: Universidade Federal de Santa Maria, Cidade Universitária “Prof. Mariano da Rocha Filho”, Av. Roraima, 1000, Prédio 44, Sala 5268, Bairro Camobi, CEP 97105-900,  
End. Eletr: [vieraflorestal@yahoo.com.br](mailto:vieraflorestal@yahoo.com.br)

---

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

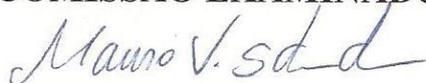
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

**DINÂMICA NUTRICIONAL EM UM POVOAMENTO HÍBRIDO DE**  
***Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* EM ELDORADO DO SUL-RS,**  
**BRASIL**

elaborada por  
**Márcio Viera**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



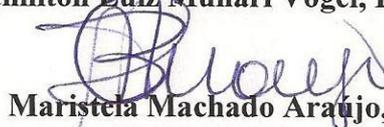
**Mauro Valdir Schumacher, Dr. nat. techn.**  
(Presidente/Orientador)



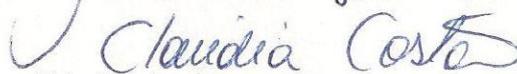
**Lindolfo Storck, Dr. (UFSM)**



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



**Maristela Machado Araujo, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**



**Cláudia das Neves Costa, Dr<sup>a</sup>. (UFSM)**

Santa Maria, 23 de fevereiro de 2012.

Dedico este trabalho a minha família,  
alicerce da minha formação, e a minha  
noiva, que me apoiaram dando muito  
incentivo durante a execução deste  
estudo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas, órgãos e instituições que de maneira direta ou indireta, ajudaram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao CNPq, pela bolsa concedida;

Ao orientador Professor Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, pela orientação, ensinamentos, amizade, oportunidade e confiança depositada;

Ao Prof. Dr. Peter Trüby, orientador no Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre-UniFreiburg, pelos ensinamentos, amizade, oportunidade e confiança depositada;

Aos membros da banca do exame de qualificação de doutoramento, professores Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. Solon Jonas Longhi, Ph.D. Flávio Luiz Folleto Eltz e Dr. Jorge Antônio de Farias; e membros da banca de avaliação da defesa final de tese, professores Dr. Lindolfo Storck, Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr<sup>a</sup> Maristela Machado Araújo e Dr<sup>a</sup> Cláudia das Neves Costa, pelas significantes contribuições prestadas para a melhoria da qualidade final desta tese;

À empresa CMPC - Celulose Riograndense, especialmente ao funcionário Eng. Florestal Elias Frank de Araújo, pela colaboração, apoio técnico, logístico e financeiro na realização desta pesquisa;

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, Eng. Florestais Rudi Witschoreck, Vicente Guilherme Lopes, Ednilson Liberalesso, Prof. Dr. Robson Schaff Corrêa, e aos acadêmicos do curso de Engenharia Florestal, Tayná Rockenbach, Simone M. Salvador, Gabriel Piovesan, Carline Welter, Caroline Weimann, Dione Momolli e Joel C. Santos, pela ajuda e amizade;

Aos funcionários do Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, Vitor Hugo Braga dos Santos e Cristiano Kasdorf Giesbrecht, pela realização de parte das análises químicas e pela amizade;

Às funcionárias do Instituto de Ciência do Solo e Nutrição Florestal da Albert-Ludwigs-Universität Freiburg-Alemanha, pela orientação no laboratório e amizade.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Cerlene da Silva Machado (Tita), pelo apoio e amizade;

Aos meus pais (Izidro e Vivina), irmão (Marcos) e noiva (Franciele), por tudo;

À Deus, pela vida.

Podemos conseguir todo o que queremos,  
basta pensar intensamente naquilo que desejamos.

(Hicks, J.; Hicks, E.)

## RESUMO

Tese de doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DINÂMICA NUTRICIONAL EM UM POVOAMENTO HÍBRIDO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* EM ELDORADO DO SUL-RS, BRASIL**

AUTOR: MÁRCIO VIERA

ORIENTADOR: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 23 de fevereiro de 2012.

O entendimento dos aspectos envolvidos no processo da dinâmica nutricional em povoamentos de eucaliptos é a base para um manejo sustentável. O objetivo deste estudo foi determinar a dinâmica nutricional em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* em Eldorado do Sul – RS, com dez anos de idade. Para isso, foi avaliado: a) a produção de serapilheira (folhas, galhos finos – diâmetro  $\leq 1,0$  cm, miscelânea e galhos grossos – diâmetro  $> 1,0$  cm) e o aporte de nutrientes, dos 6,5 aos 9,5 anos de idade do povoamento (2007 a 2010); b) a decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes pelo método de *litterbags* (adição de 12g de folhas secas recém caídas em bolsas de nylon), durante três anos (2007 a 2009); c) o estoque de biomassa e nutrientes no eucalipto (madeira, casca, galhos e folhas) e sub-bosque (lenho e folhas) aos dez anos de idade do povoamento (junho de 2011); d) a influência de diferentes intensidades de remoção da biomassa (retirada de toda a biomassa – eucalipto + sub-bosque; retirada de toda a biomassa de eucalipto; retirada da madeira com a casca e retirada apenas da madeira) sobre o estoque de nutrientes e; e) alternativas silviculturais para um manejo florestal sustentável. A produção de serapilheira foi crescente com o aumento da idade do povoamento, apresentando comportamento sazonal com maior deposição no período de aumento da temperatura do ar e sendo composta predominantemente pela fração folhas, que também é a responsável por maior parte do retorno de nutrientes via serapilheira. A serapilheira acumulada apresentou coeficiente de decomposição de 0,54 com tempo médio para a renovação de 1,86 anos e tempo médio para decomposição de 50 e 95% da serapilheira em 1,29 e 5,59 anos, respectivamente. A perda de massa foliar apresentou correlação positiva com a concentração de nutrientes, indicando que quanto maior a perda de massa, maior a concentração dos elementos no folheto remanescente. A decomposição da serapilheira foliar apresentou inicialmente imobilização do P, Fe, Mn e Zn e disponibilização dos demais, a partir do segundo ano o P tornou-se disponível e a partir do terceiro ano o Mn e Zn também se tornaram disponíveis, com exceção do Fe. A biomassa do eucalipto encontra-se predominantemente alocada no fuste (madeira + casca) com 93,7% e com os maiores estoques de nutrientes. Os componentes da biomassa apresentaram composições químicas distintas, sendo geralmente maiores nas folhas e casca e menores nos componentes madeira e galhos. Com a colheita da madeira com casca todos os nutrientes sofreriam remoção superior a 45% de sua quantidade acumulada na biomassa total acima do solo. Entretanto, removendo apenas a madeira comercial, que apresenta o maior coeficiente de utilização de nutrientes, a porcentagem de remoção para os nutrientes, com exceção ao Cu e Zn, seria inferior a 50% e chegando até 10% no caso do Ca em relação ao total contido na biomassa. O fósforo e o cálcio poderão ser os principais nutrientes a tornarem-se limitantes na produtividade nas próximas rotações, pois as estimativas de rotações estão próximas a um, quando da colheita da madeira com casca. A saída de nutrientes do sítio via colheita florestal deve ser um componente levado em consideração por parte das empresas, durante o planejamento das atividades, e assim evitando que haja diminuição de produtividade nas próximas rotações e contribuindo para o manejo sustentável, pois a exportação de nutrientes, principalmente do Ca, é elevado devido à colheita da madeira com casca.

**Palavras-chave:** Ciclagem de nutrientes. Nutrição florestal. Estoque de biomassa e nutrientes. Remoção de nutrientes.

## ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Graduation Program in Forestry Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### **NUTRIENT DYNAMICS IN AN *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* HIBRID STAND IN ELDORADO DO SUL-RS, BRASIL**

AUTHOR: MÁRCIO VIERA

ADVISER: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Defense Place and Date: Santa Maria, February 23<sup>rd</sup>, 2012.

Understanding of the involved issues in nutritional dynamics process in eucalyptus stands is the base to sustainable management. Objective this study was to determine the nutritional dynamic in *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* stand, Eldorado do Sul - RS. For this, was available: a) litter production (leaves, twigs – diameter  $\leq 1.0$  cm, miscellaneous and thick branches – diameter  $> 1.0$ cm) and nutrients uptake, from 6.5 to 9.5 years-old stand (2007 at 2010); b) leaf litter decomposition and nutrients release by litterbags method (adding 12g of dried leaves in nylon bags), for three years (2007 to 2009); c) aboveground biomass and nutrients amount in the eucalyptus (wood, bark, branches and leaves) and underground (wood and leaves) to ten-year-old stand (June 2010); d) interfere of different intensities of biomass removal (all aboveground biomass removal – eucalyptus + underground; eucalyptus removal; wood with bark removal and only wood removal) in relation nutrients stock and; - silvicultural alternative for sustainable forestry management. Litter production was increasing with stand age increasing, showing seasonal behavior with deposition increasing with the air temperature increasing and being mainly composed by leaves fraction that also is main fraction nutrients return through litter. Accumulated litter showed decomposition coefficient of 0.54 with 1.86 years how time average renewal and 1.29 and 5.59 years to disappear 50 and 95% of the litter. Mass loss leaf showed positive correlation with nutrients concentration, indicating that the higher mass loss, higher the nutrients concentration in litter remaining. Litter leaf decay initially showed P, Fe, Mn and Zn immobilization and release of the others, in the second year occurred P release and in the third year occurred Mn and Zn release, with Fe exception. Eucalyptus biomass was allocated predominantly to stem (Wood + bark) with 93.7% and with the largest nutrients stock. Biomass components had different chemical composition, being generally higher in leaves and bark and smaller in wood and branches biomass. With the harvest of wood with the bark all the nutrients removal would suffer more than 45% of the total amount accumulated in aboveground biomass. However, removed just the wood, which has the highest nutrients utilization rate, the nutrients removed percentage, except by Cu and Zn, will be less than 50% and up to 10% in the case of Ca in relation the total biomass contained. Phosphorus and calcium can be the main nutrients became limiting in next rotation productivity, because the potential rotation estimates are close to one, when in the harvest of wood with the bark. Nutrients output through forestry harvest must be take account by companies during the planning of activities. Avoiding productivity decreasing with the next rotations, and also contributing sustainable management, because the nutrients exportation, Ca mainly, is high due to wood with bark harvest.

**Keywords:** Nutrients cycling. Forestry nutrition. Nutrients and biomass stock. Nutrients exportation.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Acúmulo de biomassa e quantidade de nutrientes na madeira e casca em diferentes espécies de eucaliptos. ....	25
Tabela 1.2 - Teores de nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nos compartimentos da biomassa de <i>Eucalyptus</i> spp. ....	26
Tabela 1.3 - Atributos físicos do solo na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul.....	29
Tabela 1.4 - Atributos físicos do solo na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul.....	29
Tabela 2.1 - Deposição anual ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) das frações de serapilheira produzida durante o período de 2007 a 2010. ....	46
Tabela 2.2 - Correlação de Pearson entre a deposição de serapilheira e variáveis climáticas, durante o período de 2007 a 2010.....	50
Tabela 2.3 - Teores médios de nutrientes nas frações formadoras da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010.....	52
Tabela 2.4 - Quantidade anual do aporte de macronutrientes ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) das frações formadoras da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010. ....	53
Tabela 2.5 - Quantidade anual do aporte de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) das frações formadoras da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010. ....	54
Tabela 2.6 - Quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada durante o período de 2007 a 2010.....	57
Tabela 2.7 - Serapilheira produzida (SP, $\text{kg ha}^{-1}$ ) e acumulada (SA, $\text{kg ha}^{-1}$ ), coeficiente de decomposição (K), tempo médio de anos para renovação ( $1/K$ ) e anos necessários para decomposição de 50 ( $t_{0,50}$ ) e 95% ( $t_{0,05}$ ) da serapilheira no período de 2007 a 2010.....	58
Tabela 2.8 - Coeficiente anual de devolução de nutrientes via decomposição da serapilheira acumulada. ....	59
Tabela 2.9 - Tempo médio de residência do nutriente (TMR, anos) na serapilheira acumulada. ....	59
Tabela 2.10 - Quantidade de nutrientes disponibilizados via decomposição de serapilheira, durante os quatro anos de estudo (2007 a 2010).....	60
Tabela 3.1 - Variáveis dendrométricas (diâmetro a altura do peito, altura total, área basal, volume com casca e sem casca e índice de área foliar) do eucalipto. ....	84
Tabela 3.2 - Equações utilizadas para estimar a biomassa de cada componente, volume com casca e sem casca e área foliar do eucalipto. ....	85
Tabela 3.3 - Estatísticas dos modelos de ajuste das equações de regressão utilizadas para estimar a biomassa e outras variáveis em um povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus globulus</i> , aos dez anos de idade.....	86
Tabela 3.4 - Quantidade de biomassa acima do solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) em um povoamento de eucalipto e, em seu sub-bosque.....	86
Tabela 3.5 - Teores de nutrientes nos diferentes componentes formadores da biomassa do eucalipto e do sub-bosque.....	89
Tabela 3.6 - Quantidade de nutrientes nos diferentes componentes formadores da biomassa do eucalipto e do sub-bosque.....	91
Tabela 4.1 - Atributos químicos do solo na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul.....	103
Tabela 4.2 - Estimativa do número potencial de rotações (NPR) com base no estoque de nutrientes na biomassa e disponíveis no solo (1m de profundidade) e na saída via colheita da biomassa. ....	107

Tabela 4.3 - Taxa de remoção de macronutrientes (kg de nutrientes/Mg de biomassa) conforme intensidade de colheita da biomassa acima do solo.....	108
Tabela 4.4 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes dos diferentes componentes da biomassa de eucalipto. ....	109

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização do município de Eldorado do Sul – RS. ....	27
Figura 1.2 - Diagrama climático da região de Eldorado do Sul durante o período de estudo (2007 a 2010). ....	28
Figura 2.1 - Deposição mensal das frações formadora da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010. ....	48
Figura 2.2 - Variação estacional média da serapilheira acumulada em um povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus globulus</i> . ....	56
Figura 2.3 - Massa foliar remanescente em <i>litterbags</i> conforme avanço no processo de decomposição. ....	61
Figura 2.4 - Variação nos teores de macronutrientes durante o período de decomposição da serapilheira foliar em <i>litterbags</i> . ....	63
Figura 2.5 - Variação nos teores de micronutrientes durante o período de decomposição da serapilheira foliar em <i>litterbags</i> . ....	64
Figura 2.6 - Relação entre a perda de massa e a concentração de nutrientes em <i>litterbags</i> , após 36 meses de avaliação. ....	65
Figura 2.7 - Disponibilização de nutrientes (%) durante o período de decomposição da serapilheira foliar em <i>litterbags</i> (36 meses). ....	67
Figura 3.1 - Distribuição das plantas de eucalipto nas diferentes classes diamétricas. ....	84
Figura 3.2 - Biomassa relativa em cada componente nas cinco diferentes classes diamétricas do eucalipto. ....	88
Figura 4.1 - Estoque de nutrientes disponíveis (P, K, Ca e Mg) e total (N) no solo e totais nos diferentes compartimentos da biomassa. ....	104
Figura 4.2 - Percentagens de remoção de nutrientes por meio de diferentes intensidades de colheita florestal. ....	106

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Aspectos do coletor de serapilheira (A.1), subparcela de coleta de galhos grossos (diâmetro > 1,0 cm) (A.2 – Foto: Schumacher (2007)), distribuição dos <i>litterbags</i> (A.3 e 4 - Fotos: Schumacher (2007)), sub-bosque (A.5) e da quantificação da biomassa (A6). .....	119
--	-----

## SUMÁRIO

<b>1 ASPECTOS GERAIS</b> .....	<b>16</b>
<b>1.1 Introdução geral</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2 Revisão bibliográfica</b> .....	<b>17</b>
1.2.1 Eucalipto .....	17
1.2.2 Ciclagem de nutrientes .....	19
1.2.3 Decomposição da serapilheira .....	21
1.2.4 Biomassa e nutrientes .....	23
<b>1.3 Caracterização geral da área experimental</b> .....	<b>26</b>
1.3.1 Localização da área experimental.....	26
1.3.2 Características climáticas .....	27
1.3.3 Características do solo .....	28
1.3.4 Implantação do povoamento.....	29
1.3.5 Instalação do experimento .....	30
<b>1.4 Referências bibliográficas</b> .....	<b>30</b>
<b>2 CICLAGEM DE NUTRIENTES VIA DEPOSIÇÃO, ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA</b> .....	<b>36</b>
<b>2.1 Introdução</b> .....	<b>38</b>
<b>2.2 Material e métodos</b> .....	<b>39</b>
2.2.1 Avaliação da deposição de serapilheira.....	39
2.2.2 Estimativa da decomposição através da relação produção/acúmulo de serapilheira.....	40
2.2.3 Estimativa da decomposição da serapilheira foliar através do uso de <i>litterbags</i> .....	42
2.2.4 Análises de nutrientes .....	44
2.2.5 Procedimentos estatísticos.....	45
<b>2.3 Resultados e discussão</b> .....	<b>45</b>
2.3.1 Deposição de serapilheira.....	45
2.3.1.1 Produção de serapilheira.....	45
2.3.1.2 Transferência de nutrientes ao solo via serapilheira.....	51
2.3.2 Decomposição da serapilheira .....	55
2.3.2.1 Serapilheira acumulada.....	55
2.3.2.2 Decomposição da serapilheira foliar pelo método de <i>litterbags</i> .....	60
<b>2.4 Conclusões</b> .....	<b>69</b>
<b>2.5 Referências bibliográficas</b> .....	<b>69</b>
<b>3 ESTIMATIVA DA BIOMASSA E NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus globulus</i></b> .....	<b>77</b>
<b>3.1 Introdução</b> .....	<b>79</b>
<b>3.2 Material e métodos</b> .....	<b>80</b>
3.2.1 Estimativa da biomassa de eucalipto .....	80
3.2.2 Estimativa da biomassa de sub-bosque .....	81
3.2.3 Estimativa dos nutrientes.....	82
3.2.4 Volume e índice de área foliar.....	82
<b>3.3 Resultados e discussão</b> .....	<b>83</b>
3.3.1 Características dendrométricas .....	83
3.3.2 Estimativa da biomassa .....	85
3.3.3 Estimativa do estoque de nutrientes .....	88
<b>3.4 Conclusões</b> .....	<b>92</b>
<b>3.5 Referências bibliográficas</b> .....	<b>92</b>
<b>4 IMPLICAÇÕES NUTRICIONAIS COM BASE EM DIFERENTES INTENSIDADES</b>	

<b>DE COLHEITA .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1 Introdução .....</b>	<b>99</b>
<b>4.2 Material e métodos .....</b>	<b>100</b>
<b>4.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>103</b>
4.3.1 Atributos químicos do solo.....	103
4.3.2 Balanço de nutrientes solo - planta.....	104
4.3.3 Simulação de colheita.....	105
4.3.4 Número potencial de rotações .....	106
4.3.5 Taxas de remoção de nutrientes.....	108
4.3.6 Coeficiente de utilização biológica.....	109
4.3.7 Práticas silviculturais recomendadas .....	110
<b>4.4 Conclusões .....</b>	<b>112</b>
<b>4.5 Referências bibliográficas .....</b>	<b>112</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>116</b>
<b>6 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>118</b>
<b>Apêndice.....</b>	<b>119</b>

# 1 ASPECTOS GERAIS

## 1.1 Introdução geral

A dinâmica nutricional refere-se ao estudo dos aspectos inerentes ao processo de circulação de nutrientes no sistema solo - planta – solo. O conhecimento desse processo é de importância fundamental, possibilitando, dessa forma, a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazos, tanto em relação à produtividade do sítio, como em relação às características nutricionais do solo. Por isso, conforme ressaltam Borém e Ramos (2002), deve-se conhecer bem a dinâmica das interações solo-vegetação nos diferentes ecossistemas.

A entrada de nutrientes no ecossistema por processos naturais se dá através da chuva, deposição de poeira e aerossóis, por fixação microbiológica, acima e abaixo do solo, e por intemperização da rocha matriz. As perdas, por sua vez, ocorrem pelo escoamento superficial da água, pela lixiviação profunda, pela volatilização e pelo deflúvio. A exportação de biomassa, por outro lado, como é o caso da colheita florestal, pode aumentar significativamente essas perdas.

O estudo da produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes em plantações de eucaliptos, em especial o que diz respeito à exportação de nutrientes através da colheita da biomassa, é a base para o entendimento da dinâmica nutricional em sítios florestais. Em plantios novos, é vital para a produção contínua e sustentada, possibilitando a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazos, tanto em relação à produtividade, como em relação às características químicas do solo.

O manejo eficiente de uma plantação com espécies arbóreas está ligado à ciclagem de nutrientes, para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo, com a queda do folheto, e o que é assimilado novamente pelas raízes. Portanto, estimar a quantidade de nutrientes através dos diferentes componentes é importante para a compreensão de um manejo conveniente (LATORRACA et al., 1984). Para Gonçalves et al. (2000), a compreensão do ciclo de nutrientes, no que diz respeito à velocidade de fluxo, entradas e perdas, interação solo-planta, distribuição de componentes da parte aérea e sistema radicular ao longo do tempo são fundamentais para a definição de tecnologias adequadas de manejo florestal.

Esse manejo florestal deverá permitir o aumento da produtividade florestal, mas, no entanto, esse aumento pode propiciar uma maior remoção de nutrientes por meio da colheita florestal. Em certos casos, a mudança de algumas técnicas silviculturais poderia ser suficiente para não ocorrer uma depleção na qualidade do sítio e na produção de biomassa. Segundo Harrison et al. (2000), para avaliar o efeito da colheita florestal na disponibilidade de nutrientes no sítio, primeiramente, deve-se determinar a prioridade de alocação dos nutrientes nos diferentes componentes da árvore, a qual pode ser influenciada pela espécie, espaçamento, manejo, idade e intensidade de colheita, sendo após avaliado o potencial de remoção em comparação com a produção de biomassa.

Com base nisso, o objetivo geral da presente tese foi determinar a dinâmica de nutrientes em um plantio do híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul-RS, Brasil. Como objetivos específicos têm-se a avaliação da produção de serapilheira e o aporte de nutrientes; avaliação da decomposição da serapilheira via deposição e acúmulo e por *litterbags* (bolsas de decomposição); avaliação da disponibilização de nutrientes via decomposição da serapilheira foliar em *litterbags*; determinação do estoque de biomassa e nutrientes acima do solo; simulação de intensidades de colheita florestal com menor impacto nutricional; e o fornecimento de subsídios para um manejo florestal sustentável. Para alcançar esses objetivos, o trabalho foi dividido em capítulos: Ciclagem de nutrientes via deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira (Capítulo I - item 2); Estimativa da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (Capítulo II – item 3); e Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita (Capítulo III – item 4). Após esses capítulos, serão apresentados os itens envolvendo considerações finais e recomendações.

## **1.2 Revisão bibliográfica**

### **1.2.1 Eucalipto**

O eucalipto ocorre naturalmente na Austrália, Indonésia e ilhas próximas, tais como Flores, Alor e Wetar. O eucalipto pertence à família das Myrtaceas, com cerca de 600 espécies dos gêneros *Eucalyptus*, 113 do gênero *Corymbia* e 13 do gênero *Angophora*,

apresentando uma ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, extrapolando aquelas das regiões de origem (VITTI, 2002). Algumas dessas espécies possuem maior intensidade de crescimento em regiões tropicais e subtropicais, em consequência de sua ampla diversidade, favorecendo boa produtividade em condições diversas, além da boa qualidade da madeira, servindo para as mais variadas finalidades (LIMA, 1996; HASSE, 2006).

O primeiro registro da presença do eucalipto no Brasil é de 1825, como planta ornamental. As primeiras espécies foram oficialmente trazidas para o Brasil, com fins comerciais, entre 1900-1910, por Navarro de Andrade, para atender a uma crescente demanda de madeira como fonte energética para as locomotivas a vapor da Companhia Paulista de Estrada de Ferro. Mas foi nos anos 50 que a importância econômica do eucalipto ganhou impulso no Brasil, com o início de sua utilização como matéria-prima para a produção de celulose e papel (HASSE, 2006).

Nenhum gênero foi tão largamente plantado em todo o mundo como o *Eucalyptus*, o qual ocupa uma área de em torno de sete milhões de hectares, dos quais mais da metade plantada no Brasil. Isso representa mais de 50% da área com florestas exóticas implantadas no país. Existem mais de 100 espécies introduzidas no país, sendo o *Eucalyptus grandis* o mais plantado, com 55% da área total, seguido pelo *Eucalyptus saligna* e pelo *Eucalyptus urophylla*, com 17% e 9%, respectivamente. Segundo a ABRAF (2011), o Brasil possui cerca de 4.754.334 hectares plantados de eucalipto, dos quais 273.042 hectares encontram-se no Rio Grande do Sul.

Atualmente, o eucalipto está entre as principais fontes de matéria-prima para a produção de celulose e de carvão vegetal (biomassa energética) para siderurgia, bem como para serrarias e fabricação de cimento, postes, óleos essenciais, entre outras finalidades (LIMA, 1996). De acordo com Reis et al. (1989), muitas espécies de eucalipto crescem relativamente bem em solos de baixa fertilidade. Isso intensifica o seu uso em novos investimentos florestais, em locais antes sem tradição silvicultural para essas espécies. Isso possivelmente pode estar ligado à baixa exigência nutricional e à eficiência de utilização de nutrientes dessas plantas.

Além do mais, um dos principais benefícios do cultivo dos eucaliptos, um bem natural renovável, é oferecer alternativa para o suprimento de madeira, diminuindo, dessa forma, 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, devido às dificuldades técnicas de manejo para que se obtenha a produtividade compatível com as

necessidades das empresas (VIERA, 2010).

As espécies de eucalipto atenderam às necessidades das empresas devido ao seu rápido crescimento e adaptação aos mais variados sítios. Isso decorre da intensificação do uso das técnicas de melhoramento florestal, resultando em híbridos ou clones com alta produtividade e adaptabilidade às mais variadas situações edafoclimáticas. Por isso, hoje, o eucalipto está sendo implantado com fins comerciais em mais de 16 estados brasileiros, abrangendo todas as regiões.

### 1.2.2 Ciclagem de nutrientes

O ciclo de nutrientes de um dado ecossistema florestal consiste na movimentação de nutrientes entre seus compartimentos, bem como na transferência dos compartimentos em estudo a outros ecossistemas. Assim, nos ecossistemas, os elementos são continuamente transferidos entre os compartimentos bióticos e os abióticos. A ciclagem de nutrientes abrange as trocas de elementos minerais entre os seres vivos e o ambiente que os circunda, centrando-se nas relações entre a vegetação e o solo. Por meio dela, obtêm-se informações sobre a distribuição de nutrientes no ecossistema, podendo-se inferir sobre os fluxos entre os diferentes compartimentos (GOLLEY, 1983; JORDAN, 1985; SCHUMACHER et al., 2003; VITAL et al., 2004; VIERA; SCHUMACHER, 2010).

Neste contexto, Hagg (1985) e Balieiro et al. (2004), ressaltam que, para obter parte desses conhecimentos, deve-se levar em consideração a dinâmica nutricional da floresta, principalmente em relação à ciclagem de nutrientes, que ocorre naturalmente, em parte pela lavagem das copas e troncos das árvores pela água da chuva, que atravessa o dossel das árvores, em parte através da deposição de tecidos senescentes (serapilheira), após a sua decomposição. Esse processo, ciclagem de nutrientes (planta - solo - planta), possibilita o desenvolvimento de árvores em solos com baixos teores nutricionais (KOEHLER; REISSMANN; KOEHLER, 1987; SCHUMACHER et al., 2004).

Para Vital et al. (2004), é por meio da produção de serapilheira que ocorre parte do processo de retorno de matéria orgânica e de nutrientes para o solo florestal, sendo essa considerada a forma mais importante de transferência de elementos essenciais da vegetação (nutrientes) para o solo. Segundo Schumacher et al. (2004), essa camada de serapilheira que se acumula sob a copa das árvores funciona como uma grande esponja sobre o solo, com

capacidade de reter a água da chuva, reduzir a evaporação e as variações bruscas de temperatura do solo, assim evitando a erosão, melhorando a estrutura do solo e promovendo a ciclagem de nutrientes.

A biomassa de serapilheira constitui-se na camada de detritos vegetais (folhas, ramos, caules, cascas, frutos e flores) e animais disposta na superfície do solo. Ela contribui, juntamente com os demais compartimentos florestais, para a interceptação da água da chuva e seu armazenamento no solo, para o aumento das taxas de infiltração e condicionamento dos fluxos superficiais (OLSON, 1963).

Em uma vasta compilação de literatura sobre a deposição de serapilheira em diferentes florestas do mundo, Bray e Ghoran (1964) concluíram que, de modo geral, as serapilheiras são compostas de 60-80% por folhas, de 12-15% por ramos, de 1-15% por frutos e de 1-15% por cascas de árvores. Observaram também que florestas situadas em regiões árticas ou alpinas produzem, anualmente, cerca de uma tonelada por hectare de serapilheira; florestas temperadas frias, 3,5 toneladas; florestas temperadas quentes, 5,5 toneladas; e florestas equatoriais, cerca de 11 toneladas.

Conforme Leitão Filho (1993), a manutenção dos ecossistemas florestais depende da capacidade em circular e acumular os nutrientes existentes nos diferentes compartimentos. A manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo, bem como da produtividade de biomassa das florestas de rápido crescimento, está intimamente relacionada ao processo de 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:

**Ciclo geoquímico:** Este ciclo caracteriza-se pela entrada de elementos minerais oriundos da decomposição da rocha matriz, pela fixação biológica de nitrogênio, pelas adubações, pelas deposições de poeiras e gases, bem como pela precipitação pluviométrica. A saída dos elementos minerais para fora do ecossistema ocorre através da erosão, lixiviação, queima (volatilização) e, principalmente, da colheita das árvores.

**Ciclo biogeoquímico:** Tal 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, material reprodutivo, madeira e raízes) e, posteriormente, devolve parte desses elementos por meio da queda de resíduos orgânicos (serapilheira) e decomposição de raízes, os quais, à medida que vão sendo mineralizados, novamente são absorvidos pelas raízes.

**Ciclo bioquímico:** Uma vez absorvidos os nutrientes do solo, alguns desses elementos ficam em constante mobilização no interior da planta. Esse ciclo relaciona-se com as transferências dos elementos minerais dos tecidos mais velhos para os mais jovens.

A quantidade de serapilheira aportada ou acumulada varia em função da tipologia vegetal e da condição climática. Vários fatores, abióticos e bióticos, afetam a produção de serapilheira, como tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, regimes de luminosidade, relevo, deciduidade, estágio sucessional, disponibilidade hídrica e características do solo (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003).

A concentração e o conteúdo de nutrientes nessa serapilheira variam em função da concentração de nutrientes no solo, da vegetação, da densidade populacional, da habilidade da espécie em absorver, utilizar e translocar os nutrientes antes da senescência foliar, da proporção de folhas em relação aos demais componentes, do habitat natural (condições edafoclimáticas) e da idade das árvores (PRITCHETT, 1979; KOEHLER; REISSMANN; KOEHLER, 1987; NEVES; MARTINS; REISSMANN, 2001; VIERA; SCHUMACHER, 2009).

Segundo Caldeira et al. (2008), a quantidade de serapilheira sobre o solo varia em função da composição de espécies, da intensidade da cobertura florestal, do estágio sucessional, da idade, da época da coleta, do tipo de floresta e do local. Além desses fatores, outros como condições edafoclimáticas e regime hídrico, condições climáticas, sítio, sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como taxa de decomposição e distúrbios naturais, tais quais fogo e ataque de insetos, ou artificiais, como a remoção da serapilheira e cultivos, ocorridos na floresta ou no povoamento, também influenciam no acúmulo de serapilheira.

Florestas mais jovens tendem a produzir serapilheira mais “rica” em nutrientes do que florestas mais antigas, principalmente em fósforo (BROWN; LUGO, 1990). Esses autores observam que isso se deve à predominância da absorção de nutrientes pelas árvores jovens, em oposição à predominância da reutilização (ciclo bioquímico) de nutrientes pelas árvores mais antigas. Em ecossistemas naturais, esses processos ocorrem simultaneamente, sendo importantes para a manutenção da biodiversidade vegetal, através da ciclagem de nutrientes.

### 1.2.3 Decomposição da serapilheira

A decomposição da serapilheira é controlada por variáveis, tais como a natureza da comunidade decompositora (animais e microrganismos); as características químicas e físicas da matéria orgânica, a qual determina sua degradabilidade (qualidade); e o ambiente físico-

químico, que opera em escala edáfica ou em microescala (SCHUMACHER; HOPPE, 1997).

Assim como a decomposição da serapilheira, a taxa na qual os nutrientes são liberados depende de vários fatores, como a composição química da serapilheira, a natureza estrutural do nutriente na matriz da serapilheira, a disponibilidade de fontes de nutrientes externos e a relação carbono: nitrogênio (quanto menor for esta relação menor será a quantidade de material orgânico que permanece sobre o solo). A liberação de nutrientes da serapilheira depende da sua qualidade, de variáveis macro e micro climáticas e da atividade biótica. Os fatores climáticos que mais influenciam na decomposição da serapilheira são a temperatura e a umidade do solo (CAMPOS et al., 2004). Além disso, outro fator primordial responsável pela maior ou menor taxa de decomposição é a composição estrutural dos tecidos, pois tecidos com maiores percentuais de celulose, hemicelulose e lignina são mais resistentes à decomposição que tecidos mais pobres nesses materiais (HAAG, 1985).

De acordo com Mason (1980), a decomposição pode ser dividida em três processos básicos: lixiviação, intemperismo e ação biológica, os quais ocorrem simultaneamente. A lixiviação inclui a perda rápida de material solúvel do detrito pela ação da água da chuva ou fluxo de água. Intemperismo é a ruptura mecânica dos detritos devido a fatores físicos como abrasão pelo vento. A ação biológica resulta na fragmentação gradual e oxidação dos detritos por organismos vivos.

Conforme Schumacher e Hoppe (1997), os decompositores que atuam em qualquer nível da cadeia alimentar também são chamados de sapróbios ou saprófitas, tratando-se de organismos heterotróficos representados principalmente pelas bactérias e fungos. Tais organismos são de fundamental importância na reciclagem da matéria que compõe os diferentes ecossistemas. Esses microconsumidores, para conseguirem energia, degradam a matéria orgânica, transformando-a em compostos simples e inorgânicos que são novamente utilizáveis pelos produtores.

A matéria orgânica é encontrada no solo em diferentes estágios de decomposição; o conteúdo e a composição da matéria orgânica são consequência de fatores diversos tais como: o tipo de vegetação, a topografia, o clima e o tempo (idade) (KIEHL, 1978). No solo, o acúmulo ou a destruição sofrem o efeito da atividade dos microorganismos, os quais são afetados pelas condições de umidade, aeração, temperatura e reação do meio (pH), além do indispensável suprimento de nutrientes e de fontes energéticas.

#### 1.2.4 Biomassa e nutrientes

Diversos trabalhos mostram que o acúmulo de biomassa difere entre os ecossistemas florestais. Essa variação pode ser função dos fatores ambientais e dos próprios fatores inerentes à planta (BARNES et al., 1998), bem como da composição florística e das condições edafoclimáticas de cada lugar (HAAG, 1985).

Nesse sentido, os fatores que afetam a produção de biomassa são: espécie, material genético, tipo de solo, disponibilidade hídrica, disponibilidade de nutrientes, espaçamento, luz e temperatura. A produção de biomassa pode variar intensamente conforme a disponibilidade de recursos do sítio florestal, que influenciam na fotossíntese, no particionamento do carbono, na produção de folhas, respiração, entre outros (RYAN et al., 2010).

O acúmulo de biomassa é afetado por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração (KOZLOWSKI; PALLARDY, 1996). A produtividade de um ecossistema está relacionada diretamente com o consumo e com a disponibilidade de dióxido de carbono no meio, pois este é o elemento que movimenta o processo de absorção das plantas (SCHUMACHER; HOPPE, 1997), assim como com a água, a radiação solar e os nutrientes.

Além dos fatores citados, outros também afetam o acúmulo de biomassa e a produtividade, entre eles a idade do povoamento, as procedências, a nutrição, o sítio, a altitude, a umidade do solo, o espaçamento e o desbaste (LADEIRA et al., 2001; CALDEIRA, 2003).

Em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus camaldulensis*, Bernardo et al. (1998) observaram que o diâmetro, a produção de biomassa por árvore e a biomassa do sistema radicular aumentam conforme o aumento do espaçamento, mas a produção total de biomassa por hectare diminui. Dessa forma, a escolha do espaçamento adotado no plantio deve ter por base o produto florestal desejado. Em espaçamentos mais amplos a produção de biomassa acima do solo, principalmente da madeira por árvore é elevada em virtude do maior crescimento em diâmetro, enquanto que em espaçamentos mais reduzidos, ocorre maior produção de biomassa por unidade de área, devido à maior densidade de indivíduos.

A disponibilidade de água e nutrientes também afeta diretamente a produção de biomassa florestal. A quantidade de nutrientes requeridos por uma determinada espécie depende da sua exigência, da taxa de crescimento e de condições climáticas e edáficas que influenciam na disponibilidade de nutrientes para as plantas, além de variar de nutriente para

nutriente (REIS; BARROS, 1990). Segundo os autores, as principais entradas de nutrientes no ecossistema florestal ocorrem via intemperismo, precipitação, fixação assimbiótica e simbiótica de nitrogênio e fertilização. Já a saída de nutrientes ocorre via lixiviação, erosão, volatilização e remoção do material orgânico, com a exploração de diferentes partes da planta (REIS; BARROS, 1990). Os autores mencionados ainda comentam que a intensidade das perdas de nutrientes por meio da lixiviação depende do tipo de manejo imposto ao ecossistema, sendo que essas perdas podem aumentar consideravelmente após a colheita, especialmente quando há queima de resíduos orgânicos seguida de chuva de alta intensidade.

Um ecossistema de uma plantação está sujeito a constantes movimentações de entradas e saídas de nutrientes. Dentre as inúmeras formas de perda de nutrientes do ecossistema, estão como principais a erosão e a exportação dos nutrientes pela extração dos produtos da floresta, como mencionado anteriormente. A perda por exportação pode ser estimada pela avaliação dos teores de nutrientes contidos nos diferentes compartimentos e da biomassa total de cada compartimento removido do sítio florestal. A distribuição da biomassa nos diferentes compartimentos da planta geralmente segue a seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas (CURLIN, 1970; CALDEIRA et al., 1999; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001; CALDEIRA et al., 2007).

A distribuição dos nutrientes nos compartimentos das árvores tem grande importância na nutrição de plantios florestais manejados em rotações sucessivas. O manejo intensivo das plantações de eucaliptos, por exemplo, pode aumentar a produção de biomassa, mas, também, pode aumentar a remoção de nutrientes (BELLOTE; SILVA, 2004). As maiores concentrações de nutrientes em árvores estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se no tronco, que é a parte normalmente colhida.

É importante ressaltar que o acúmulo de nutrientes na biomassa arbórea varia de elemento para elemento, em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade das árvores (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993). Dependendo da intensidade da colheita da biomassa, maiores quantidades de nutrientes serão removidos do sítio florestal (Tabela 1.1).

Algumas espécies de eucalipto podem se adaptar melhor em sítios com restrições edafoclimáticas, desde que se faça a seleção de espécies e procedências melhor adaptadas às condições específicas de sítio. Santana, Barros e Neves (1999) observaram que o conteúdo de nutrientes no tronco (madeira + casca) de eucalipto foi maior nos sítios mais produtivos e nos materiais genéticos melhor adaptados a essas condições, evidenciando uma estreita relação entre produção de biomassa e conteúdo de nutrientes nas árvores.

A distribuição dos nutrientes nos componentes da árvore tem grande importância na nutrição de povoamentos manejados em rotações sucessivas, pois o manejo intensivo das plantações pode aumentar significativamente a produção de biomassa, aumentando, também, a exportação de nutrientes do sítio (BELLOTE; SILVA, 2004).

Tabela 1.1 - Acúmulo de biomassa e quantidade de nutrientes na madeira e casca em diferentes espécies de eucaliptos.

Espécie	Idade (anos)	Comp.	Biomassa (Mg ha <sup>-1</sup> )	Nutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )					Ref.
				N	P	K	Ca	Mg	
<i>E. grandis</i>	10	M	160	128,3	3,7	97,8	264,5	76,9	(1)
		C	23	67,6	6,2	70,0	71,3	22,6	
<i>E. grandis</i>	9	M	231	504,1	9,2	129,5	101,7	23,1	(2)
		C	19	68,9	8,1	153,9	285,1	61,1	
<i>E. grandis</i>	6	M	62	142,6	6,8	49,6	31,0	12,4	(3)
		C	11	37,4	8,4	66,0	86,9	15,4	
<i>E. saligna</i>	10	M	169	202,4	6,4	121,5	317,2	72,5	(1)
		C	15	57,8	4,0	51,8	102,4	24,0	
<i>E. saligna</i>	10	M	129	116,1	29,7	77,4	103,2	12,9	(4)
		C	8	24,8	12,1	48,0	76,0	31,2	
<i>E. dunnii</i>	10	M	126	95,5	6,7	199,4	265,0	41,4	(1)
		C	15	42,0	3,6	61,1	69,9	22,6	
<i>E. camaldulensis</i>	9	M	102	159,3	5,1	57,1	55,4	14,3	(2)
		C	11	33,2	2,1	68,6	200,5	19,4	
<i>C. torelliana</i>	12	M	142	190,9	15,1	190,9	142,5	28,5	(2)
		C	11	43,2	3,9	65,5	312,9	36,2	
<i>E. globulus</i>	4	M	57	69,1	5,2	92,1	63,3	23,0	(5)
		C	7	15,7	2,7	26,4	280,3	17,8	

Onde: M = madeira e C = casca. Fonte: (1) Silva; Poggiani e Coelho (1983); (2) Schumacher; Poggiani (1993); (3) Bellote et al. (1980); (4) Poggiani (1985); (5) Schumacher; Caldeira (2001).

Para Bellote e Silva (2004), cada componente possui concentração de nutrientes relacionada com suas funções, havendo gradiente que geralmente obedece à sequência de concentração folhas > casca > galhos > tronco (Tabela 1.2), sendo que, dentro do mesmo compartimento, podem existir variações significativas de concentração. Isso também ocorre em função do aumento da idade da planta, quando as concentrações de alguns nutrientes por

unidade de biomassa, principalmente os de maior mobilidade, diminuem, mas a quantidade total aumenta. Esse fenômeno foi observado por Harrison et al. (2000), para o P e N em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus camaldulensis*. A tendência que a maioria dos nutrientes tem de concentrar-se nas estruturas mais novas da planta é devida ao fato de as folhas possuírem maior atividade metabólica. Além disso, nessas regiões é que se encontra a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e pela transpiração.

Tabela 1.2 - Teores de nutrientes ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nos compartimentos da biomassa de *Eucalyptus* spp.

Compartimentos	N	P	K	Ca	Mg	S
Folha	24,16 $\pm$ 5,45	1,45 $\pm$ 0,43	10,08 $\pm$ 3,49	8,00 $\pm$ 2,80	2,43 $\pm$ 0,67	1,29 $\pm$ 0,27
Galho vivo	4,37 $\pm$ 1,34	0,57 $\pm$ 0,31	4,97 $\pm$ 1,63	10,80 $\pm$ 4,73	1,68 $\pm$ 0,51	0,35 $\pm$ 0,13
Casca	4,57 $\pm$ 0,88	0,53 $\pm$ 0,13	5,77 $\pm$ 1,88	22,21 $\pm$ 7,70	3,30 $\pm$ 1,18	0,37 $\pm$ 0,13
Madeira	2,09 $\pm$ 0,92	0,25 $\pm$ 0,25	2,60 $\pm$ 1,22	1,43 $\pm$ 0,88	0,49 $\pm$ 0,20	0,23 $\pm$ 0,09

Fonte: LÚCIO et al. (2010).

A distribuição da biomassa e de nutrientes nos diferentes compartimentos de uma árvore é de grande importância para a determinação da idade ideal de corte e do componente a ser colhido, de forma a diminuir a exportação de nutrientes e, por sua vez, minimizar os impactos no sítio (REIS; BARROS, 1990; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001).

### 1.3 Caracterização geral da área experimental

#### 1.3.1 Localização da área experimental

A área experimental foi instalada em um plantio híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, localizado no Horto Florestal Terra Dura, no município de Eldorado do Sul – RS (Figura 1.1), em área pertencente à empresa Celulose Riograndense (CMPC). O

experimento está situado na coordenada geográfica central: 30°10'31.21" de latitude Sul e 51°36'17.85" de longitude Oeste.

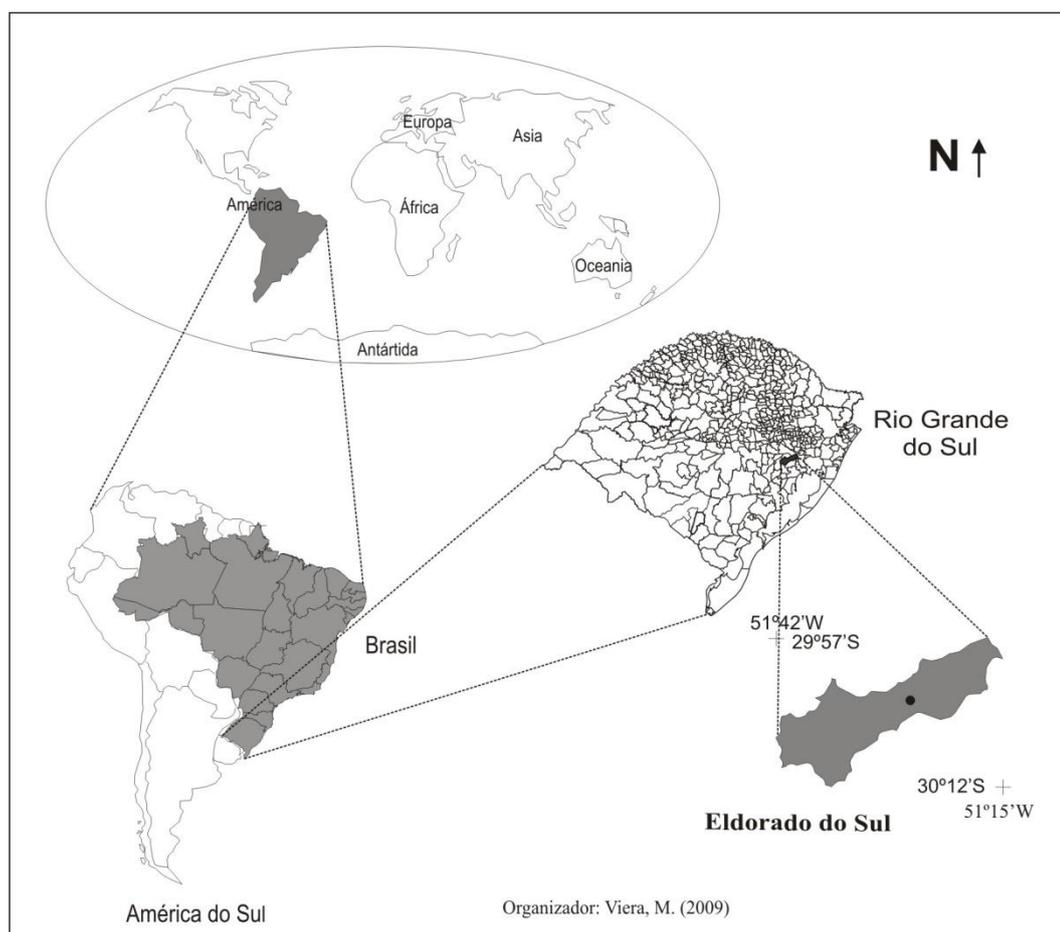


Figura 1.1 – Localização do município de Eldorado do Sul – RS.

### 1.3.2 Características climáticas

Segundo a classificação climática de Köppen, o tipo de clima fundamental predominante é o Cfa (subtropical úmido). A temperatura média do mês mais frio é de 9,2 °C e do mês mais quente de 24,6 °C. A precipitação média anual chega a 1.400 mm, geralmente não ocorrendo estiagens, sendo que o mês com menor pluviosidade atinge valor superior a 80 mm (MORENO, 1961). Na Figura 1.2, pode-se observar o diagrama climático do período de

estudo, no município de Eldorado do Sul-RS. Os valores relativos às variáveis climáticas utilizadas (temperatura e pluviosidade) foram disponibilizados pela Estação Experimental Agrônômica do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, em Eldorado do Sul, RS.

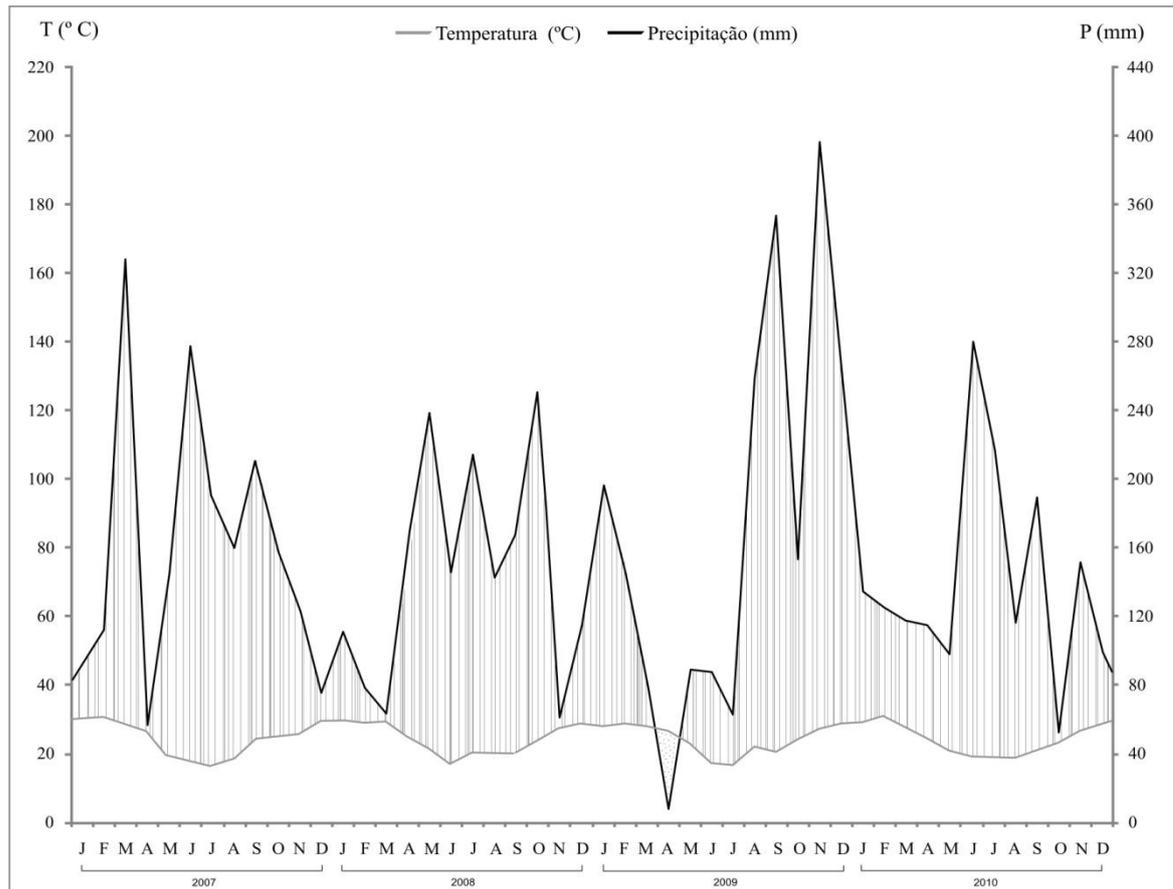


Figura 1.2 - Diagrama climático da região de Eldorado do Sul durante o período de estudo (2007 a 2010).

### 1.3.3 Características do solo

O solo na área experimental é um Argissolo Vermelho Distrófico típico (STRECK et al., 2008) com baixa fertilidade natural. A descrição dos atributos químicos do solo está apresentada no item 4 (Tabela 4.1).

Nas Tabelas 1.3 e 1.4, podem-se observar os atributos físicos do solo em diferentes profundidades na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul-RS. O solo é caracterizado por textura médio-argilosa com cascalhos ou argilosa com cascalhos, em relevo suave ondulado a ondulado.

Tabela 1.3 - Atributos físicos do solo na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul.

Profundidade (cm)	Areia (%)				Silte (%)				Argila (%)
	Grossa	Média	Fina	Total	Grosso	Médio	Fino	Total	
0 - 25	20,4	14,9	10,9	46,2	4,6	4,1	2,9	11,6	42,2
25 - 50	12,7	6,1	4,7	23,5	4,7	5,1	4,0	13,8	62,7
50 - 75	16,1	9,1	4,6	29,8	6,8	7,5	5,1	19,4	50,8
75 - 100	28,5	15,7	5,7	49,9	12,1	9,2	4,4	25,7	24,4

Tabela 1.4 - Atributos físicos do solo na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul.

Profundidade (cm)	Densidade do solo	Densidade partículas	Porosidade total	Micro porosidade	Macro porosidade
	g cm <sup>-3</sup>		%		
0 - 25	1,41	2,74	48,23	18,06	30,17
25 - 50	1,33	2,81	52,62	36,16	16,45
50 - 75	1,37	2,84	51,79	36,79	15,00
75 - 100	1,46	2,84	48,54	36,91	11,63

#### 1.3.4 Implantação do povoamento

A implantação do povoamento foi realizada por meio de preparo reduzido do solo com escarificação (escarificador de 3 hastes) até uma profundidade média de 40 cm, durante o mês de julho de 2001. O espaçamento utilizado foi de 3,5 m x 2,5 m. Foi realizada adubação de plantio com aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato reativo e 100 g planta<sup>-1</sup> de NPK 06:30:06. Foram efetuadas duas adubações de cobertura: uma aos três meses, após implantação, com

adição de 150 g planta<sup>-1</sup> de NPK 15:05:30, e outra aos 12 meses de idade das plantas, com a mesma formulação e dose da anterior. Cabe ressaltar que não foi realizada a adição de calcário na área.

### 1.3.5 Instalação do experimento

O experimento foi instalado no final do mês de dezembro de 2006, quando o povoamento encontrava-se com 5,5 anos de idade. Inicialmente, foram alocados coletores de serapilheira, para avaliar a deposição mensal durante o período de quatro anos (janeiro de 2007 a dezembro de 2010). Concomitantemente a essa instalação, alocaram-se *litterbags*, para avaliar a decomposição mensal da fração folhas da serapilheira (durante um período de três anos – janeiro de 2007 a dezembro de 2009), e iniciou-se o monitoramento estacional da serapilheira acumulada sobre o solo (janeiro de 2007 a dezembro de 2010). O aspecto da dinâmica nutricional via serapilheira é abordada detalhadamente no item 2.

Por fim, quando o povoamento encontrava-se com aproximadamente dez anos de idade (junho de 2011), foi realizada a quantificação da biomassa e dos nutrientes presentes na biomassa acima do solo (eucalipto e sub-bosque). A descrição detalhada desse procedimento encontra-se no item 3.

## 1.4 Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário brasileiro da ABRAF**: ano base 2010. Brasília, 2011. 130 p.

BALIEIRO, F. C. 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.

BARNES, B. V. et al. **Forest ecology**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998. 704 p.

BELLOTE, A. F. J. et al. Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden em função da idade: 1 – macronutrientes. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 1-23, jun. 1980.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds) **Forestry nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-140.

BERNARDO, A. L. et al. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 104, n. 1/3, p. 1–13, May 1998.

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

BROWN, S.; LUGO, A.E. Tropical secondary forests. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 6, n. 1, p. 1-32, jan.-feb. 1990.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 42 – 59, jul.-dez. 2002.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. Curitiba, 2003. 176f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Determinação e identificação dos teores de macronutrientes nas espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista Montana/ General Carneiro, Paraná. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 3, n. 2, p. 211-239, 2007.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento jovem de *Acacia mearnsii* De Wild. estabelecido na região sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 29, n. 1/2, p. 53-65, jan.-dez. 1999.

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

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

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: YOUNGBERG, C.T.; DAVEY, C. B. Ed. **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p. 313-26.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Avaliação Estacional da Deposição de Serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista Localizada no Sul do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, jul.-dez. 2003.

GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: **Tropical forest ecosystems: structure and function**. Amsterdam: Elsevier, p.137-156, 1983.

GONÇALVES, J. L. M. et al. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Forestry nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 13-64.

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

HARRISON, R.B. et al. Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.133, p. 167–177, Aug. 2000.

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: Já Editores, 2006. 127 p.

JORDAN, C. F. Ciclagem de nutrientes e silvicultura de plantações na Bacia Amazônica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., 1985, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, BA, 1985. p. 187-202.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ceres, 1978. 230 p.

KOEHLER, C. W.; REISSMANN, C. B.; KOEHLER, H. S. Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantio de *Araucaria angustifolia* em função do sítio. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 89-94, jan.-dez. 1987.

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiological of woody**. 2. ed. San Diego: Academic, 1996. 432 p.

LA TORRACA, S.M. et al. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, ago. 1984.

LADEIRA, B. C. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos, em uma seqüência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69-78, jan.-mar. 2001.

LEITÃO FILHO, H. de F. **Ecologia da mata Atlântica em Cubatão (SP)**. São Paulo: UNESP, 1993. 184 p.

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

LÚCIO, A. D. C. et al. Limites de precaução e de controle em análises nutricionais de espécies florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 529-537, maio-jun. 2010.

MASON, C. F. **Decomposição** (temas de biologia, v.18); tradução Otávio Antonio de Camargo. São Paulo, 1980. p.3-15.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 73 p.

NEVES, E. J. M.; MARTINS, E. G.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e de nutrientes de duas espécies da Amazônia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 43, p. 47-60, jul.-dez. 2001.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Washington, v. 44, n. 2, p. 322- 330, 1963.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*. Implicações silviculturais**. 1985. 210 f. Tese (Livre-Docente)–Escola superior Luiz de Queiroz /USP, São Paulo, 1985.

PRITCHETT, W.L. **Properties and management of forest soils**. New York: John Wiley, 1979. 500 p.

REIS, G. G. et al. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob

diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 1-18, jan./mar. 1989.

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

RYAN, M. G. et al. Factors controlling Eucalyptus productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1695–1703, apr. 2010.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

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**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 29-37, jan.-fev. 2003.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; KÖNIG, F. G. Análise de nutrientes para a sustentabilidade. **Revista da Madeira**, Curitiba, n.83, ano 14, agosto de 2004.

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

SCHUMACHER, M. V., POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* f. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan.-dez. 1993.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 6/7, p. 9-25, jun.-dez. 1983.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

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, v. 36, n. 2, p. 143-147, 1972.

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.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L.. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 375-382, out./dez. 2009.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 225-233, abr.-jun. 2010.

VITAL, A. R. T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, out.-dez. 2004.

VITTI, G. C. et al. **Adubação e nutrição do eucalipto**. Piracicaba: ESALq, 2002. 45 p.

## 2 CICLAGEM DE NUTRIENTES VIA DEPOSIÇÃO, ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA

### Resumo

A ciclagem de nutrientes em povoamentos de curta rotação configura-se como uma das mais importantes formas de suprimento nutricional às plantas. Diante disso, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar a ciclagem de nutrientes via deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul - RS. As avaliações de deposição e acúmulo de serapilheira foram realizadas durante 5,5 a 9,5 anos de idade do povoamento, e a decomposição foliar por *litterbags* foi instalada aos 5,5 anos e avaliada durante três anos. A deposição de serapilheira foi determinada quinzenalmente, ao passo que a serapilheira acumulada a cada mudança de estação e decomposição foliar foi mensurada mensalmente. A produção de serapilheira foi crescente com o aumento da idade do povoamento, sendo de 6,9 aos seis e 8,5 Mg ha<sup>-1</sup> aos nove anos, apresentando comportamento sazonal, com maior deposição no período de maior temperatura do ar, e sendo composta predominantemente pela fração folhas (67%), que também é a responsável por maior parte do retorno de nutrientes via serapilheira. A serapilheira acumulada apresentou coeficiente de decomposição de 0,54, com tempo médio para a renovação de 1,86 anos e tempo médio para decomposição de 50 e 95%, em 1,29 e 5,59 anos, respectivamente. A perda de massa foliar apresentou correlação positiva com a concentração de nutrientes, indicando que quanto maior a perda de massa, maior a concentração dos elementos no folheto remanescente. A decomposição da serapilheira foliar apresentou, inicialmente, imobilização do P, Fe, Mn e Zn e disponibilização dos demais. A partir do segundo ano, o P tornou-se disponível e, a partir do terceiro ano, o Mn e Zn também se tornaram disponíveis, com exceção do Fe.

**Palavras - chave:** Nutrição florestal. Disponibilidade de nutrientes. Sustentabilidade florestal. Ciclagem biogeoquímica.

# NUTRIENTS CYCLING THROUGH LITTER DEPOSITION, ACCUMULATION AND DECOMPOSITION

## Abstract

Nutrient cycling in short-rotation stands is one of the most important plant nutrients supplies. Thus, this study objective evaluates nutrient cycling through litter deposition, accumulation and decomposition in *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* stand, Eldorado do Sul - RS. Litter deposition and accumulation evaluated between 5.5 to 9.5 years-old stand and leaf decay by litterbags was installed to 5.5 years-old and three years evaluated. Litter deposition was fortnightly evaluate, litter accumulation in each seasonal change and monthly by leaf decay. Litter deposition was increasing with stand age increasing, 6.9 to six and 8.5 Mg ha<sup>-1</sup> to nine years, showing seasonal behavior with deposition increasing with the air temperature increasing and being mainly composed by leaves fraction (67%), that also is main fraction nutrients return through litter. Accumulated litter showed decomposition coefficient of 0.54 with 1.86 years how time average renewal and 1.29 and 5.59 years to disappear 50 and 95% of the litter. Mass loss leaf showed positive correlation with nutrients concentration, indicating that the higher mass loss, higher the nutrients concentration in litter remaining. Litter leaf decay initially showed P, Fe, Mn and Zn immobilization and release of the others, in the second year occurred P release and in the third year occurred Mn and Zn release, with Fe exception.

**Keywords:** Forestry nutrition. Nutrients release. Forestry sustainable. Biogeochemical cycling.

## 2.1 Introdução

A serapilheira constitui-se na camada de detritos vegetais (folhas, ramos, caules, cascas, frutos e flores) e animais disposta na superfície do solo. A formação desta reflete no equilíbrio entre a produção e a decomposição no sistema (OLSON, 1963). A camada de detritos contribui, juntamente com os demais compartimentos florestais, para a interceptação da água da chuva, por meio de amortecimento e consequente dispersão da energia cinética das gotas, minimizando assim os efeitos erosivos (OLIVEIRA, 1987). Segundo o autor, por meio de gradiente vertical de decomposição, a camada de serapilheira é responsável pelo armazenamento de água no solo, bem como pelo aumento das taxas de infiltração e condicionamento dos fluxos superficiais.

A deposição de material orgânico é considerada a forma mais importante de transferência de nutrientes da vegetação ao solo florestal (VIERA; SCHUMACHER, 2010a). A maior parte dos nutrientes absorvidos pelas árvores retorna ao solo pela queda de material orgânico (HAAG, 1985). Segundo o autor, existe variação entre as espécies florestais em relação à quantidade de nutrientes retidos e devolvidos. Para ele, há espécies que retêm a maior parte dos nutrientes absorvidos, enquanto outras devolvem a maior parte da quantidade de nutrientes que absorvem, assim como há aquelas em que a retenção é igual à devolução. Essa relação de retenção e devolução está vinculada às diferentes taxas de retranslocação das espécies (VIERA; SCHUMACHER, 2009), à idade e às condições edafoclimáticas (HAAG, 1985).

Dentro do próprio indivíduo, a concentração de nutrientes pode ser variável. Essa situação é verificada para a serapilheira, pois, devido a sua composição (folhas, galhos, estruturas reprodutivas, casca e outros), cada compartimento apresentará concentrações específicas (VIERA et al., 2010). O entendimento dos aspectos inerentes à dinâmica dos processos envolvidos na ciclagem dos nutrientes, via produção, acúmulo e decomposição dos detritos vegetais, avaliando entradas e saídas, é necessário para o manejo florestal sustentável, visando à obtenção de indicadores ambientais sobre esses ecossistemas.

Quantidades significativas de nutrientes podem retornar ao solo através da queda dos componentes senescentes da parte aérea das plantas e de sua posterior decomposição. Esses fragmentos orgânicos, ao caírem sobre o solo, formam uma camada de serapilheira (GOLLEY et al., 1975). O conhecimento da disponibilidade de nutrientes através desses fragmentos é extremamente importante para se avaliar o impacto e as implicações das ações de manejo na

disponibilidade de nutrientes no solo e na produtividade futura dos povoamentos florestais (FERREIRA et al., 2004; VITAL et al., 2004; VIERA; SCHUMACHER, 2010b). Afinal, a serapilheira contém uma grande parte dos nutrientes extraídos do solo pelas árvores e, à medida que o material decíduo vai decompondo-se, os nutrientes nela contidos são liberados, dando sequência à ciclagem de nutrientes (planta – solo – planta) (KOEHLER; REISSMANN; KOEHLER, 1987; SCHUMACHER et al., 2004), através da reabsorção pelas raízes das plantas (SCHUMACHER et al., 2003). Em razão disso, objetivou-se, com o presente estudo, avaliar a ciclagem de nutrientes via deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*.

## 2.2 Material e métodos

### 2.2.1 Avaliação da deposição de serapilheira

Para a avaliação da deposição de serapilheira, foram demarcadas quatro parcelas de 35 m x 20 m. Em cada uma das parcelas, foram distribuídos, sistematicamente, quatro coletores de serapilheira, alocados em quatro diferentes posições: um na linha de plantio, entre duas árvores; outro na entrelinha de plantio, entre duas árvores; outro na diagonal à linha de plantio, entre quatro árvores; e o último encostado ao tronco de uma das árvores, perfazendo, no total, 16 coletores de serapilheira. Esses coletores foram feitos de madeira em formato quadrático (1 m<sup>2</sup> de área específica de coleta), com fundo em tela de nylon (1 mm), e foram instalados a 50 cm de altura em relação ao nível médio do solo. Os coletores foram instalados no início do mês de janeiro de 2007, e neles foram realizadas coletas quinzenais de serapilheira depositada até dezembro de 2010.

Para a determinação da biomassa de galhos com diâmetro superior a um centímetro, alocaram-se, em cada uma das quatro parcelas principais, três subparcelas de 2 m x 3 m, onde foi realizada a coleta quinzenal dos galhos depositados sobre o solo, durante o mesmo período de avaliação da serapilheira depositada sobre os coletores.

Após cada coleta, o material foi acondicionado em embalagens, devidamente identificado e enviado para o Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Em laboratório, as amostras provenientes das caixas coletoras de serapilheira foram separadas em frações: folhas, miscelânea e galhos finos (diâmetro  $\leq 1,0$  cm). Os galhos grossos foram limpos com pincel para retirar possíveis partículas de solo aderidas à superfície. Após esses procedimentos, os mesmos foram colocados em sacos de papel pardo e postos para secagem, em estufa de circulação e renovação de ar, a uma temperatura de 70 °C, até atingir peso constante, com determinação da massa seca em balança de precisão (0,01g). Após o término das pesagens, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Willey, com peneira de 30 *mesh*, para posterior análise de nutrientes.

A partir dos dados provenientes de cada coleta mensal dos detritos vegetais (soma das duas quinzenas de cada mês do material coletado), foi estimada a quantidade média de deposição e nutrientes que retornaram ao piso florestal, durante o período de estudo. Essa estimativa de produção de serapilheira em cada ano ( $PS_j$ ,  $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) foi baseada na expressão sugerida por Lopes, Domingos e Struffaldi de Vuono (2002) e modificada para este estudo:

$$PS_j = \left( \frac{10.000}{AC} \right) \sum_{ij} PMS_{ij}, \quad \left[ \begin{array}{l} i=1, 2, \dots, 12 \text{ meses} \\ j=1, 2, 3, 4 \text{ anos} \end{array} \right]$$

Onde:

$AC$  = Área do coletor ( $m^2$ );

$PMS_{ij}$  = Produção de serapilheira no mês  $i$  do ano  $j$ .

Para o cálculo da quantidade anual de nutrientes contidos na serapilheira depositada, levou-se em consideração o aporte mensal da serapilheira multiplicada pelo teor mensal de nutrientes, em cada fração.

### 2.2.2 Estimativa da decomposição através da relação produção/acúmulo de serapilheira

A determinação da serapilheira acumulada foi realizada estacionalmente, entre dezembro de 2006 e dezembro de 2010. As coletas foram realizadas ao final de cada estação, sendo coletadas 16 amostras de serapilheira acumulada sobre o solo, quatro amostras por parcela, de forma aleatória. Para isso, utilizou-se uma moldura de madeira com formato

quadrático e com 25 cm de lado. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal, onde passaram por um processo de limpeza, visando à retirada de pedriscos, restos de solo aderido à serapilheira, raízes, etc. Logo em seguida, foram postas para secagem e pesagem, conforme descrito no item 2.2.1. Entretanto, para a moagem e posterior análise química, foram realizadas amostras compostas com a mistura das quatro amostras de cada parcela, resultando em quatro amostras por estação.

O cálculo do coeficiente de decomposição (K) foi realizado segundo a equação proposta por Olson (1963):

$$K = \frac{L}{X_{ss}}$$

Onde:

L = Serapilheira produzida anualmente, em kg ha<sup>-1</sup>;

X<sub>ss</sub> = Quantidade média de serapilheira acumulada sobre o solo, em kg ha<sup>-1</sup>.

A partir do coeficiente de decomposição, calculou-se o tempo médio de renovação, estimado em 1/K, e os tempos necessários para que ocorra a decomposição de 50% (t<sub>0,50</sub>) e 95% (t<sub>0,05</sub>) da serapilheira, estimados pela equação: t<sub>0,5</sub> = 0,693/K e t<sub>0,05</sub> = 3/K.

O cálculo do coeficiente de devolução (CD, kg ha<sup>-1</sup>) de nutrientes via decomposição da serapilheira foi estimado com base na fórmula descrita por Chaturvedi e Singh (1987):

$$CD = \frac{A}{A+F}$$

Onde:

A = Quantidade anual de aporte de nutrientes via deposição de serapilheira, em kg ha<sup>-1</sup>;

F = Quantidade de nutrientes contidos na serapilheira acumulada, em kg ha<sup>-1</sup>.

Para a determinação do tempo médio de residência (TMR, anos) do nutriente na serapilheira, foi utilizada a relação sugerida por Adams e Attiwill (1986):

$$TMR = \frac{NSA}{NSP}$$

Onde:

NSA = Quantidade de determinado nutriente na serapilheira acumulada, em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;

NSP = Quantidade de determinado nutriente na serapilheira produzida anualmente, em  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Avaliou-se, também, a quantidade de nutrientes disponibilizados (QND,  $\text{kg ha}^{-1}$ ), via decomposição de serapilheira, durante os quatro anos de estudo:

$$\text{QND} = (\text{NSPT} + \text{NSA}_0) - \text{NSA}_f$$

Onde:

NSPT = Quantidade de determinado nutriente na serapilheira produzida durante todo o período de estudo, em  $\text{kg ha}^{-1}$  (4 anos);

NSA<sub>0</sub> = Quantidade de determinado nutriente na serapilheira acumulada no início da avaliação, em  $\text{kg ha}^{-1}$  (ano de 2007);

NSA<sub>f</sub> = Quantidade de determinado nutriente na serapilheira acumulada no final da avaliação, em  $\text{kg ha}^{-1}$  (ano de 2010).

### 2.2.3 Estimativa da decomposição da serapilheira foliar através do uso de *litterbags*

A avaliação da decomposição da fração folhas da serapilheira baseou-se no uso da técnica de *litterbags*. A fração folhas, utilizada para compor os *litterbags*, foi coletada em dezembro de 2006, na mesma área de estudo, levando-se em consideração apenas o material recém caído (camada L da serapilheira produzida). Após a coleta, todas as folhas amostradas foram embaladas em sacos plásticos e transferidas para o Laboratório de Ecologia Florestal, onde foram postas para a secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C, até atingir peso constante.

Após secagem, a fração folhas foi acondicionada em bolsas de nylon (*litterbags*), com malha de 2 mm e com dimensões de 20 cm x 20 cm. Foram utilizadas 12 g de folhas secas em cada bolsa. Ao todo, foram confeccionados 648 *litterbags*. Os *litterbags* foram instalados no início do mês de janeiro de 2007. Próximo às parcelas de avaliação da deposição

da serapilheira, foram demarcadas três parcelas (36 m x 6 m), onde as bolsas com a fração folhas foram alocadas. Em cada parcela, foram demarcadas 36 linhas com equidistância de um metro e instalados seis *litterbags* em cada linha, totalizando, dessa forma, 216 bolsas para avaliação da decomposição em cada parcela.

Antes de adicionar as bolsas ao solo, as mesmas sofreram perfurações com diâmetro de cerca de um centímetro, para facilitar o ataque de agentes decompositores com dimensões superiores. Essas perfurações foram feitas com o intuito de possibilitar uma aproximação às condições reais de decomposição da serapilheira depositada sobre o solo.

As avaliações foram realizadas mensalmente, entre janeiro de 2007 e dezembro de 2009, com a coleta de uma linha de *litterbag* em cada parcela (18 amostras mensais). A definição da linha a ser coletada foi baseada em sorteio prévio. As coletas foram realizadas de maneira minuciosa, para evitar perda de material, colocando-se o material em embalagens plásticas e enviando-o ao Laboratório de Ecologia Florestal. No laboratório, as amostras passaram por um processo de limpeza, com o auxílio de pinça e pincel para a retirada de material adverso, como raízes do eucalipto e sub-bosque, insetos, solo ou outro material que não fosse proveniente da fração folha que havia sido colocada durante a instalação do experimento. Logo depois, as amostras foram postas para secagem e pesagem, conforme descrito no item anterior (2.2.1). Entretanto, para a moagem e posterior análise química, foram realizadas amostras compostas com a mistura de duas amostras, resultando em três amostras mensais por parcela (nove no total).

A determinação do percentual de folhas remanescentes ( $W_{\%}$ ) após cada coleta foi determinado pela seguinte expressão:

$$W_{\%} = \frac{W_t}{W_0} \times 100$$

Onde:

$W_t$  = Peso seco de folhas remanescentes no *litterbag* no tempo t (t = 1, 2, ..., 36 meses, em g);

$W_0$  = Peso seco inicial do *litterbag*, em g.

Para a obtenção da taxa anual de decomposição da fração folhas, foi utilizada a equação exponencial descrita por Olson (1963):

$$W_t = W_0 \cdot e^{-Kt}$$

Onde:

$W_t$  = Peso seco de folhas remanescentes no *litterbag* no mês  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, 36$  meses), em g;

$W_0$  = Peso seco inicial do *litterbag*, em g;

$Kt$  = Constante anual de decomposição.

A porcentagem de disponibilização de nutrientes ( $R\%$ ) foi obtida pela fórmula descrita por Guo e Sims (1999), a qual segue abaixo:

$$R\% = \frac{W_0 C_0 - W_t C_t}{W_0 C_0} \times 100$$

Onde:

$W_0$  = Peso seco inicial do *litterbag*, em g;

$C_0$  = Teor inicial do nutriente no *litterbag*; macronutrientes, em  $g\ kg^{-1}$  e micronutrientes, em  $mg\ kg^{-1}$ ;

$W_t$  = Peso seco de folhas remanescentes no *litterbag* no mês  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, 36$  meses), em g;

$C_t$  = Teor do nutriente nas folhas remanescentes no mês  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, 36$  meses); macronutrientes, em  $g\ kg^{-1}$  e micronutrientes, em  $mg\ kg^{-1}$ .

#### 2.2.4 Análises de nutrientes

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Em todas as amostras de tecido vegetal, após a secagem e moagem, foi realizada a determinação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). O nitrogênio foi determinado pelo método *Kjeldahl* (digestão sulfúrica =  $H_2SO_4 + H_2O_2$ ); fósforo e boro por espectrofotometria (P por digestão nítrica-perclórica e B por digestão seca); potássio por fotometria de chama; enxofre por turbidimetria; e cálcio, magnésio, cobre, ferro,

manganês e zinco por espectrometria de absorção atômica (todos por digestão nítrica-perclórica), seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

### 2.2.5 Procedimentos estatísticos

A análise estatística foi realizada com o aplicativo *SPSS 13.0 for Windows* (1996), considerando as diferentes frações formadoras da serapilheira (folhas, galhos finos, miscelâneas e galhos grossos) como tratamentos e os meses como repetições (48 meses). Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para a separação dos contrastes de médias. A análise de correlação linear de Pearson ( $r$ ) foi considerada significativa a 1 ou 5% de probabilidade de erro.

As informações sobre as variáveis meteorológicas utilizadas nesse estudo, para a análise de correlação de linear de Pearson, foram disponibilizadas pela Estação Experimental Agronômica do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 Deposição de serapilheira

#### 2.3.1.1 Produção de serapilheira

A produção de serapilheira foi crescente com o aumento da idade do povoamento, sendo  $6,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  aos seis anos e  $8,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  aos nove anos (Tabela 2.1). A quantidade de serapilheira produzida no presente estudo está na faixa de valores encontrados por outros autores para diferentes espécies do gênero *Eucalyptus* (POGGIANI, 1985; POGGIANI et al., 1987; SCHUMACHER et al., 1994; SOUZA; DAVIDE, 2001; BALIEIRO et al., 2004;

ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004; SANTIAGO; MOLINERO; POZO, 2011). Mas, cabe lembrar que esses estudos não levaram em consideração a contribuição da fração galho grosso no aporte total de serapilheira.

Tabela 2.1 - Deposição anual ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) das frações de serapilheira produzida durante o período de 2007 a 2010.

Ano	Idade (anos)	Folhas	Galhos Finos	Miscelânea	Galho Grosso	Total
2007	6,0	4.593,9 (66,9)*	1.260,6 (18,3)	584,6 (8,5)	431,4 (6,3)	6.870,5
2008	7,0	4.411,7 (61,0)	1.123,0 (15,5)	887,7 (12,3)	804,2 (11,1)	7.226,5
2009	8,0	5.426,5 (71,6)	875,3 (11,6)	718,3 (9,5)	556,6 (7,3)	7.576,6
2010	9,0	5.745,8 (67,6)	1.162,6 (13,7)	989,9 (11,6)	602,0 (7,1)	8.500,3
Média	---	5.044,5 (66,9)	1.105,4 (14,7)	795,1 (10,5)	598,5 (7,9)	7.543,5

\* Valores entre parênteses correspondem à porcentagem de cada fração em relação ao total de serapilheira em cada ano de estudo.

No estudo realizado por Poggiani (1985), com ciclagem de nutrientes em plantações de eucaliptos, em Piracicaba - SP (com sete anos de idade), e pinus, em Agudos - SP (com 11 anos de idade), o autor encontrou uma deposição de  $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  para *Eucalyptus saligna*,  $7,1 \text{ Mg ha}^{-1}$  para *Pinus oocarpa* e  $8,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  para *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Em áreas degradadas pela extração de xisto betuminoso em São Mateus do Sul - PR, Poggiani et al. (1987) encontraram deposição de 4,4; 2,8 e  $4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$  para *Pinus taeda* (com oito anos de idade), *Eucalyptus viminalis* (com cinco anos de idade) e *Mimosa scabrella* (com sete anos de idade), respectivamente. No estudo realizado por Schumacher et al. (1994), com *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* (ambos com sete anos de idade) e *Eucalyptus torelliana* (dez anos de idade), em Anhembi - SP, os autores encontraram produção de serapilheira de 7,2; 3,1 e  $5,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. Souza e Davide (2001) encontraram uma deposição de 7,10 e  $3,46 \text{ Mg ha}^{-1}$  para *Eucalyptus saligna* (13 anos de idade) e *Mimosa scabrella* (sete anos de idade), respectivamente, em área de mineração de bauxita em Poços de Caldas MG, e de  $4,49 \text{ Mg ha}^{-1}$ , em uma mata nativa não minerada.

Em monoculturas de *Eucalyptus grandis* e *Pseudosamanea guachapele* com sete anos de idade em Seropédica - RJ, Balieiro et al. (2004) encontraram deposição de serapilheira de 11,84 e  $12,75 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente. A produção de serapilheira em povoamentos, com

seis anos de idade, de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita*, verificada por Zaia e Gama-Rodrigues (2004) em Campos dos Goytacazes – RJ foi de 4,78; 4,53 e 4,99 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Santiago, Molinero e Pozo (2011) encontraram deposição de serapilheira de 5,3 e 7,0 Mg ha<sup>-1</sup> em povoamento de *Eucalyptus globulus* Labill. com 13 – 14 anos de idade na Espanha.

Pode-se observar, com os estudos citados anteriormente, que a deposição de serapilheira é muito variável. Isso está atrelado á diversos fatores, abióticos e bióticos, como tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, regimes de luminosidade, relevo, disponibilidade hídrica e características do solo (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003), sendo o clima um dos mais importantes (MASON, 1980).

A fração folhas correspondeu em média a 66,9% da serapilheira total, seguida pelos galhos finos (14,7%), miscelânea (10,5%) e galho grosso (7,9%). Maior produção de folhas encontrada nesse estudo corrobora com a verificada por outros estudos, em diferentes formações florestais, onde encontraram maiores porcentagens (variando de 60 a 80%) de folhas no material depositado (ANDRADE; COSTA; FARIA, 2000; SCHUMACHER et al., 2003; SCHUMACHER et al., 2004; BACKES; PRATES; VIOLA, 2005; PIRES et al., 2006; FERREIRA et al., 2007; FERNANDES; NASCIMENTO; CARVALHO, 2007; VOGEL et al., 2007; VIERA; SCHUMACHER, 2010a; SCHUMACHER et al., 2011).

A deposição de serapilheira mostrou-se com comportamento sazonal (Figura 2.1). A fração folhas apresentou a seguinte magnitude de deposição: primavera > verão = outono > inverno; para a fração galhos finos a magnitude foi: primavera > verão = outono = inverno; para a fração miscelâneas a magnitude foi: primavera > verão > outono > inverno; para a fração galho grosso a magnitude foi: verão > primavera = outono > inverno e para o total foi: primavera > verão = outono = inverno. A deposição de galhos finos, miscelânea e galho grosso são irregulares durante o ano, já na fração folhas ocorrem dois períodos distintos com maior produção, um próximo ao final da primavera e início do verão (principalmente em novembro) e outro no outono (geralmente em maio).

A influência estacional na deposição de serapilheira, também foi verificada por Cunha, Gama-Rodrigues e Costa (2005) com *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade, e por Schumacher et al. (1994), com *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus torrelliana*, aos sete e dez anos de idade, respectivamente. As variações na deposição de serapilheira são decorrentes de aspectos cíclicos do povoamento ou de fatores climáticos e/ou biológicos (SOUZA; DAVIDE, 2001). Dessa forma, segundo os autores, em um mesmo ecossistema florestal podem ocorrer, de ano para ano, variações no total de material depositado e/ou na intensidade

de participação das frações.

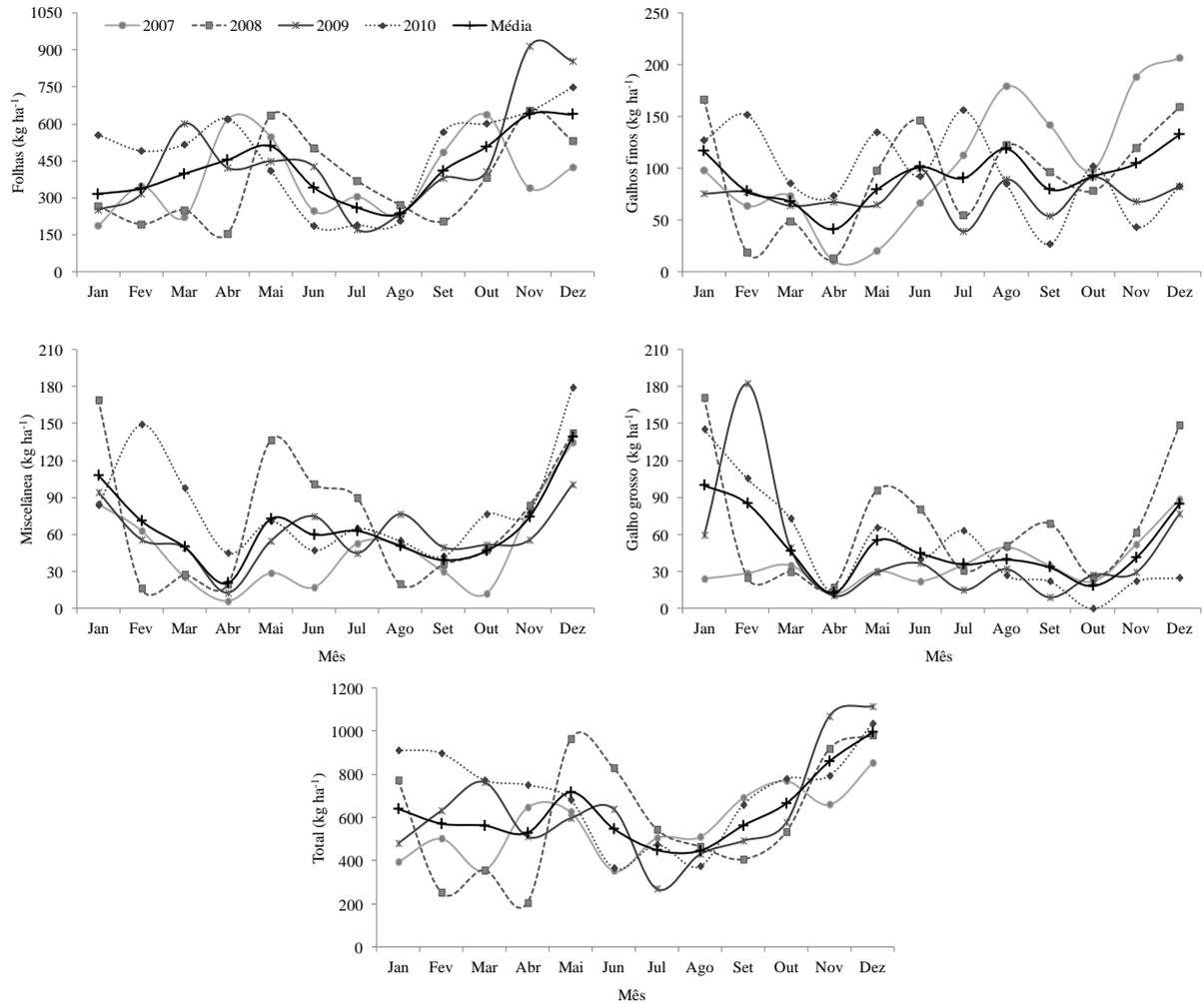


Figura 2.1 - Deposição mensal das frações formadora da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010.

Períodos com menor disponibilidade hídrica poderiam influenciar no aumento da produção de serapilheira (MELO; RESCK, 2002; MOREIRA; SILVA, 2004; SOUTO, 2006; MOCHIUTTI; QUEIROZ; MELÉM JUNIOR, 2006; FERREIRA et al., 2007; VIERA; SCHUMACHER, 2010c). Segundo Viera e Schumacher (2010a), no período do verão, o aumento da temperatura do ar, aliado a uma baixa intensidade pluviométrica, poderia ocasionar elevação da deposição como estratégia de sobrevivência das plantas, evitando, assim, a perda de água através da alta intensidade transpiratória causada pelo calor. Autores como Gisler (1995) e Martins e Rodrigues (1999) sugerem que o estresse hídrico seja uma

causa da queda sazonal de material de árvores em muitas florestas naturais.

No estudo realizado por Andrade, Costa e Faria (2000) com leguminosas arbóreas, as maiores taxas de deposição mensal ocorreram no período de fevereiro a junho, período em que houve diminuição da pluviosidade e da temperatura, o que poderia estimular as plantas a aumentarem a queda de material senescente. Dias et al. (2002) comentam ainda que o estresse hídrico desencadeia uma série de eventos fisiológicos na planta, acarretando, no final, a abscisão das folhas.

Para Brun et al. (2001), a temperatura influencia de maneira mais marcante a deposição, de forma que as maiores quedas de serapilheira ocorrem nos meses de temperatura elevada. Dias et al. (2002) e Oliveira (1987) consideram que a maior produção de serapilheira nos meses mais frios e secos do ano seria uma característica típica de florestas tropicais estacionais e, ao contrário, a maior deposição na transição entre estação seca e chuvosa seria típica de regiões tropicais e subtropicais.

A relação entre quantidade de serapilheira senescente e variáveis climáticas foi avaliada através da análise de correlação de Pearson ( $r$ ) (Tabela 2.2). Durante o primeiro ano de avaliação (2007), quando o povoamento encontrava-se entre 5,5 e 6,5 anos de idade, apenas as frações galhos finos ( $r = 0,78$  – velocidade do vento) e miscelânea ( $r = -0,83$  – umidade relativa do ar;  $r = 0,74$  e  $0,73$  – radiação solar e evapotranspiração) apresentaram correlação significativa ( $p \leq 0,01$ ). Durante o segundo ano de avaliação, as variáveis climáticas não influenciaram significativamente ( $p > 0,05$ ) na deposição das frações da serapilheira. O mesmo ocorreu para o terceiro ano de avaliação, com exceção da deposição total de serapilheira, a qual esteve correlacionada ( $p \leq 0,05$ ) com a temperatura do ar.

Entretanto, no quarto ano de estudo, a variação da deposição de serapilheira esteve mais correlacionada às variáveis climáticas. A variação da temperatura do ar influenciou significativamente ( $p \leq 0,05$  e  $0,01$ ) a deposição das frações da serapilheira, com exceção dos galhos finos. O aumento da radiação solar e da evapotranspiração influenciaram na maior deposição da fração folhas e miscelâneas e do total. Já o aumento da velocidade do vento acarretou uma maior deposição de folhas e do total das frações, enquanto a precipitação pluviométrica influenciou inversamente na deposição total de serapilheira.

Tabela 2.2 - Correlação de Pearson entre a deposição de serapilheira e variáveis climáticas, durante o período de 2007 a 2010.

Ano	Fração	UR	T <sub>média</sub>	T <sub>máx</sub>	T <sub>min</sub>	P	RS	ETP	V
2007	Folhas	0,02	0,03	0,04	0,01	-0,39	-0,08	-0,12	-0,21
	Galhos finos	-0,44	0,00	0,04	-0,09	-0,10	0,34	0,38	0,78**
	Miscelânea	-0,83**	0,33	0,39	0,21	-0,45	0,74**	0,73**	0,55
	Galho grosso	-0,51	0,09	0,14	-0,01	-0,17	0,43	0,44	0,51
	Total	-0,41	0,11	0,16	0,02	-0,54	0,28	0,26	0,29
2008	Folhas	0,24	-0,14	-0,14	-0,11	0,12	0,08	0,04	0,20
	Galhos finos	0,00	-0,06	-0,09	-0,06	-0,09	0,29	0,25	0,49
	Miscelânea	-0,05	0,10	0,09	0,12	0,11	0,24	0,25	0,23
	Galho grosso	-0,28	0,22	0,21	0,21	-0,13	0,45	0,44	0,44
	Total	0,09	-0,04	-0,05	-0,02	0,05	0,23	0,20	0,34
2009	Folhas	0,49	0,52	0,46	0,55	0,43	0,21	0,25	0,31
	Galhos finos	-0,18	0,11	0,15	0,05	0,03	0,26	0,24	0,02
	Miscelânea	0,15	0,19	0,13	0,22	0,40	0,39	0,37	0,38
	Galho grosso	-0,05	0,55	0,54	0,55	-0,01	0,51	0,54	-0,28
	Total	0,45	0,62*	0,56	0,65*	0,44	0,35	0,39	0,38
2010	Folhas	-0,36	0,69*	0,70*	0,63*	-0,57	0,79*	0,76**	0,72**
	Galhos finos	-0,28	0,10	0,08	0,13	-0,06	-0,08	-0,01	-0,47
	Miscelânea	-0,42	0,72**	0,74*	0,66*	-0,38	0,75*	0,78**	0,53
	Galho grosso	-0,41	0,52	0,46	0,60*	0,09	0,24	0,33	-0,11
	Total	-0,55	0,89**	0,88*	0,85**	-0,58*	0,90**	0,91**	0,64*
Geral	Folhas	0,20	0,29*	0,27	0,31*	0,02	0,22	0,18	0,19
	Galhos finos	-0,20	0,02	0,02	-0,01	-0,08	0,20	0,23	0,32*
	Miscelânea	-0,14	0,30*	0,31*	0,27	-0,10	0,47**	0,46**	0,34*
	Galho grosso	-0,24	0,34*	0,32*	0,35*	-0,06	0,40**	0,41**	0,29*
	Total	0,06	0,37**	0,34*	0,37**	-0,02	0,38**	0,36*	0,34*

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; \*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro. UR=umidade relativa; T<sub>média</sub>=temperatura média; T<sub>máx</sub>=temperatura média das máximas; T<sub>min</sub>=temperatura média das mínimas; P=precipitação pluviométrica; RS=radiação solar; ETP=evapotranspiração e; V=velocidade média do vento.

As frações miscelânea, galho grosso e o somatório das frações estão diretamente correlacionados à temperatura do ar, radiação solar, evapotranspiração e velocidade do vento. A fração folhas está apenas diretamente correlacionada à temperatura do ar, e os galhos finos à velocidade do vento. Dessa forma, com exceção da umidade relativa do ar e da precipitação, as demais variáveis climáticas são responsáveis pela variação na deposição de serapilheira. Em contrapartida, Barlow et al. (2007), estudando um povoamento de *Eucalyptus urophylla* aos 4 e 5 anos de idade, encontraram correlação positiva e significativa ( $r = 0,55$ ;  $p \leq 0,05$ ) entre a produção de folhas e a precipitação mensal. Já no estudo de Viera e Schumacher (2010c) com *Pinus taeda*, a umidade relativa do ar foi a única variável climática que apresentou correlação significativa com a deposição ( $r = 0,37$ ;  $p \leq 0,05$ ).

Cabe ressaltar que as variáveis climáticas utilizadas para averiguar possíveis correlações com a variação da deposição de serapilheira são valores médios mensais. Sendo assim, segundo Schumacher, Viera e Witschoreck (2008), a ocorrência de fatores climáticos extremos, como, por exemplo, tempestades ocasionais, podem modificar pouco a média mensal das variáveis, mas podem acarretar um aumento acentuado na deposição naquele período, mascarando, nestes casos, a análise de correlação.

#### 2.3.1.2 Transferência de nutrientes ao solo via serapilheira

As diferentes frações da serapilheira apresentaram composições químicas distintas, com exceção do K, Cu e Zn (Tabela 2.3). A fração folhas apresentou os maiores teores ( $p \leq 0,05$ ) de N, P, S, B e Mn; a fração miscelânea apresentou maior teor de Fe e, também de Mg, juntamente com os galhos finos. Entretanto, o Ca foi superior nas frações folhas, galhos finos e grosso em relação à miscelânea. Os teores de K, Cu e Zn não diferiram estatisticamente entre as frações.

A ordem relativa da concentração de macronutrientes foi a mesma para as frações folhas, galhos finos e galhos grossos ( $Ca > N > K > Mg > S > P$ ); já para a miscelânea, a concentração de nitrogênio foi superior à de cálcio. Segundo Haag (1985), maior concentração de N em relação ao Ca, é encontrada na maioria dos estudos com diferentes formações florestais. Para os micronutrientes, a prioridade de concentração dos elementos foi igual para todas as frações ( $Mn > Fe > B > Zn > Cu$ ).

Tabela 2.3 - Teores médios de nutrientes nas frações formadoras da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010.

Fração	Macronutrientes (g kg <sup>-1</sup> )						Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folha	7,20 <sup>a</sup>	0,38 <sup>a</sup>	2,67 <sup>a</sup>	7,31 <sup>a</sup>	1,69 <sup>b</sup>	0,64 <sup>a</sup>	29,97 <sup>a</sup>	3,43 <sup>a</sup>	80,11 <sup>b</sup>	483,49 <sup>a</sup>	7,85 <sup>a</sup>
Galhos finos	3,04 <sup>c</sup>	0,18 <sup>c</sup>	2,48 <sup>a</sup>	8,65 <sup>a</sup>	2,30 <sup>a</sup>	0,39 <sup>b</sup>	14,57 <sup>c</sup>	5,82 <sup>a</sup>	47,38 <sup>c</sup>	350,15 <sup>b</sup>	8,96 <sup>a</sup>
Miscelânea	4,70 <sup>b</sup>	0,26 <sup>b</sup>	2,38 <sup>a</sup>	4,40 <sup>b</sup>	2,34 <sup>a</sup>	0,46 <sup>b</sup>	23,69 <sup>b</sup>	3,85 <sup>a</sup>	151,47 <sup>a</sup>	264,28 <sup>c</sup>	7,66 <sup>a</sup>
Galho grosso	1,80 <sup>d</sup>	0,09 <sup>d</sup>	1,74 <sup>a</sup>	7,50 <sup>a</sup>	1,43 <sup>b</sup>	0,24 <sup>c</sup>	9,64 <sup>d</sup>	5,01 <sup>a</sup>	81,31 <sup>b</sup>	220,24 <sup>d</sup>	5,77 <sup>a</sup>

Médias seguidas pela mesma letra sobrescrita, na vertical, não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Dentre todos os nutrientes, o Ca foi o que apresentou o maior teor médio. Segundo Clevelário Jr. (1996 apud BORÉM; RAMOS, 2002), o enriquecimento em cálcio na serapilheira pode ser decorrente de uma liberação mais lenta deste elemento pelo material recém caído, da retranslocação de outros elementos antes da abscisão e/ou consequência da retenção de Ca contido na chuva que atravessa o dossel na serapilheira. O cálcio é um elemento considerado imóvel, e isso faz com que ele fique armazenado em forma de cristais na folha, permanecendo nela mesmo em sua senescência (DIAS et al., 2002). Árvores com sistema radicular bem desenvolvido absorvem o cálcio em maiores profundidades e o devolvem via serapilheira, na superfície do solo, melhorando a fertilidade, uma vez que disponibilizam este elemento para ser reabsorvido pelas raízes finas que permeiam a camada de serapilheira acumulada ou estão na camada mais superficial do solo.

A dinâmica dos nutrientes nas árvores varia em função da espécie, da idade, das condições edafoclimáticas do sítio e das práticas de manejo adotadas (VIERA; SCHUMACHER, 2009). Segundo os autores, a concentração de alguns elementos nas folhas aumenta, enquanto as de outros decresce, devido à translocação de nutrientes de órgãos senescentes para regiões de crescimento da árvore. Todos esses aspectos evidenciam a grande importância da ciclagem interna dos nutrientes para a manutenção do balanço nutricional das plantas (HAAG, 1985; NAMBIAR; FIFE, 1991; AERTS, 1996; COLIN-BELGRAND; RANGER; BOUCHON, 1996; SILVA; SANTOS; PAIVA, 1998; CALDEIRA et al., 1999; PIATEK; ALLEN, 2000; NARDOTO; BUSTAMANTE; SIQUEIRA PINTO, 2006; VIERA; SCHUMACHER, 2009).

O aporte anual de nutrientes ao solo via deposição de serapilheira foi composto

principalmente pela fração folhas (Tabelas 2.4 e 2.5). Devido a sua predominante biomassa, as folhas contribuem em maior escala para a ciclagem de nutrientes, sendo que sua participação média relativa, no retorno de nutrientes, variou de 53,9% para o magnésio (ano de 2008) até mais de 83% para o nitrogênio e fósforo (ano de 2009).

Tabela 2.4 - Quantidade anual do aporte de macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>) das frações formadoras da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010.

Ano	Fração	N	P	K	Ca	Mg	S
2007	Folha	32,0 (81,2)*	1,7 (81,2)	12,0 (72,3)	33,1 (65,9)	6,7 (60,7)	3,0 (76,7)
	Galhos finos	3,8 (9,6)	0,2 (9,9)	2,6 (15,6)	11,0 (21,9)	2,5 (22,4)	0,5 (13,2)
	Miscelânea	2,8 (7,0)	0,1 (7,0)	1,3 (7,7)	2,5 (4,9)	1,2 (11,0)	0,3 (7,5)
	Galho grosso	0,9 (2,2)	0,04 (1,9)	0,7 (4,4)	3,6 (7,2)	0,6 (5,8)	0,1 (2,6)
	Total	39,4	2,1	16,6	50,3	11,0	3,9
2008	Folha	31,4 (79,0)	1,7 (76,6)	11,9 (61,6)	31,5 (60,8)	6,8 (53,9)	2,9 (72,3)
	Galhos finos	3,3 (8,4)	0,2 (9,2)	3,0 (15,9)	9,3 (17,9)	2,3 (18,2)	0,5 (11,8)
	Miscelânea	3,8 (9,5)	0,2 (11,1)	2,8 (14,8)	3,9 (7,6)	2,1 (16,5)	0,4 (10,4)
	Galho grosso	1,3 (3,2)	0,1 (3,1)	1,5 (7,8)	7,1 (13,7)	1,4 (11,3)	0,2 (5,5)
	Total	39,7	2,2	19,2	51,8	12,7	4,0
2009	Folha	37,1 (83,6)	2,0 (83,3)	14,3 (73,6)	40,6 (74,0)	10,3 (69,3)	3,3 (80,7)
	Galhos finos	2,8 (6,3)	0,2 (6,5)	2,3 (12,0)	7,6 (13,8)	2,2 (14,8)	0,3 (8,3)
	Miscelânea	3,6 (8,0)	0,2 (8,7)	1,9 (9,7)	3,4 (6,2)	1,8 (11,9)	0,3 (8,3)
	Galho grosso	0,9 (2,1)	0,03 (1,5)	0,9 (4,7)	3,3 (6,0)	0,6 (4,0)	0,1 (2,8)
	Total	44,3	2,4	19,5	54,8	14,9	4,1
2010	Folha	42,2 (82,9)	2,1 (82,5)	13,9 (73,3)	42,8 (71,5)	11,1 (63,5)	3,4 (80,5)
	Galhos finos	3,6 (7,0)	0,2 (8,2)	2,7 (14,2)	9,9 (16,6)	3,1 (17,8)	0,4 (9,2)
	Miscelânea	4,3 (8,4)	0,2 (7,4)	1,3 (7,0)	3,9 (6,6)	2,5 (14,5)	0,4 (8,9)
	Galho grosso	0,8 (1,7)	0,1 (2,0)	1,0 (5,4)	3,2 (5,3)	0,7 (4,2)	0,1 (1,4)
	Total	50,8	2,6	19,0	59,9	17,5	4,2
Média	Folha	35,6 (81,8)	1,9 (81,0)	13,0 (70,1)	37,0 (68,3)	8,7 (62,3)	3,2 (77,6)
	Galhos finos	3,4 (7,7)	0,2 (8,4)	2,7 (14,4)	9,5 (17,4)	2,5 (18,0)	0,4 (10,6)
	Miscelânea	3,6 (8,2)	0,2 (8,5)	1,8 (9,9)	3,4 (6,3)	1,9 (13,6)	0,4 (8,8)
	Galho grosso	1,0 (2,2)	0,05 (2,1)	1,0 (5,6)	4,3 (7,9)	0,9 (6,1)	0,1 (3,1)
	Total	43,6	2,3	18,6	54,2	14,0	4,1

\* Valores entre parênteses correspondem à porcentagem de cada fração em relação ao total de determinado macronutriente contido na serapilheira em cada ano de estudo.

Tabela 2.5 - Quantidade anual do aporte de micronutrientes ( $\text{g ha}^{-1}$ ) das frações formadoras da serapilheira produzida, durante o período de 2007 a 2010.

Ano	Fração	B	Cu	Fe	Mn	Zn
2007	Folha	143,0 (79,4)*	17,4 (56,8)	380,2 (65,5)	2273,9 (76,4)	33,8 (62,0)
	Galhos finos	18,3 (10,1)	7,7 (25,0)	75,7 (13,0)	436,9 (14,7)	11,3 (20,6)
	Miscelânea	14,1 (7,8)	2,4 (7,8)	85,4 (14,7)	161,2 (5,4)	6,1 (11,2)
	Galho grosso	4,7 (2,6)	3,2 (10,4)	39,5 (6,8)	104,6 (3,5)	3,4 (3,4)
	Total	180,1	30,7	580,8	2976,5	54,6
2008	Folha	113,9 (74,2)	14,1 (53,8)	330,3 (58,9)	2165,8 (73,4)	32,4 (64,1)
	Galhos finos	14,7 (9,6)	5,9 (22,4)	48,3 (8,6)	384,5 (13,0)	9,5 (18,8)
	Miscelânea	16,8 (11,0)	3,0 (11,6)	118,4 (21,1)	217,6 (7,4)	4,7 (9,3)
	Galho grosso	8,0 (5,2)	3,2 (12,2)	64,0 (11,4)	182,5 (6,2)	3,9 (7,8)
	Total	153,5	26,2	561,0	2950,4	50,6
2009	Folha	154,7 (82,3)	12,3 (61,5)	394,9 (70,3)	2596,1 (81,9)	40,8 (74,0)
	Galhos finos	12,7 (6,8)	4,5 (22,6)	44,7 (8,0)	303,6 (9,6)	8,0 (14,4)
	Miscelânea	14,9 (8,0)	1,9 (9,7)	91,6 (16,3)	183,7 (5,8)	4,2 (7,6)
	Galho grosso	5,6 (3,0)	1,2 (6,1)	30,7 (5,5)	85,6 (2,7)	2,2 (4,0)
	Total	187,9	20,0	562,0	3169,0	55,1
2010	Folha	194,7 (80,5)	22,2 (60,8)	490,1 (69,0)	2826,1 (77,6)	46,3 (69,0)
	Galhos finos	19,4 (8,0)	8,1 (22,1)	39,1 (5,5)	431,6 (11,9)	12,3 (18,3)
	Miscelânea	23,7 (9,8)	3,6 (9,8)	143,3 (20,2)	265,2 (7,3)	6,0 (8,9)
	Galho grosso	4,2 (1,7)	2,6 (7,3)	37,4 (5,3)	118,1 (3,2)	2,5 (3,8)
	Total	241,9	36,5	709,8	3641,0	67,1
Média	Folha	151,6 (79,4)	16,5 (58,2)	398,9 (66,1)	2465,5 (77,4)	38,3 (67,5)
	Galhos finos	16,3 (8,5)	6,5 (23,0)	51,9 (8,6)	389,1 (12,2)	10,2 (18,0)
	Miscelânea	17,4 (9,1)	2,7 (9,7)	109,7 (18,2)	206,9 (6,5)	5,2 (9,2)
	Galho grosso	5,6 (2,9)	2,6 (9,1)	42,9 (7,1)	122,7 (3,9)	3,0 (5,3)
	Total	190,8	28,3	603,4	3184,2	56,8

\* Valores entre parênteses correspondem à porcentagem de cada fração em relação ao total de determinado micronutriente contido na serapilheira em cada ano de estudo.

O cálcio, por ser o elemento de maior teor na serapilheira, foi o mais fornecido em quantidade ao piso florestal do povoamento. Considerando a transferência de  $\text{Ca} + \text{N}$ , isso corresponde a 71,5% do total de macronutrientes devolvidos ao solo. Nesse sentido, a

magnitude média de transferência de macronutrientes ao solo do povoamento foi:  $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P}$ . Essa magnitude foi verificada por Zaia e Gama-Rodrigues (2004), com *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita*, e por Schumacher et al. (1994), com *Eucalyptus camaldulensis*.

Dentre os micronutrientes, o manganês foi o mais devolvido, também em função de sua maior concentração, em relação aos demais. Considerando a transferência de  $\text{Mn} + \text{Fe}$ , isso corresponde a mais de 93% do total de micronutrientes devolvidos ao solo, durante o período de estudo. Nesse sentido, a magnitude de transferência de micronutrientes ao solo do povoamento foi:  $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$ .

### 2.3.2 Decomposição da serapilheira

#### 2.3.2.1 Serapilheira acumulada

Outro fator preponderante na análise de ciclagem de nutrientes é a determinação da quantidade de material estocado sobre o solo em povoamentos florestais. A quantidade de serapilheira estocada sobre o solo foi de, em média,  $14,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  (Figura 2.2), estando entre os valores observados na literatura. Em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cleosiana* e *Eucalyptus grandis*, com nove anos de idade, em Santa Maria-RS, Schumacher et al. (2002) encontraram um acúmulo de 16,7; 16,5 e  $12,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Kleinpaul et al. (2005), avaliando um povoamento de *Eucalyptus sp.* com 12 anos de idade, em Santa Maria-RS, encontraram  $11,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  de serapilheira acumulada.

O acúmulo de serapilheira em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita*, com seis anos de idade, em Campos dos Goytacazes-RJ, foi de 4,76; 7,73 e  $9,69 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente (ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004), não havendo diferença no estoque entre o período de inverno e verão. Nesse estudo, o acúmulo de serapilheira foi maior na primavera em relação às demais estações, estando relacionado ao maior aporte de material decíduo pelas árvores durante o período.

Em plantações de eucalipto, existe uma grande variação na serapilheira acumulada sobre o solo. Essa variação pode ser verificada também no estudo de Witschoreck e Schumacher (2000), com *Eucalyptus spp.*, onde encontraram 4,05; 5,98; 11,80 e  $12,28 \text{ Mg ha}^{-1}$

<sup>1</sup>, quando os povoamentos encontravam-se com 2, 4, 6 e 8 anos de idade, respectivamente.

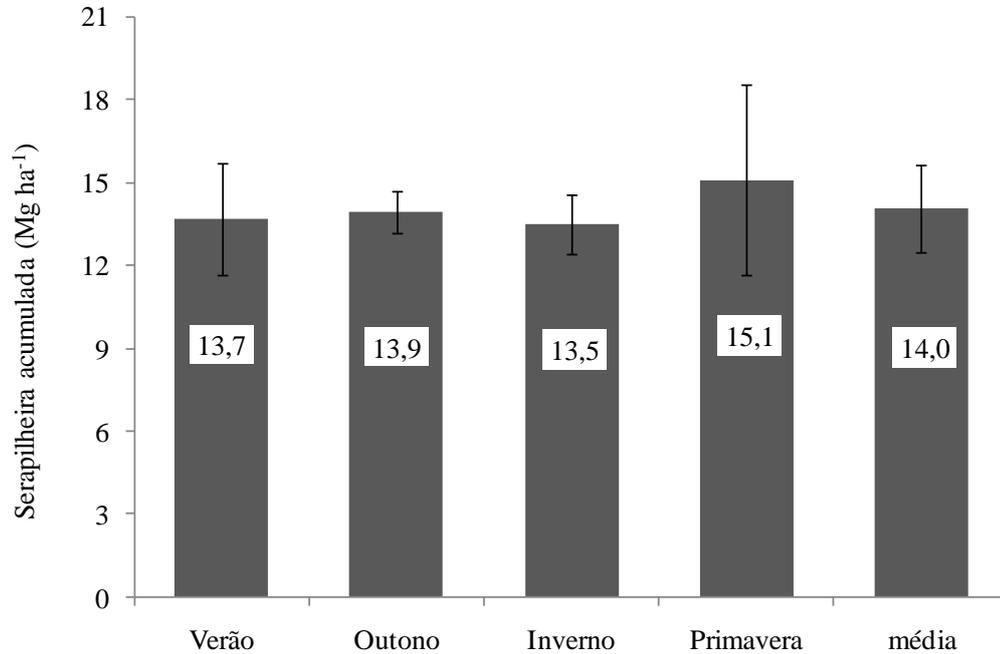


Figura 2.2 - Variação estacional média da serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*.

Essa variação pode ser explicada, com base na variação do clima, sítios, idade, densidade de plantio, diferentes características genéticas de cada espécie e da estabilidade alcançada pelo povoamento (REIS; BARROS, 1990; SCHUMACHER et al., 2002; VIERA et al., 2010). Devido a esses fatores, a variação da quantidade de material depositado e o tempo necessário para a sua decomposição são refletidos na maior ou menor acumulação de serapilheira sobre o solo florestal.

Devido aos maiores teores de cálcio e nitrogênio na serapilheira acumulada, esses nutrientes apresentaram as maiores quantidades nos diferentes materiais depositados sobre o solo (Tabela 2.6). A quantidade de Ca + N corresponde a mais de 82% do total de macronutrientes contidos na serapilheira sobre o solo. A soma do conteúdo de Mn e Fe corresponde a aproximadamente 98% do total de micronutrientes.

A magnitude total do conteúdo de macronutrientes na serapilheira acumulada foi de Ca > N > Mg > K > S > P. Essa sequência é similar à mencionada por Haag (1985) em

diversos estudos, havendo apenas a inversão entre as quantidades de N e Ca, ocasionada pelo maior conteúdo de Ca nos materiais lenhosos, os quais não foram considerados pelo autor supracitado. Dentre os micronutrientes, o ferro apresentou a maior acumulação, em parte devido a sua maior concentração, em relação aos demais nutrientes. A magnitude de acúmulo de micronutrientes na serapilheira acumulada foi de  $Fe > Mn > B > Zn > Cu$ .

A elevada quantidade de Fe e Mn presente na serapilheira acumulada, segundo Viera et al. (2010), é decorrente das altas concentrações desses elementos no solo e/ou da contaminação das amostras com partículas de solo. Segundo os autores, a contaminação da serapilheira poderia ser causada pela aderência do solo aos resíduos vegetais, sendo de difícil separação (mesmo com a limpeza), devido à presença de resíduos vegetais em avançado processo de decomposição.

Tabela 2.6 - Quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada durante o período de 2007 a 2010.

Ano	Biomassa (Mg ha <sup>-1</sup> )	Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )						Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> )				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
2007	13,5	103,0	4,6	19,9	139,2	21,9	9,7	222,5	102,8	12.226,9	6.493,8	136,5
2008	12,5	115,8	4,5	16,6	145,3	21,8	7,9	220,0	112,6	10.301,7	5.707,7	188,7
2009	16,2	123,5	5,3	16,9	169,3	30,8	8,8	235,9	136,1	21.254,8	7.743,9	266,7
2010	14,0	127,3	5,9	14,0	133,5	30,9	7,5	271,7	126,9	16.445,0	7.739,4	251,9
Média	14,0	117,4	5,1	16,9	146,8	26,4	8,5	237,6	119,6	15.057,1	6.921,2	211,0

O coeficiente de decomposição (K) médio foi de 0,54, variando de 0,47 (durante o ano de 2009) a 0,61 (durante o ano de 2010) (Tabela 2.7). Salienta-se que maiores valores de K representam maior velocidade de decomposição de serapilheira e, conseqüentemente, aumento da ciclagem de nutrientes no ecossistema florestal. Para florestas tropicais, os valores de K geralmente são superiores a um (PIRES et al., 2006). Entretanto, para povoamentos de eucaliptos, os valores geralmente são inferiores a um nas diferentes regiões de implantação. Zaia e Gama-Rodrigues (2004) encontraram valores K variando entre 0,51 e 1,0. Essa variação foi atribuída à diferença de concentração de lignina nos tecidos.

O tempo médio para a renovação da serapilheira (1/K) foi de 1,86 anos (com variação

de 1,65 a 2,14 anos), estando na faixa de valores verificado na literatura. Em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, com aproximadamente 20 anos de idade em Bofete-SP, Kolm e Poggiani (2003) encontraram um tempo médio para renovação da serapilheira de 1,77 anos. Poggiani (1985) identificou 1,78 anos como tempo médio de renovação da serapilheira para um povoamento de *Eucalyptus saligna* entre sete e dez anos de idade.

Tabela 2.7 – Serapilheira produzida (SP, kg ha<sup>-1</sup>) e acumulada (SA, kg ha<sup>-1</sup>), coeficiente de decomposição (K), tempo médio de anos para renovação (1/K) e anos necessários para decomposição de 50 (t<sub>0,50</sub>) e 95% (t<sub>0,05</sub>) da serapilheira no período de 2007 a 2010.

Ano	SP	SA	K	1/K	T <sub>0,50</sub>	T <sub>0,05</sub>
2007	6.870	13.533	0,51	1,97	1,37	5,91
2008	7.226	12.465	0,58	1,72	1,20	5,17
2009	7.577	16.206	0,47	2,14	1,48	6,42
2010	8.500	14.005	0,61	1,65	1,14	4,94
Média	7.543	14.047	0,54	1,86	1,29	5,59

O tempo médio para decomposição de 50 e 95% da serapilheira foi estimado em 1,29 anos (variação de 1,14 a 1,48 anos) e 5,59 anos (variação de 4,94 a 6,42 anos), respectivamente. Valores similares foram obtidos por Kolm e Poggiani (2003), com *Eucalyptus grandis* (1,24 e 5,36 anos, para a decomposição de 50 e 95% da serapilheira, respectivamente), e por Poggiani (1985), com *Eucalyptus saligna* (1,2 e 5,3 anos, para a decomposição de 50 e 95% da serapilheira, respectivamente).

O coeficiente de devolução de nutrientes é caracterizado pelo processo de fragmentação da serapilheira e liberação dos nutrientes no piso florestal (SINGH; DUTTA; AGRAWAL, 2004). O potássio é o elemento com maior coeficiente de devolução (0,52), seguido pelo B > Mg > S = Mn > P > N = Ca > Zn > Cu (Tabela 2.8) e, conseqüentemente, de menor tempo médio de residência na serapilheira (0,91 anos) (Tabela 2.9).

Tabela 2.8 - Coeficiente anual de devolução de nutrientes via decomposição da serapilheira acumulada.

Ano	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
2007	0,28	0,31	0,45	0,27	0,33	0,29	0,45	0,23	0,31	0,29
2008	0,26	0,33	0,54	0,26	0,37	0,34	0,41	0,19	0,34	0,21
2009	0,26	0,31	0,54	0,24	0,33	0,32	0,44	0,13	0,29	0,17
2010	0,29	0,30	0,57	0,31	0,36	0,36	0,47	0,22	0,32	0,21
Média	0,27	0,31	0,52	0,27	0,35	0,32	0,45	0,19	0,32	0,21

Comportamento similar ao verificado neste estudo para o potássio é relatado por Zaia e Gama-Rodrigues (2004) para o *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita*. Mas os valores de tempo médio de residência encontrados por esses autores são inferiores aos verificados neste estudo, indicando que a ciclagem biogeoquímica para as espécies estudadas por esses autores é superior à deste trabalho. Isso é ocasionado por diferenças relacionadas ao clima, uma vez que o presente estudo foi realizado em região subtropical, enquanto o dos autores supracitados foi em região tropical. Além disso, as diferenças se relacionam também à espécie, pois cada espécie possui exigências nutricionais e ciclos bioquímicos distintos, assim como a idade dos povoamentos, práticas silviculturais aplicadas, entre outras variações.

Tabela 2.9 - Tempo médio de residência do nutriente (TMR, anos) na serapilheira acumulada.

Ano	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
2007	2,62	2,22	1,20	2,77	2,00	2,50	1,24	3,35	2,18	2,50
2008	2,91	2,05	0,86	2,80	1,72	1,94	1,43	4,30	1,93	3,73
2009	2,79	2,19	0,87	3,09	2,07	2,16	1,26	6,81	2,44	4,84
2010	2,50	2,28	0,74	2,23	1,77	1,77	1,12	3,48	2,13	3,76
Média	2,69	2,19	0,91	2,71	1,88	2,09	1,24	4,22	2,17	3,71

Considerando os quatro anos de estudos realizados, durante o período de 2007 a 2010, quando o povoamento encontrava-se com 6,5 a 9,5 anos de idade, a quantidade de nutrientes disponibilizados via deposição e decomposição da serapilheira foi 235,6 kg ha<sup>-1</sup> de Ca (58,9 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), seguido pelo N, K, Mg, S, Mn, P, Zn, B e Cu (Tabela 2.10).

Tabela 2.10 - Quantidade de nutrientes disponibilizados via decomposição de serapilheira, durante os quatro anos de estudo (2007 a 2010).

	Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )						Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> )			
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn
Total	193,3	10,7	76,3	235,6	42,3	17,8	857,4	181,5	12.220,7	903,9
Anual*	48,3	2,7	19,1	58,9	10,6	4,4	214,4	45,4	3.055,2	226,0

\* Corresponde à razão entre o total no período de estudo e o número de anos de avaliação (quatro).

Esses valores demonstram a importância da ciclagem biogeoquímica para o suprimento de nutrientes no sítio florestal. Segundo Zaia e Gama-Rodrigues (2004), quanto maior a ciclagem de nutrientes, maior será a disponibilidade de nutrientes no solo para a absorção das plantas.

### 2.3.2.2 Decomposição da serapilheira foliar pelo método de *litterbags*

A decomposição da serapilheira foliar foi de 73,6%, remanescendo apenas 26,4% do peso inicial durante o período de três anos (Figura 2.3). Em povoamento de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense, durante o período de um ano de decomposição, Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005) encontraram 30% de perda de massa do folheto. Segundo os autores, a maior perda de massa foliar esteve relacionada ao período de maior disponibilidade hídrica, bem como à liberação de celulose (40 - 51%), de polifenóis (54 - 70%) e, em pequena quantidade, de lignina (3 - 14%).

Em povoamento de *Eucalyptus globulus* na Nova Zelândia, Guo e Sims (2001) encontraram uma perda de 53,9; 66,9 e 58,5% da massa seca foliar, durante um período de 12 meses de decomposição, em povoamentos de *Eucalyptus globulus* com um, dois e três anos de idade, respectivamente. Na Índia, Dutta e Agrawal (2001) identificaram para *Acacia auriculiformis*, *Cassia siamea*, *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus hybrid* e *Gravellia pteridifolia*, com quatro anos de idade, perda de massa seca de 58,0; 56,0; 66,8; 50,0 e 42,5%, respectivamente, após um ano de avaliação.

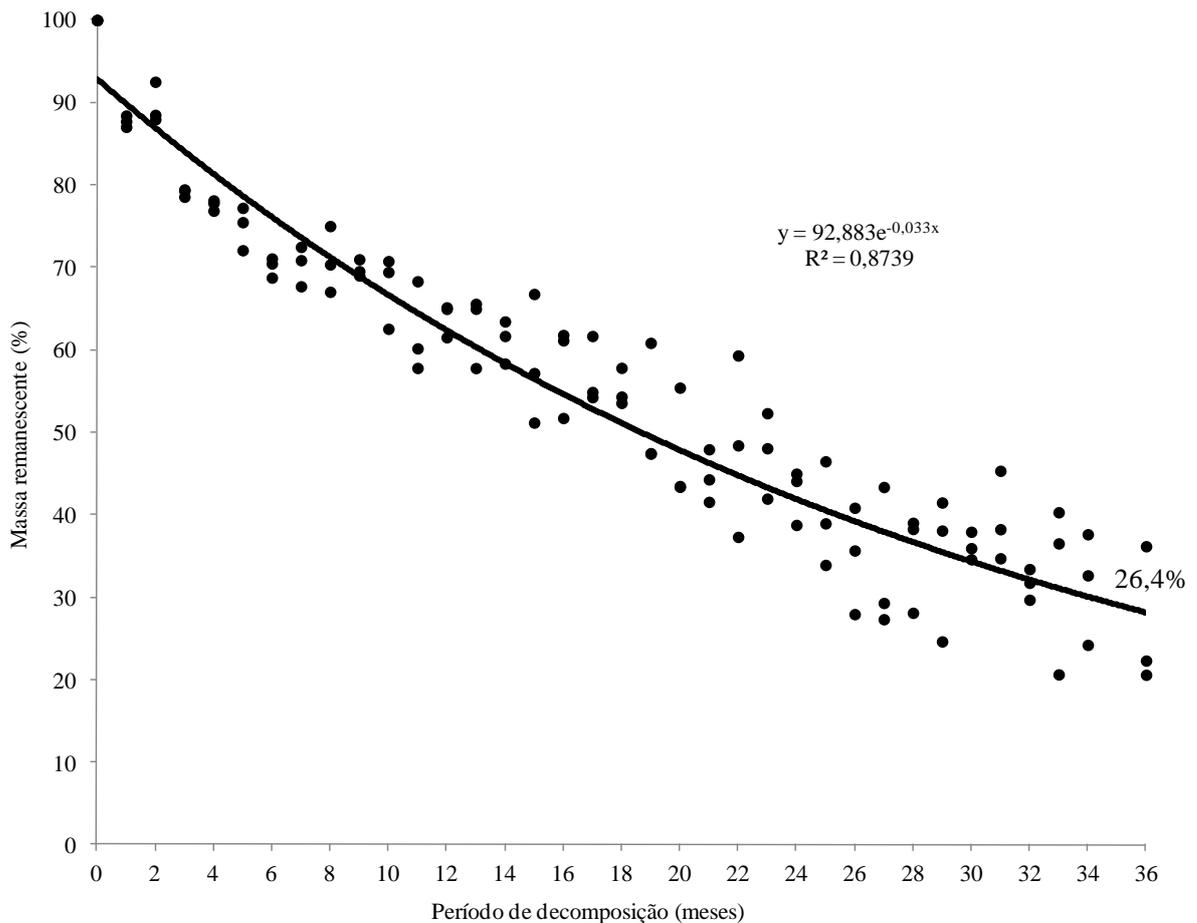


Figura 2.3 - Massa foliar remanescente em *litterbags* conforme avanço no processo de decomposição.

No mesmo país citado anteriormente, Sankaran (1993) encontrou perda de massa, durante 18 meses de decomposição, de 64% para *Eucalyptus tereticornis*, com seis anos de idade. Com isso, o autor verificou um coeficiente de decomposição de 0,74, superior ao encontrado neste estudo ( $K = 0,44$ ). Para *Eucalyptus brookerana* e *Eucalyptus botryoides*, com seis anos de idade, na Nova Zelândia, Guo e Sims (1999) observaram uma taxa de decomposição foliar variando de 0,76 a 0,94 e de 0,24 a 0,37, respectivamente. A variação da decomposição, segundo esses autores e conforme Dutta e Agrawal (2001), deve-se a fatores externos (variação da umidade e da temperatura do solo) e internos (composição nutricional das folhas) ao processo de decomposição. O tempo necessário para decomposição de 50 e 95% da fração folhas foi de 1,56 e 6,75 anos, respectivamente. Sankaran (1993) observou 0,93 e 4,04 anos como tempo necessário para a decomposição de 50 e 95% da fração folhas, respectivamente.

Pode-se observar que existe uma grande variação nas taxas de decomposição da serapilheira foliar verificada nos estudos supracitados, com diferentes espécies de eucaliptos. Segundo Guo e Sims (1999), essa variação entre espécies é causada por fatores internos, tais como: concentração de nutrientes; teores de lignina; relações entre teor de lignina e nutrientes, que são diferentes entre as espécies e são afetados pelo ambiente onde estão crescendo. Isso evidencia que a maior taxa de decomposição em um sítio florestal está relacionada à espécie escolhida. Dessa forma, seria possível selecionar espécies a serem implantadas de acordo com o processo de ciclagem de nutrientes (GUO; SIMS, 1999). Afinal, segundo os autores, a baixa taxa de decomposição e a ciclagem de nutrientes resultantes podem ser aumentadas com a escolha de espécies com serapilheira foliar mais facilmente decomposta.

Os teores de nutrientes mostraram-se variáveis durante o período de estudo (Figuras 2.4 e 2.5). A serapilheira foliar apresentou diminuição nos teores de potássio, enxofre e boro durante o processo de decomposição. Entretanto, os demais nutrientes apresentaram aumento nos teores.

Vários estudos indicam que, principalmente, o N e o P são imobilizados durante o processo de decomposição da serapilheira foliar. Isso foi relatado por Guo e Sims (1999), com *Eucalyptus brookerana* e *Eucalyptus botryoides*; por Dutta e Agrawal (2001), estudando *Acacia auriculiformis*, *Cassia siamea*, *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus hybrid* e *Gravellia pteridifolia*; por Guo e Sims (2001), com *Eucalyptus globulus*; por Balieiro et al. (2004), com plantios puros e mistos de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*; por Singh, Dutta e Agrawal (2004), em Floresta Tropical Decidual; por Parsons e Congdon (2008), com *Eucalyptus grandis* e em Floresta Tropical com diferentes estágios sucessionais; entre outros.

Isso é verificado quando a perda de massa foliar apresenta correlação positiva com a concentração de nutrientes, indicando que quanto maior a perda de massa, maior a concentração dos elementos no folheto remanescente (Figura 2.6). O aumento dos teores de nutrientes com o processo de decomposição da serapilheira foliar está relacionado com a imobilização realizada pelos microorganismos e pela perda de carbono (DUTTA e AGRAWAL, 2001; SINGH; DUTTA; AGRAWAL, 2004). Entretanto, segundo os autores, a diminuição do teor de potássio pode estar relacionada ao processo de lixiviação, devido a esse elemento não fazer parte da estrutura do tecido da planta.

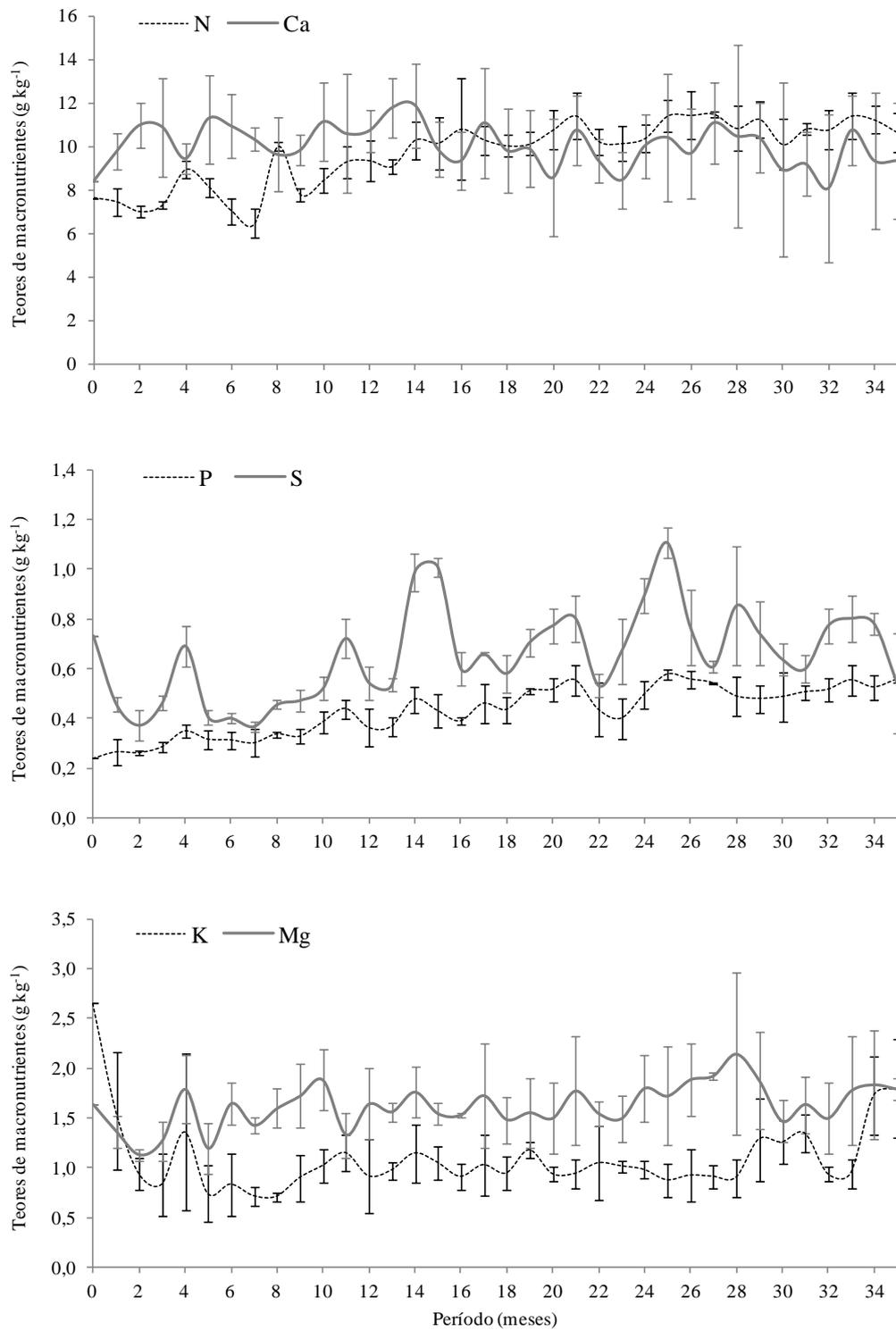


Figura 2.4 - Variação nos teores de macronutrientes durante o período de decomposição da serapilheira foliar em *litterbags*.

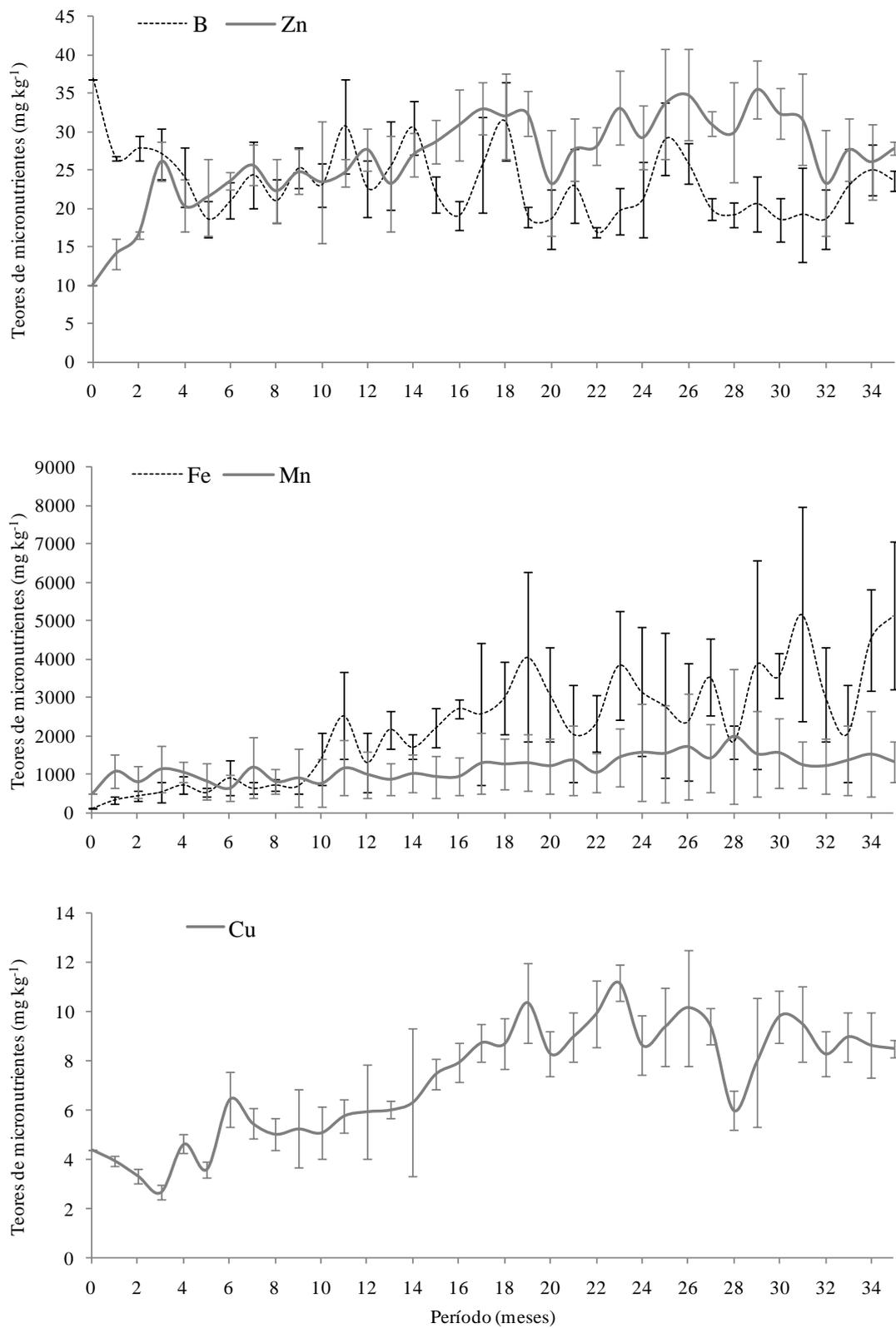


Figura 2.5 - Variação nos teores de micronutrientes durante o período de decomposição da serapilheira foliar em *litterbags*.

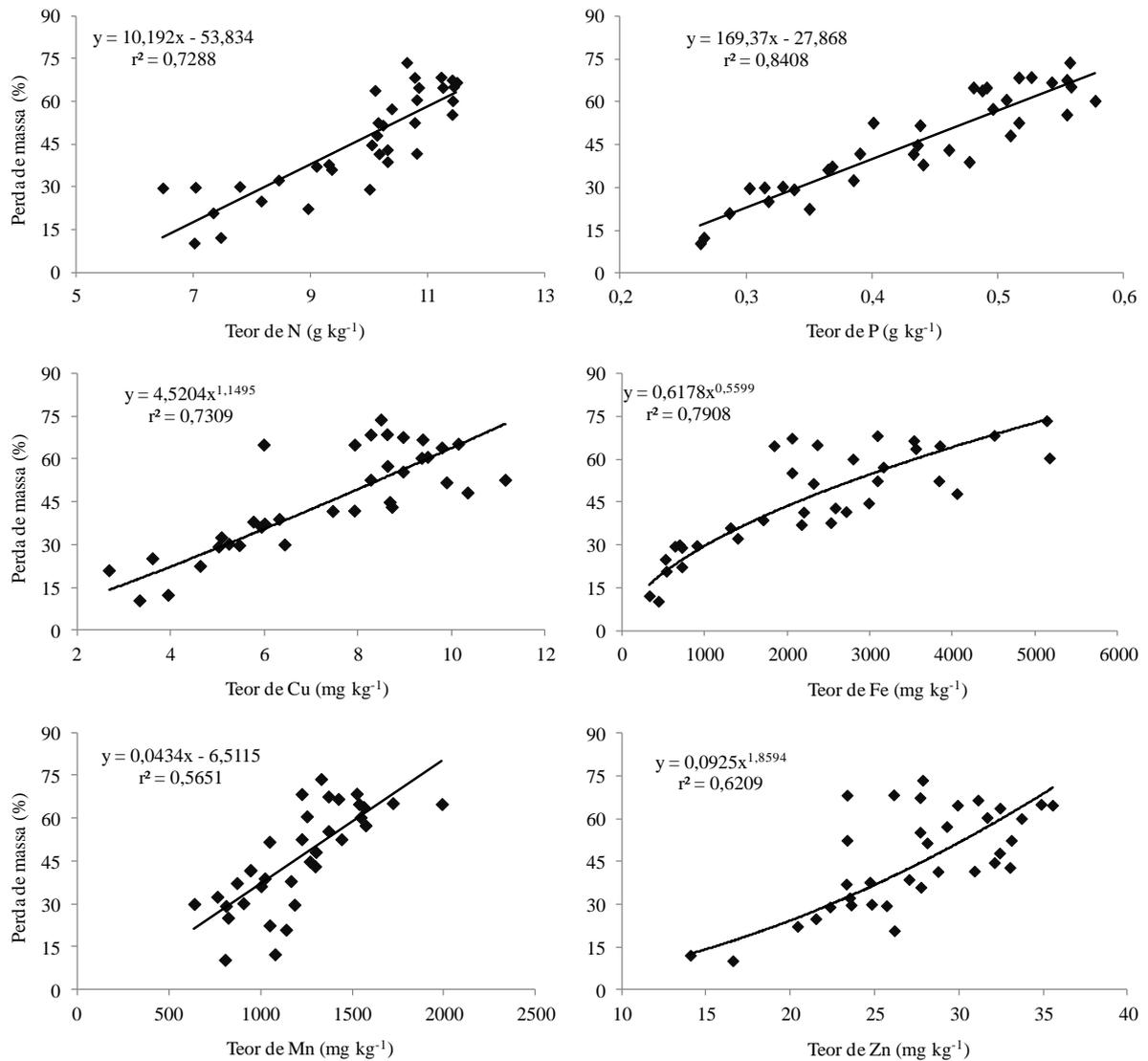


Figura 2.6 - Relação entre a perda de massa e a concentração de nutrientes em *litterbags*, após 36 meses de avaliação.

Para o ferro, ocorreu um aumento acentuado na concentração desse elemento na serapilheira foliar em processo de decomposição, ocorrendo uma relação exponencial entre a concentração do elemento e a perda de massa. Esse aumento justifica-se pela contaminação das folhas contidas nos *litterbags* por partículas do solo, transportadas pela fauna, pelo desenvolvimento de raízes e também pelo impacto das gotas da chuva, mesmo após o processo de retirada de impurezas em laboratório. O efeito da contaminação do material em contato com o solo é relatado por Viera et al. (2010), analisando a concentração de nutrientes na serapilheira acumulada em um fragmento de Floresta Estacional Decidual, onde verificaram-se teores elevados de Fe e Mn. Os autores salientam que o processo de separação

das impurezas é muito complexo devido ao processo de decomposição e fragmentação do material analisado.

O potássio, cálcio, magnésio, enxofre e o boro não apresentaram relação significativa com a perda de massa da serapilheira foliar, demonstrando comportamento instável durante o processo de decomposição.

A disponibilização de nutrientes por meio da serapilheira foliar mostrou-se variável com o aumento do período de decomposição (Figura 2.7). Nos 12 meses iniciais de avaliação da decomposição da serapilheira foliar, verificou-se que ocorreu imobilização de Fe (-600%), Zn (-60%), Mn (-30%) e P (-20%) e disponibilização de Cu (15%), Ca (20%), N (25%), Mg (40%), S (50%), B (55%) e K (75%).

Decorridos 24 meses de decomposição da serapilheira foliar, o Fe (-1100%), Mn (-30%) e Zn (-30%) continuaram imobilizados. O S e o Cu mantiveram-se com valores constantes, sem haver disponibilização durante o segundo ano de decomposição (considerou constante quando a variação da porcentagem da quantidade de nutrientes disponibilizados entre o final dos 12 meses iniciais de decomposição e dos 24 meses não foi superior a 5%). Entretanto, o P apresentou disponibilização no segundo ano de decomposição da serapilheira foliar (10%), o N, Ca, Mg, B e K também apresentaram aumento de disponibilização, com 40, 50, 55, 75 e 85% da quantidade inicial. Após 36 meses de decomposição, apenas o K, B e Fe permaneceram com valores constantes, já os demais apresentaram aumento em relação à quantidade disponibilizada aos 24 meses (Mn e Zn = 30%, P = 40%, Cu = 50%, N = 60%, Mg e Ca = 70%, B e S = 80% e K = 82%).

Após 36 meses de decomposição da serapilheira foliar, K, S e B apresentaram disponibilidades superiores a 80% das suas quantidades iniciais; Mg, Ca e N apresentaram disponibilidades entre 60 e 80% de suas quantidades iniciais; P e Cu, valores entre 40 e 60%; Mn e Zn na faixa de 20 a 40% de disponibilização, sendo que, para o Fe, ocorreu imobilização (-1100%), indicando claramente a contaminação do material com partículas de solo. Dessa forma, esses valores para o Fe não representam a realidade da dinâmica do nutriente durante o processo de decomposição da serapilheira foliar.

A imobilização inicial do fósforo durante o processo de decomposição da serapilheira foliar é relatada em diversos estudos com espécies de eucaliptos (GUO; SIMS, 1999; DUTTA; AGRAWAL, 2001; GUO; SIMS, 2001; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002; BALIEIRO et al., 2004; COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005; PARSONS; CONGDON, 2008). Cabe ressaltar que esses estudos foram conduzidos por períodos de decomposição relativamente curtos (entre 12 e 18 meses). Por isso, os autores encontraram

imobilização do elemento em grande parte do período de estudo. Entretanto, quando considerado um período maior de avaliação, caso desse estudo, pode-se verificar a disponibilização de P de forma contínua, a qual começou 22 meses após o início do processo de decomposição da serapilheira foliar.

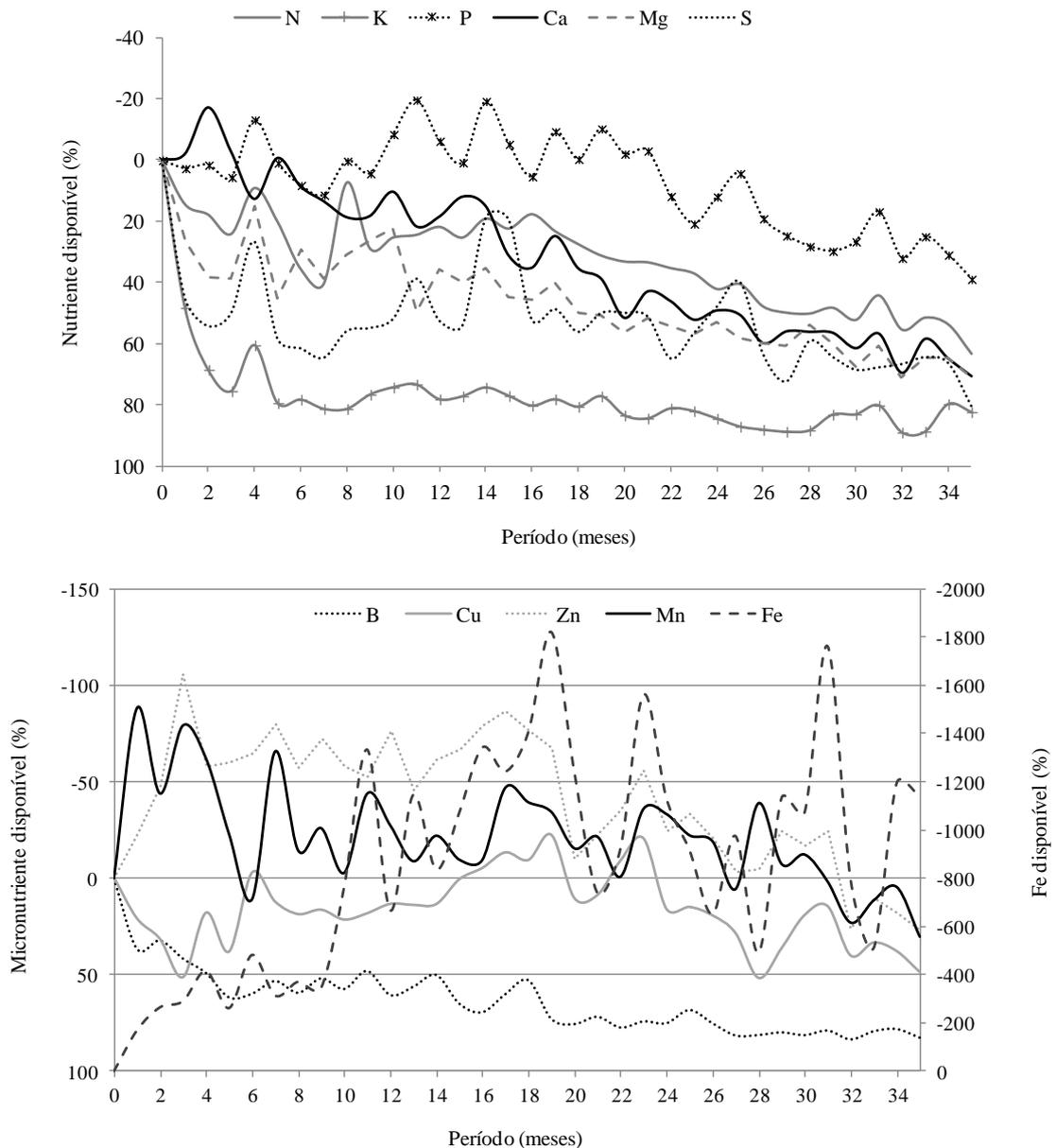


Figura 2.7 - Disponibilização de nutrientes (%) durante o período de decomposição da serapilheira foliar em *litterbags* (36 meses).

Guo e Sims (2002) verificaram, aos 12 meses após o início do processo de

decomposição da serapilheira foliar, que, para o *Eucalyptus Botryoides* e *Eucalyptus globulus* sem irrigação, ocorreu disponibilização de 31,3 e 49,0% do P, enquanto para o *Eucalyptus ovata*, imobilização foi de -111,4%. Após 511 dias de decomposição, Parsons e Congdon (2008) observaram uma imobilização de 182 e 134% de N e P, respectivamente, na serapilheira foliar de *Eucalyptus grandis*. Para o potássio, os autores verificaram uma disponibilização em torno de 90%, entre 14 e 35 dias de decomposição, mas, no final do período, o elemento apresentou 63% de sua quantidade inicial imobilizada na fração folhas. Analisando um povoamento de *Eucalyptus grandis*, Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005) encontraram, durante os 382 dias de avaliações, que, entre os nutrientes avaliados, houve liberação de N (6 - 19%), K (49 - 60%), Ca (18 - 20%) e Mg (27 - 39%), enquanto o P foi imobilizado (-20 e -40%).

Observa-se, dessa forma, que ocorre grande variação nas taxas de disponibilização ou imobilização de nutrientes durante o processo de decomposição. Isso ocorre devido à composição química do material decíduo (GUO; SIMS, 2002; PARSONS; CONGDON, 2008); à retranslocação do nutriente antes da abscisão foliar (VIERA; SCHUMACHER, 2009); à umidade do solo (GUO; SIMS, 2002; GOYA et al., 2008), que durante a estação chuvosa tem disponibilização máxima (DUTTA; AGRAWAL, 2001); à composição microbiótica do solo (DUTTA; AGRAWAL, 2001; LEMMA; NILSSON; KLEJA, 2007); à relação teor de lignina e nutriente (O'CONNELL, 1998). Existe diferença na liberação ou imobilização de nutrientes entre indivíduos da mesma espécie crescendo em ecossistemas distintos (GUO; SIMS, 2002). Segundo Singh, Dutta e Agrawal (2004), a decomposição da serapilheira e a liberação de nutrientes também está relacionada com a entrada de nutrientes via deposição atmosférica e com a quantidade de aporte de material decíduo pelas espécies.

A dinâmica de disponibilização é composta por três fases, segundo Dutta e Agrawal (2001). Na primeira fase, ocorre liberação rápida de nutrientes através da lixiviação; a segunda fase é de imobilização do nutriente, que pode iniciar logo após a lixiviação ou quando começa a ocorrer perda de massa da serapilheira; e a terceira é a fase em que ocorre a liberação absoluta de nutrientes e a decomposição final da serapilheira. Para Guo e Sims (2002), a decomposição da serapilheira e a disponibilização de nutrientes são influenciadas significativamente por fatores internos (espécies, tipo de serapilheira e composição química inicial). Os autores ainda mencionam que as espécies apropriadas para implantação, podem ser selecionadas com base no processo de ciclagem de nutrientes, que pode ser manejado para produção de biomassa e uso sustentável do solo.

## 2.4 Conclusões

A deposição de serapilheira apresenta comportamento sazonal com maior deposição no período de aumento da temperatura do ar. A serapilheira é composta predominantemente pela fração folhas (67%), responsável por maior parte do retorno de nutrientes via serapilheira.

O acúmulo de serapilheira sobre o solo foi maior na primavera em relação às demais estações.

O estoque de Ca + N corresponde a mais de 82% do total de macronutrientes e de Mn + Fe corresponde a aproximadamente 98% do total de micronutrientes contidos na serapilheira.

A serapilheira apresentou baixo coeficiente de decomposição ( $K = 0,54$ ), característico das diferentes espécies de eucalipto.

Quanto maior a perda de massa, maior a concentração dos elementos no folheto remanescente.

A decomposição da serapilheira foliar apresentou, inicialmente, imobilização do P, Fe, Mn e Zn e disponibilização dos demais nutrientes; a partir do segundo ano o P tornou-se disponível e, a partir do terceiro ano, o Mn e Zn também se tornaram disponíveis.

## 2.5 Referências bibliográficas

ADAMS, M. A.; ATTIWILL, P. M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests of south-eastern Australia: I. Nutrient cycling and nitrogen turnover. **Plant and Soil**, The Hague, v. 92, p. 319-339, 1986.

AERTS, R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? **Journal of Ecology**, London, v. 84, p. 597-608, nov.-dez. 1996.

ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 777-785, 2000.

BACKES, A.; PRATES, F. L.; VIOLA, M. G. Produção de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 155-160, jan.-mar. 2005.

BALIEIRO, F. C. 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.

BARLOW, J. et al. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 247, n. 1, p. 91–97, ago. 2007.

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **Cernea**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 42 – 59, jul.-dez. 2002.

BRUN, E. J. et al. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 277-285, 2001.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 19-24, jan.-jun. 1999.

CHATURVEDI, O.P.; SINGH, J.S. Structure and function of pine forest of central Himalaya. II. Nutrient dynamics. **Annals of Botany**, London, v. 60, p. 253–267, 1987.

COLIN-BELGRAND, M.; RANGER, J.; BOUCHON, J. Internal nutrient translocation in Chestnut Tree Stemwood: III. Dynamics across an age series of *Castanea sativa* (Miller). **Annals of Botany**, London, v. 78, n. 6, p. 729–740, jun. 1996.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES A. C.; CUNHA G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 563-570, jul.-ago. 2005

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; COSTA, G. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-363, maio-jun. 2005

DIAS, H. C. T. et al. Variação temporal de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Lavras, Minas Gerais – Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 1-16, jul.-dez. 2002.

DUTTA, R. K.; AGRAWAL, M. Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils. **Pedobiologia**, Jena, v. 45, n. 4, p. 298–312, July-Aug. 2001.

FERNANDES, M. E. B.; NASCIMENTO, A. A. M.; CARVALHO, M. L. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de Mangue no Furo Grande, Bragança-Pará. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 949-958, out.-nov. 2007.

FERREIRA, C. A. et al. Pesquisas sobre nutrição de pínus no Sul do Brasil. **Revista da madeira**, nº 83 – ano 14 – Agosto de 2004.

FERREIRA, R. L. C. et al. Deposição e acúmulo de matéria seca e nutrientes em serapilheira em um bosque de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* benth.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 7-12, jan.-fev. 2007.

FIGUEIREDO FILHO, A. et al. Avaliação Estacional da Deposição de Serapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista Localizada no Sul do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, jan.-jun. 2003.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no Sudoeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 26, n. 2, p. 193-207, mar.-abr. 2002.

GISLER, C. V. T. **O uso da serapilheira na recomposição da cobertura vegetal em áreas mineradas de bauxita, em Poços de Caldas, MG**. 1995. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

GOLLEY, F. B. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípides Malavolta – São Paulo: EPU. Editora da USP, 1975, 256 p.

GOYA, J. F. et al. Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. **Bosque**, Valdivia, v. 29, n. 3, p. 217-226, Sept.-Dec. 2008.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand: II. internal effects. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 7, p. 913-922, July 2002.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand I. External effects. **Soil Biology und Biochemistry**, Elmsford, v. 33, n. 10, p. 1381-1388, Aug. 2001.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 75, n. 1-2, p. 133-140, Aug. 1999.

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

KLEINPAUL, I. S. et al. Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliotti* Engelm, *Eucalyptus* sp. e Floresta Estacional Decidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 965-972, nov./dez. 2005.

KOEHLER, C.W.; REISSMANN, C.B.; KOEHLER, H.S. Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantio de *Araucaria angustifolia* em função do sítio. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 89-94, 1987.

KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, n. 63, p. 79-93, jun. 2003.

LEMMA, B.; NILSSON, I.; KLEJA, D. B. Decomposition and substrate quality of leaf litters and ne roots from three exotic plantations and a native forest in the southwestern highlands of Ethiopia. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p.2317-2328, 2007.

LOPES, M. I. S.; DOMINGOS, M.; STRUFFALDI DE VUONO, Y. Ciclagem de nutrientes minerais. In: SYSLVESTRE, L. S.; ROSA M. M. T. **Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica**. Seropédica: EDUR – UFRRJ, 2002. p. 72-102.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 405-412, 1999.

MASON, C.F. **Decomposição**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 63p. (Temas de Biologia, 18).

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. **Retorno, ao solo, de nutrientes de serapilheira de pinus no cerrado do Distrito Federal**. Planantina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 18 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, nº 75).

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. cap. 4, p. 171-224.

MOCHIUTTI, S.; QUEIROZ, J. A. L.; MELÉM JUNIOR, N. J. Produção de Serapilheira e Retorno de Nutrientes de um Povoamento de Taxi- branco e de uma Floresta Secundária no Amapá. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 52, p. 3-20, jan.-jun. 2006.

MOREIRA, P. R.; SILVA, O. A. Produção de serapilheira em área reflorestada. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 49-59, jan-fev. 2004.

NAMBIAR, E. K. S.; FIFE, D. N. Nutrient retranslocation in temperate conifers. **Tree Physiology**, Victoria, v. 9, n. 1/2, p. 185-207, 1991.

NARDOTO, G. B.; BUSTAMANTE, M. M. C.; SIQUEIRA PINTO, A. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and of fire. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 22, n. 3, p. 191-201, jun.-jul. 2006.

O'CONNELL, A. M. Nutrient dynamics in decomposing litter in Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forests of South-western Australia. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 76, p. 1186-1203, 1988.

OLIVEIRA, R. R. **Produção e decomposição de serapilheira no Parque Nacional da Tijuca, RJ**. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia. Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 1987.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Washington, v. 44, n. 2, p. 322- 330, 1963.

PARSONS, S. A.; CONGDON, R. A. Plant litter decomposition and nutrient cycling in north Queensland tropical rain-forest communities of differing successional status. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 24, n. 2, p. 317-327, 2008.

PIATEK, K.B.; ALLEN, H.L. Site preparation effects on foliar N and P use, retranslocation,

and transfer to litter in 15-year-old *Pinus taeda*. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v. 129, n. 1/3, p. 143–152, Apr. 2000.

PIRES, L. A. et al. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 173-184, abr.-jun. 2006.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*: implicações silviculturais**. 1985. 229 f. Tese (Livre docência) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP, Piracicaba, 1985.

POGGIANI, F. et al. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, Piracicaba, v. 37, p. 21-29, dez. 1987.

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

SANKARAN, K. V. Decomposition of leaf litter of albizia (*Paraserianthes falcataria*), eucalypt (*Eucalyptus tereticornis*) and teak (*Tectona grandis*) in Kerala, India. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 56, n. 1/4, p. 225-242, Jan. 1993.

SANTIAGO, J.; MOLINERO, J; POZO, J. Impact of timber harvesting on litterfall inputs and benthic coarse particulate organic matter (CPOM) storage in a small stream draining a eucalyptus plantation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 6, p.1146–1156, Sept. 2011.

SCHUMACHER, M. V. et al. Espécies predominantes na deposição de serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 479-486, jul.-set. 2011.

SCHUMACHER, M. V. et al. Fracionamento da serapilheira em três espécies de eucalipto no município de Santa Maria –RS: *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloesiana* e *Eucalyptus grandis*. In: 2º CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONESUL. **Anais...** Santa Maria, 2002, p.173-180.

SCHUMACHER, M. V. et al. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (bertol.) kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 29-37, jan.-fev. 2004.

SCHUMACHER, M. V. et al. Retorno de nutrientes via deposição de serrapilheira em um povoamento de acácia – negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 29-37, jan.-fev. 2003.

SCHUMACHER, M. V. et al. Transferência de nutrientes das copas para o solo através da deposição de folheto em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus torelliana* plantados em Anhembi-SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 47, p. 56-61, maio 1994.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; WITSCHORECK, R. Produção de serrapilheira e transferência de nutrientes em área de segunda rotação com floresta de *Pinus taeda* L. no município de Cambará do Sul, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 4, out.-dez. 2008.

SILVA, A. C.; SANTOS, A. R.; PAIVA, A. V. Translocação de nutrientes em folhas de *Hevea brasiliensis* (clone) e em acículas de *Pinus oocarpa*. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, n. 4, p. 11-18, 1998.

SINGH, R. K.; DUTTA, R. K.; AGRAWAL, M. Litter decomposition and nutrient release in relation to atmospheric deposition of S and N in a dry tropical region. **Pedobiologia**, v. 48, n. 4, p. 305-311, Aug. 2004.

SOUTO, P.C. **Acumulação e decomposição da serrapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba, Brasil**. 2006. 150 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

SOUZA, J.A.; DAVIDE, A.C. Deposição de serrapilheira e nutrientes em uma mata não minerada e em plantações de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e de eucalipto (*Eucalyptus saligna*) em áreas de mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 101-113, jan.-jun. 2001.

SPSS. **Statistical package for the social sciences**: programa de computador, ambiente windows. Chicago, 1996. Versão 7.5.1.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 118 p. (Boletim Técnico).

VIERA, M. et al. Nutrientes na serrapilheira 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.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em

acículas de *Pinus taeda* L.. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 375-382, out./dez. 2009.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macronutrientes em um povoamento de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 225-233, abr.-jun. 2010a.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 85-94, jan./fev. 2010b.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Variação mensal da deposição de serapilheira em povoamento de *Pinus taeda* L. em área de campo nativo em Cambará do Sul-RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 487-494, maio-jun. 2010c.

VITAL, A.R.T. et al. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 793-800, nov.-dez. 2004.

VOGEL, H. M. et al. Avaliação da devolução de serapilheira em uma floresta Estacional Decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 187-196, jul.-set. 2007.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. 2000. Estimativa do carbono da serapilheira em florestas de eucalipto de diferentes idades. In: 8º Congresso Florestal Estadual de Nova Prata. **Anais...** Prefeitura Municipal. 2000.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p.843-852, set./out. 2004.

### 3 ESTIMATIVA DA BIOMASSA E NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*

#### Resumo

A estimativa da biomassa e dos nutrientes, em povoamentos de eucaliptos, é importante para a obtenção de técnicas e definições de práticas que visem à conservação da capacidade produtiva dos solos. Com isso, o presente estudo teve por objetivo estimar a biomassa acima do solo e os nutrientes nela contidos em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, com dez anos de idade, em Eldorado do Sul-RS. Foram alocadas quatro parcelas experimentais (35 m x 20 m), onde se realizou o inventário florestal e a definição das classes diamétricas do povoamento (cinco classes). Para cada classe de diâmetro, foram abatidas três árvores para a quantificação de biomassa e nutrientes. A quantificação da biomassa e dos nutrientes do sub-bosque foi realizada por meio da alocação de cinco parcelas de 25 m<sup>2</sup> cada. Para a estimativa da biomassa de eucalipto, utilizaram-se equações de regressão obtidas pelo procedimento *Stepwise*. 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. A biomassa do eucalipto encontra-se predominantemente alocada no fuste (madeira + casca) com 93,7%. Esses mesmos componentes também apresentam os maiores estoques de nutrientes. A biomassa de sub-bosque compreende uma pequena fração da biomassa acima do solo (1,4%), mas representa 7,0 e 8,6% do nitrogênio e enxofre do estoque total. Os componentes da biomassa apresentaram composições químicas distintas, sendo geralmente maiores nas folhas e casca e menores na biomassa de madeira e galhos.

**Palavras - chave:** Quantificação da biomassa. Estoque de nutrientes. Colheita florestal. Produtividade do eucalipto.

# NUTRIENTS AND BIOMASS ESTIMATION IN *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* STAND

## Abstract

Nutrients and biomass estimation in eucalyptus stands is important for to obtain techniques and practices definition to keep the soil productive capacity. With this, the study had objective estimated aboveground biomass and nutrients contend within in *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* 10 years-old stand, Eldorado do Sul - RS. Allocated four experimental plots (35 m x 20 m) where the forestry inventory was conducted and the definition of diametric classes stand (five classes). In each diametric class were harvested three tree for biomass and nutrients quantification. Understory biomass and nutrients was quantified in five plots of 25 m<sup>2</sup> each. Eucalyptus biomass was estimated using regression equations by Stepwise procedure. Equations obtained with regression analysis showed good prediction of the variables due to the high determination coefficient and low standard error estimates. Eucalyptus biomass was allocated predominantly to stem (Wood + bark) with 93.7%. These same components, also had the largest nutrients stock. Understory biomass comprises a small aboveground fraction (1.4%), but had 7.0 and 8.6% of nitrogen and sulfur from the stock total. Biomass components had different chemical composition, being generally higher in leaves and bark and smaller in wood and branches biomass.

**Keywords:** Biomass quantification. Nutrients stock. Forestry harvesting. Eucalyptus productivity.

### 3.1 Introdução

Na avaliação das práticas de manejo adotadas em povoamentos de curta rotação, o estudo da biomassa e dos nutrientes removidos com a colheita florestal configura-se como um fator essencial, em favor do uso sustentado desses sítios produtivos. A escolha de um sistema adequado de colheita resultará na manutenção da produtividade do sítio (FREITAS, 2000). Colheitas intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pela diminuição da fertilidade do solo (COBB et al., 2008).

Nesse contexto, Barichello (2003) salienta que se não forem aplicadas práticas silviculturais adequadas nesses maciços, seu cultivo pode causar, dentre outros, a redução do estoque de nutrientes, comprometendo a produtividade contínua do ecossistema. Portanto, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, particularmente naquilo que diz respeito a características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal. Assim, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos constitui um requerimento essencial para a empresa com vistas à adoção de técnicas de conservação e reposição de nutrientes ao ecossistema (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999). Esse conhecimento é necessário para que sejam tomadas as medidas adequadas de monitoramento, pois plantações florestais mal manejadas poderão gerar impactos severos sobre os ciclos da água, dos nutrientes e sobre o equilíbrio ecológico dos ecossistemas naturais adjacentes (POGGIANI; STAPE; GONÇALVES, 1998).

O manejo florestal permite o aumento da produtividade florestal, no entanto, esse aumento pode propiciar maior remoção de nutrientes por meio da colheita florestal. Em certos casos, a mudança de algumas técnicas silviculturais poderia ser suficiente para não ocorrer uma depleção na qualidade do sítio e na produção de biomassa. Segundo Harrison et al. (2000), para avaliar o efeito da colheita florestal na disponibilidade de nutrientes no sítio, primeiramente, deve-se determinar a prioridade de alocação dos nutrientes nos diferentes componentes da árvore, podendo ser influenciado pela espécie, espaçamento, manejo, idade e intensidade de colheita, sendo, em seguida, avaliado o potencial de remoção em comparação com a produção de biomassa.

Sendo assim, estimar a alocação de biomassa e nutrientes nos diferentes componentes das árvores é importante para a compreensão de um manejo conveniente (GOLLEY et al., 1978; LATORRACA et al., 1984). Nesse sentido, objetiva-se, com o presente estudo, estimar

a biomassa acima do solo e os nutrientes nela contidos em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*.

## 3.2 Material e métodos

### 3.2.1 Estimativa da biomassa de eucalipto

A quantificação da biomassa e dos nutrientes acima do solo foi realizada aos dez anos de idade do povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, em Eldorado do Sul - RS. O plantio foi realizado em espaçamento de 3,5 m x 2,5 m (1.142 árvores ha<sup>-1</sup>). Nas quatro parcelas onde estavam instalados os coletores de serapilheira (35 m x 20 m), foram realizadas as medições de diâmetro à altura do peito (DAP), com o auxílio de uma fita diamétrica, e de altura total, com hipsômetro Vertex III. As mensurações foram realizadas conforme especificações de Finger (1992) e Pélico Netto e Brena (1997).

Mediante o inventário florestal, os indivíduos foram classificados em cinco classes diamétricas (9,1-13,0; 13,1-17,0; 17,1-21,0; 21,1-25,0 e 25,1-29,0 cm). A determinação da biomassa do eucalipto baseou-se na amostragem de 15 árvores, 3 em cada classe diamétrica. Uma vez identificadas às árvores, elas foram abatidas e fracionadas nos componentes: folhas; galhos; casca da madeira comercial e madeira comercial (diâmetro  $\geq$  6,0 cm). Fuste com diâmetro inferior a 6 cm foi considerado como fração galhos. As frações foram pesadas em balança com precisão de 100 g, para a obtenção da biomassa úmida total.

Para estimar a biomassa e os nutrientes, coletaram-se amostras dos diferentes componentes, procedendo-se da seguinte forma: para os componentes folha e galho, foi coletada uma amostra por árvore. Em relação à madeira e à casca, a amostragem procedeu-se da seguinte maneira: distribuíram-se três pontos de amostragem no percorrer do comprimento do fuste comercial, nas posições medianas das secções resultantes da divisão em três partes iguais do mesmo.

Após a amostragem de cada componente, o que correspondia a 150g de massa úmida de cada, eles foram colocados em embalagens de papel pardo, devidamente identificadas e posteriormente levadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. No laboratório foram postas para secagem

em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C, até atingirem peso seco constante, sendo, então, determinada a massa seca (e conseqüente teor de umidade) em balança digital de precisão (0,01g).

A estimativa da biomassa do eucalipto foi realizada com base no ajuste de equações de regressão. Os diferentes componentes da biomassa acima do solo (folha, galho, casca e madeira) foram considerados variáveis dependentes, e as variações e combinações do diâmetro à altura do peito e altura total, variáveis independentes. As variações e combinações utilizadas foram as seguintes:  $d$  (diâmetro à altura do peito),  $h$  (altura total),  $d^2$ ,  $h^2$ ,  $d^3$ ,  $h^3$ ,  $d.h$ ,  $d^2.h$ ,  $d^3.h$ ,  $d.h^2$ ,  $d.h^3$ ,  $(d.h)^2$ ,  $(d.h)^3$ ,  $d^{-1}$ ,  $h^{-1}$ ,  $(d^2)^{-1}$ ,  $(h^2)^{-1}$ ,  $(d^3)^{-1}$ ,  $(h^3)^{-1}$ ,  $(d.h)^{-1}$ ,  $(d^2.h)^{-1}$ ,  $(d^3.h)^{-1}$ ,  $(d.h^2)^{-1}$ ,  $(d.h^3)^{-1}$ ,  $((d.h)^2)^{-1}$ ,  $((d.h)^3)^{-1}$ ,  $d.h^{-1}$ ,  $d^2.h^{-1}$ ,  $d^3.h^{-1}$ ,  $d^{-1}.h$ ,  $d^{-1}.h^2$ ,  $d^{-1}.h^3$ ,  $1/d^2.h^{-1}$ ,  $1/d^3.h^{-1}$ ,  $1/d^{-1}.h^2$ ,  $1/d^{-1}.h^3$ , bem como, o logaritmo natural das variáveis dependentes e independentes.

Utilizou-se o aplicativo *SPSS 13.0 for Windows* (1996) para a modelagem, seguindo procedimento *stepwise*. As estatísticas utilizadas para verificar a qualidade do ajuste das equações de regressão foram o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro padrão da estimativa absoluto (Syx). A estimativa da biomassa por hectare foi realizada por meio da aplicação das equações de regressão com os dados do inventário florestal e extrapolação com base na área da parcela.

### 3.2.2 Estimativa da biomassa de sub-bosque

Para a determinação da biomassa do sub-bosque foram demarcadas cinco parcelas de 5,0 m x 5,0 m (25 m<sup>2</sup>) no interior do povoamento de eucalipto. Toda vegetação encontrada no interior de cada uma das parcelas, com exceção das plantas de eucalipto, foram quantificadas quanto à biomassa acima do solo. A biomassa foi separada em duas frações, folhas e fuste, e amostrada 150 g de massa úmida de cada, conforme descrito para a biomassa de eucalipto. A estimativa da biomassa de sub-bosque por hectare foi extrapolada com base na biomassa seca de cada componente por parcela. Foram observadas mais de 15 espécies no sub-bosque, tendo a *Cupania vernalis* como predominante.

### 3.2.3 Estimativa dos nutrientes

Após secagem (70 °C) e pesagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 30 *mesh*, para posterior determinação dos teores de nutrientes. As análises de nutrientes foram realizadas no *Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre* da Universidade Albert - Ludwigs (Freiburg, Alemanha), onde se efetuou a determinação de N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Mn e Zn. O nitrogênio total foi determinado por via seca no aparelho denominado CNS – *Analysator Carlo Erba NA 1500*. Os demais nutrientes foram obtidos por meio de digestão em ácido HNO<sub>3</sub> (65%) e posterior determinação no ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

A análise estatística foi realizada com o aplicativo *SPSS 13.0 for Windows* (1996), ao nível de 5% de probabilidade de erro. À separação dos contrastes de médias, utilizou-se o teste de Tukey, considerando-se um delineamento inteiramente casualizado, onde cada árvore analisada corresponde a uma repetição para cada componente da biomassa. A estimativa do estoque de nutrientes, tanto para o eucalipto como para o sub-bosque, foi baseada no produto entre o teor médio de nutrientes e a biomassa seca.

### 3.2.4 Volume e índice de área foliar

Em cada uma das quinze árvores abatidas foi determinado o volume com casca e sem casca e o índice de área foliar. O volume (V, m<sup>3</sup>) foi determinado através da cubagem rigorosa, segundo o método desenvolvido por SMALIAN e descrito por Soares, Neto e Souza (2006), seguindo a expressão:

$$V = \left( \frac{AS_1 + AS_2}{2} \right) \times L$$

Onde:

AS<sub>1</sub> e AS<sub>2</sub> = áreas seccionais com ou sem casca, obtidas nas extremidades da seção, em m<sup>2</sup>;

L = comprimento de cada seção, em m.

As áreas seccionais foram obtidas a 0,10; 0,30; 1,30 m de altura do tronco em relação ao nível do solo e, em seguida, a cada dois metros, até atingirem o diâmetro mínimo considerado (6 cm).

Na determinação do Índice de Área Foliar (IAF), utilizaram-se os mesmos indivíduos nos quais se realizou a cubagem. Para a obtenção da área foliar, foi necessária a amostragem de folhas de toda a parte aérea da planta (aproximadamente 40 g de massa úmida), para que, dessa forma, fosse obtida uma amostragem representativa. Posteriormente, as amostras foram levadas ao Laboratório de Ecologia Florestal, onde foram fotografadas digitalmente, depois de terem sido prensadas entre uma superfície de cor branca e um vidro transparente. Após a obtenção das fotos digitais com auxílio de câmera digital (*Kodak C713, 7.0 Megapixels*), apoiada em uma estrutura metálica com altura fixa de 0,5 m, as imagens foram processadas com o auxílio do aplicativo *UTHSCSA, Image Tool for Windows version 3.00*® (2002), que determina a área das folhas. Dessa forma, com base na biomassa úmida das amostras, extrapolou-se a área foliar para biomassa total de folhas de cada planta amostrada, determinada em  $\text{m}^2 \text{árvore}^{-1}$ .

A estimativa de volume de madeira com casca e sem casca e do índice de área foliar do povoamento foi obtido por meio de equações de regressão, conforme descrito para a estimativa da biomassa de eucaliptos, no item 3.2.1.

### 3.3 Resultados e discussão

#### 3.3.1 Características dendrométricas

O povoamento apresentou um incremento médio de volume com casca e sem casca de 44,4 e 36,7  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 3.1). O índice de área foliar encontrado foi de 2,55. Segundo Viera (2007), quanto maior o índice de área foliar de um povoamento, maior é a área fotossinteticamente ativa, conseqüentemente, haverá uma alta taxa de acumulação de fotoassimilados pelas plantas, aumentando, dessa maneira, a sua biomassa total. Neste estudo, ao avaliar dois povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, com 18 meses de idade, foram encontrados índices de área foliar de 3,7 e 4,6. Entretanto, Xavier, Soares e Almeida (2002), estudando a variação do índice de área foliar em clones de eucaliptos, ao

longo do seu ciclo de desenvolvimento, obtiveram valores variando entre 1,7 e 4,3.

Tabela 3.1 - Variáveis dendrométricas (diâmetro à altura do peito, altura total, área basal, volume com casca e sem casca e índice de área foliar) do eucalipto.

Variáveis	DAP (cm)*	H (m)	G (m <sup>2</sup> )	V <sub>c/c</sub>	V <sub>s/c</sub>	IAF
Média	20,16	28,67	34,56	444,28	366,93	2,55
Desvpad	4,07	0,75	2,61	43,35	36,16	0,15
CV	20,21	2,62	7,56	9,76	9,86	6,01

\*Onde: DAP = Diâmetro à altura do peito; H = Altura total; G = Área basal por hectare; V<sub>c/c</sub> = Volume com casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); V<sub>s/c</sub> = Volume sem casca (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>); IAF = Índice de área foliar; Desvpad = Desvio-padrão; CV = Coeficiente de variação.

Aos dez anos de idade, o povoamento apresentou aproximadamente 70% dos indivíduos (707 plantas) com diâmetros à altura do peito entre 17,1 e 25,0 cm (Figura 3.1). O número inicial de plantas de eucalipto foi de 1.142 árvores ha<sup>-1</sup>, mas após dez anos ocorreu redução para 1.024 árvores ha<sup>-1</sup>. Segundo Finger (1992), as maiores frequências em número de árvores por hectare situam-se em torno do diâmetro médio do povoamento, decrescendo para os menores e maiores valores de diâmetro.

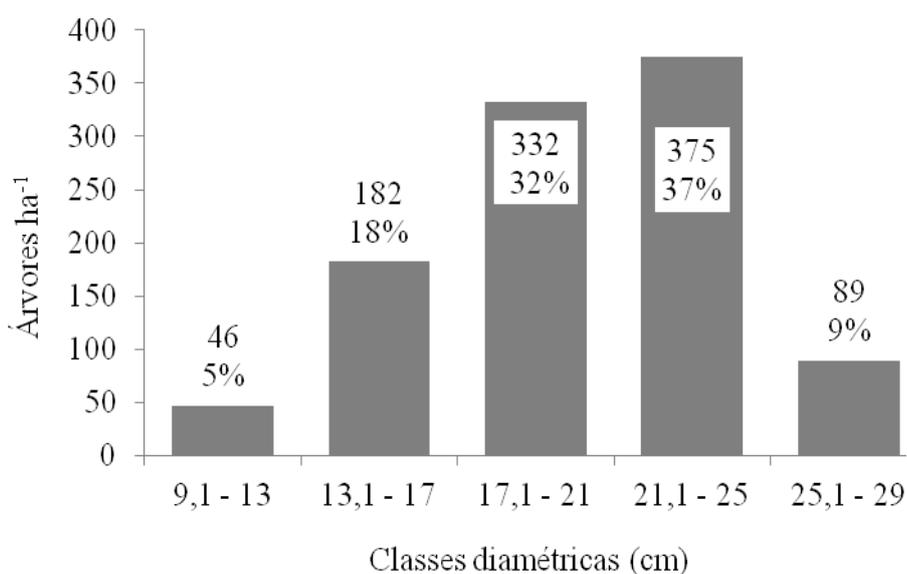


Figura 3.1 - Distribuição das plantas de eucalipto nas diferentes classes diamétricas.

### 3.3.2 Estimativa da biomassa

Com base na análise de regressão, foram estimadas as equações com melhores ajustes e menores erros para a estimativa da biomassa por componente do eucalipto, do volume com casca e sem casca e da área foliar (Tabela 3.2). Com exceção da biomassa de galhos e da estimativa dos volumes, as demais equações apresentaram boa predição com base logarítmica natural.

Tabela 3.2 - Equações utilizadas para estimar a biomassa de cada componente, volume com casca e sem casca e área foliar do eucalipto.

Componentes	Equações
Madeira	$\ln y = b_0 + b_1.H + b_2.(H^3.DAP^{-1}) + b_3.DAP^{-1}$
Casca	$\ln y = b_0 + b_1.DAP$
Galhos	$y = b_0 + b_1.(DAP.H^{-1}) + b_2.(H.DAP^{-1})$
Folhas	$\ln y = b_0 + b_1.(DAP^2.H^{-1})$
Biomassa total	$\ln y = b_0 + b_1.H + b_2.\ln DAP$
Volume com casca	$y = b_0 + b_1.(DAP^2.H)$
Volume sem casca	$y = b_0 + b_1.(DAP^2.H)$
Área Foliar	$\ln y = b_0 + b_1.(DAP^2.H^{-1})$

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

As equações obtidas com a análise de regressão apresentaram alto coeficiente de determinação ajustado e baixo erro padrão das estimativas (Tabela 3.3), tendo demonstrado, com isso, boa predição das variáveis analisadas.

A biomassa total de eucalipto acima do solo foi de 198,5 Mg ha<sup>-1</sup>, apresentando maior estoque na madeira (84,2%), seguida pela casca (9,5%), galhos (4,5%) e folhas (1,8%) (Tabela 3.4). O sub-bosque do eucalipto apresentou biomassa de 2,9 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo 87,6% de lenho e 12,4% de folhas, demonstrando a importância da quantificação desse compartimento em estudos de partição de biomassa e nutrientes em plantios florestais. Além disso, a presença desse sub-bosque em um plantio de eucalipto estabelecido em área desprovida de vegetação arbórea possibilita concluir que espécies da fauna transitam nesse ambiente, fazendo

dispersão de sementes de espécies florestais encontradas nas matas ciliares próximas ao plantio.

Tabela 3.3 - Estatísticas dos modelos de ajuste das equações de regressão utilizadas para estimar a biomassa e outras variáveis em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, aos dez anos de idade.

Comp.	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	Valor-p	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	Syx
Madeira	2,139	0,163	-0,001	-13,155	0,000	0,998	0,038455
Casca	0,001	0,137	-	-	0,000	0,954	0,164477
Galhos	-333,838	268,221	107,793	-	0,000	0,920	0,999190
Folhas	0,137	0,075	-	-	0,000	0,858	0,151308
Total	-0,566	0,071	1,289		0,000	0,997	0,042609
Vc/c	-0,001	3,36E-05	-	-	0,000	0,996	0,016250
Vs/c	-0,004	2,80E-05	-	-	0,000	0,996	0,014080
AF	2,197	0,068	-	-	0,000	0,833	0,150790

Onde: Vc/c = volume do fuste com casca; Vs/c = volume do fuste sem casca; AF = área foliar; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub> e b<sub>3</sub> = coeficientes da equação de regressão; valor-p = nível de significância; R<sup>2</sup><sub>aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; Syx = erro padrão absoluto da estimativa.

Em um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos quatro anos de idade, Schumacher e Caldeira (2004) encontraram produção de biomassa total de 79,6 Mg ha<sup>-1</sup>. Padrão similar foi observado por Schumacher e Caldeira (2001) em um povoamento de *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii*, também aos 4 anos de idade, onde a biomassa quantificada acima do solo foi de 83,2 Mg ha<sup>-1</sup>.

Tabela 3.4 – Quantidade de biomassa acima do solo (Mg ha<sup>-1</sup>) em um povoamento de eucalipto e, em seu sub-bosque.

Estatística	Madeira	Casca	Galhos	Folhas	TE	FS	LS	TS	TE+S
Média	167,1	18,9	8,8	3,6	198,5	0,4	2,5	2,9	201,4
%	84,2	9,5	4,5	1,8	98,6	12,4	87,6	1,4	100,0
Desvpad	15,8	2,3	0,7	0,24	-	0,4	2,5	-	
CV	9,47	12,2	8,2	6,67	-	121	100	-	

Onde: Desvpad = desvio padrão da média; CV = coeficiente de variação; TE = Total do eucalipto; FS = Folhas do sub-bosque; LS = Lenho do sub-bosque; TS = Total do sub-bosque; TE+S = Total do eucalipto + sub-bosque.

Os altos valores percentuais de biomassa de madeira e casca (93,7%) foram verificados também por Reis et al. (1985), estudando o acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado. Os autores relataram que, na fase inicial de desenvolvimento do povoamento (15 meses de idade), a biomassa contida nos componentes madeira + casca é inferior a 45% do total da biomassa aérea. Mas, com o passar do tempo, esses componentes apresentaram crescente elevação na contribuição, até atingir mais de 85% da biomassa aérea total, aos 73 meses de idade. Em outro estudo, Schumacher et al. (2003) também observaram que a alocação da biomassa de madeira, inicialmente, era inferior a 50% da biomassa total e, aos 6 - 8 anos de idade do povoamento, a mesma chegava a 75%.

Poggiani et al. (1983) e Pereira et al. (1984), analisando povoamentos de *Eucalyptus saligna*, aos 8 e 9 anos de idade, respectivamente, verificaram que, em média, 85% da biomassa aérea encontrava-se no fuste (madeira + casca) e o restante na copa. Santana, Barros e Neves (1999) encontraram valores superiores em relação aos identificados pelos autores citados anteriormente, variando entre 88 e 92% a biomassa de fuste em diferentes procedências de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* em cinco sítios diferentes aos 6,5 anos de idade, no estado de São Paulo.

O comportamento de prioridade de alocação de biomassa acima do solo com a idade dos povoamentos decorre, segundo Larcher (2000), ao fato de que, durante a fase inicial do desenvolvimento de uma árvore, grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de tronco aumenta e a de folhas e ramos diminui, gradativamente (LARCHER, 2000). A distribuição de carboidratos, resultantes da fotossíntese, e o padrão de crescimento estrutural dos diferentes componentes de uma árvore podem ser distintos em função dos fatores edafoclimáticos do sítio onde se encontra estabelecida (KIMMINS, 1987; SCHUMACHER, 1996), da espécie e da densidade de plantio (SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011).

A biomassa relativa de cada componente varia conforme a classe diamétrica (Figura 3.2). Indivíduos com diâmetros inferiores apresentam maior proporção de biomassa de copa em relação à de fuste, diminuindo com o aumento do diâmetro à altura do peito.

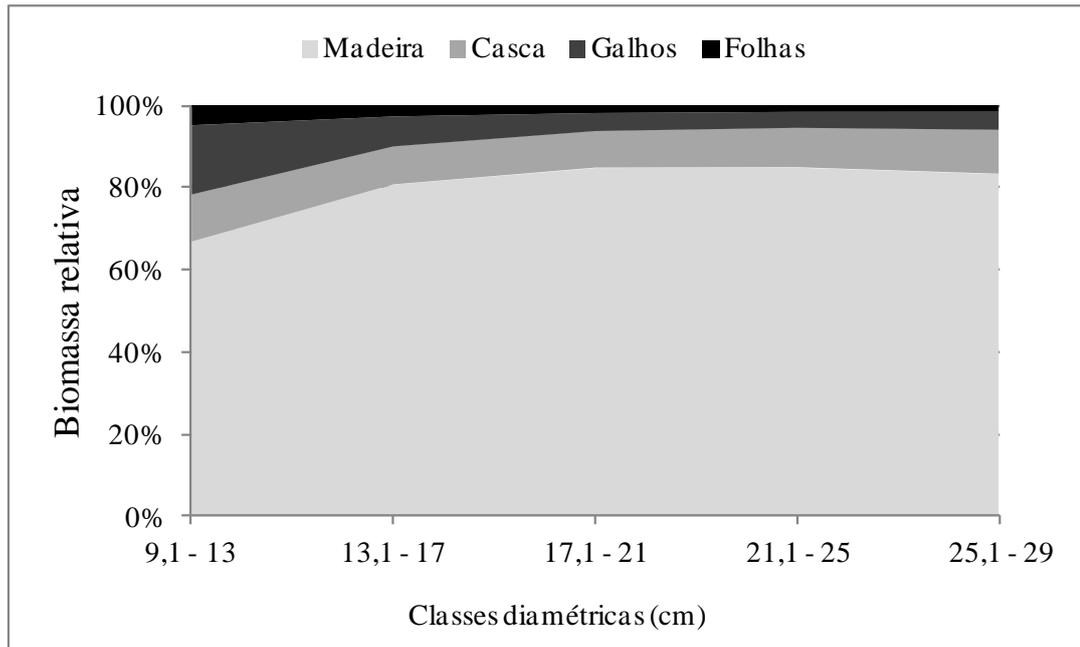


Figura 3.2 - Biomassa relativa em cada componente nas cinco diferentes classes diamétricas do eucalipto.

### 3.3.3 Estimativa do estoque de nutrientes

Os teores de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa acima do solo, em povoamento de eucalipto, foram significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3.5). Com exceção do Ca e Mg, que estiveram mais concentrados na fração casca, e do Zn, que esteve mais presente no lenho do sub-bosque, os demais nutrientes possuíram maior concentração no componente folhas (eucalipto ou sub-bosque). Os menores teores de nutrientes foram encontrados na madeira do tronco, que representa a maior parte da biomassa.

Em termos gerais, o componente com maiores teores de nutrientes é a fração folhas e o com menores teores é a madeira. Já as frações galhos e casca possuem valores considerados intermediários. A tendência que a maioria dos nutrientes tem de concentrar-se nas estruturas mais novas da planta é devida às folhas possuírem maior atividade metabólica. Além disso, nessas regiões é que se encontram a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e pela transpiração.

Tabela 3.5 - Teores de nutrientes nos diferentes componentes formadores da biomassa do eucalipto e do sub-bosque.

Comp.	Macronutrientes (g kg <sup>-1</sup> )							Micronutrientes (g kg <sup>-1</sup> )			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
Madeira	1,00 ±0,21 <i>e</i>	0,08 ±0,01 <i>d</i>	0,75 ±0,09 <i>d</i>	0,47 ±0,12 <i>d</i>	0,13 ±0,01 <i>e</i>	0,08 ±0,02 <i>e</i>	0,13 ±0,08 <i>c</i>	1,91 ±0,58 <i>c</i>	18,67 ±13,23 <i>b</i>	16,90 ±5,65 <i>d</i>	4,85 ±2,49 <i>b</i>
Casca	3,94 ±0,31 <i>d</i>	0,79 ±0,29 <i>b</i>	6,89 ±0,69 <i>b</i>	22,65 ±5,52 <i>a</i>	4,88 ±0,65 <i>a</i>	0,57 ±0,03 <i>cd</i>	0,73 ±0,12 <i>b</i>	3,15 ±1,05 <i>c</i>	28,09 ±15,60 <i>b</i>	428,07 ±204,05 <i>ab</i>	5,12 ±0,51 <i>b</i>
Galhos	4,40 ±0,87 <i>d</i>	0,44 ±0,11 <i>c</i>	4,16 ±0,75 <i>c</i>	8,38 ±2,03 <i>bc</i>	2,41 ±0,61 <i>c</i>	0,37 ±0,07 <i>de</i>	0,65 ±0,14 <i>b</i>	5,93 ±0,85 <i>b</i>	17,56 ±15,94 <i>b</i>	312,88 ±111,97 <i>bc</i>	10,32 ±3,92 <i>b</i>
Folhas	18,16 ±1,44 <i>b</i>	1,03 ±0,05 <i>a</i>	8,06 ±0,71 <i>b</i>	6,48 ±0,65 <i>bc</i>	2,19 ±0,25 <i>c</i>	1,23 ±0,06 <i>b</i>	1,94 ±0,34 <i>a</i>	6,72 ±1,49 <i>ab</i>	43,74 ±15,97 <i>b</i>	409,57 ±154,69 <i>abc</i>	7,05 ±3,70 <i>b</i>
FS*	22,12 ±4,71 <i>a</i>	1,19 ±0,12 <i>a</i>	10,21 ±3,24 <i>a</i>	9,70 ±3,05 <i>b</i>	3,25 ±0,61 <i>b</i>	2,44 ±0,91 <i>a</i>	1,53 ±0,99 <i>a</i>	8,59 ±3,09 <i>a</i>	86,68 ±30,09 <i>a</i>	634,29 ±406,36 <i>a</i>	14,56 ±6,03 <i>b</i>
LS**	7,30 ±4,97 <i>c</i>	0,55 ±0,30 <i>bc</i>	7,32 ±3,93 <i>b</i>	4,57 ±2,01 <i>c</i>	1,12 ±0,66 <i>d</i>	0,89 ±0,62 <i>bc</i>	0,80 ±0,31 <i>b</i>	6,42 ±1,63 <i>b</i>	33,08 ±23,50 <i>b</i>	180,73 ±164,81 <i>cd</i>	27,31 ±20,59 <i>a</i>

\* Fração folhas do sub-bosque; \*\* Fração lenho do sub-bosque. Letras diferentes na vertical, em itálico, indicam diferenças significativas entre os diferentes componentes da biomassa acima do solo, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Schumacher e Poggiani (1993), analisando povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*, observaram que as maiores concentrações de Ca e Mg estão presentes na casca, o que constitui o mesmo padrão verificado nesse estudo.

Segundo Brun (2004), o nitrogênio e o fósforo têm ampla mobilidade dentro da planta e, com isso, eles tendem a se concentrar nos órgãos mais novos, no caso desse estudo, a componente folha. Entretanto, para o Ca, esse mesmo autor salienta que, sua imobilidade no floema das plantas, poderia explicar a sua concentração elevada na fração casca, assim como o fato de o elemento ser componente estrutural, fazendo parte da lamela média da membrana celular.

Para Bellote e Silva (2004), cada componente possui uma concentração de nutrientes relacionada com suas funções, havendo gradiente que geralmente obedece à sequência de concentração folhas > casca > galhos > tronco, sendo que, dentro do mesmo compartimento, podem existir variações significativas de concentração. O mesmo ocorre em função do

aumento da idade da planta, quando as concentrações de alguns nutrientes por unidade de biomassa, principalmente os de maior mobilidade, diminuem, mas a quantidade total aumenta, como observado por Harrison et al. (2000) para o P e N, em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus camaldulensis*.

A maioria dos nutrientes possui mobilidade dentro da planta e, com isso, tende a se concentrar nos órgãos mais novos (FERRI, 1985). É o caso, por exemplo, do nitrogênio, o qual possui teores bem superiores nas folhas do que nos demais componentes da biomassa. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de este elemento participar da maioria das reações de metabolismo de compostos (aminoácidos, proteínas, amins, amidas, vitaminas, etc.), as quais têm seu sítio de ocorrência principal nas folhas, em virtude da fotossíntese (MALAVOLTA, 1985; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Além disso, a diferença de concentração de nutrientes entre os componentes e dentro dos componentes da planta é decorrente do ciclo bioquímico que envolve a retranslocação de um determinado elemento de um local de residência (órgão) para outro, como, por exemplo, de uma folha velha para uma nova (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; VIERA; SCHUMACHER, 2009). Ou seja, refere-se à transferência de nutrientes no próprio interior da planta. Segundo Nambier e Fife (1987), a taxa de crescimento das árvores, mais do que a disponibilidade de nutrientes no solo, é o principal fator controlador da retranslocação e, em espécies florestais, a retranslocação dos nutrientes dentro da planta constitui-se em uma fonte de suprimento importante.

A maior quantidade de nutrientes, com exceção do P, K, Ca, Mg e Mn, que estão mais armazenados na casca, fica estocada na biomassa da madeira (Tabela 3.6). A importância geral do armazenamento para os nutrientes nos componentes da biomassa acima do solo segue a referida ordem: madeira > casca > galhos > folhas > lenho do sub-bosque > folhas do sub-bosque.

Apesar da biomassa do sub-bosque representar apenas 1,4% do total da biomassa acima do solo, esta acumula 7,8 e 8,9% do nitrogênio e enxofre. A magnitude de armazenamento dos diferentes elementos na biomassa total acima do solo apresentou a seguinte ordem decrescente de acúmulo para os macronutrientes: Ca > N > K > Mg > Na > P > S. E para os micronutrientes essa ordem foi de: Mn > Fe > Zn > Cu.

Tabela 3.6 - Quantidade de nutrientes nos diferentes componentes formadores da biomassa do eucalipto e do sub-bosque.

Comp.	Mg ha <sup>-1</sup>	Macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> )							Micronutrientes (g ha <sup>-1</sup> )			
	Biom.	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
M	167,1	167,8	12,6	125,8	78,7	21,2	13,5	22,5	318,4	3.119,6	2.823,1	809,6
	<i>84,2</i>	<i>48,3</i>	<i>35,9</i>	<i>39,0</i>	<i>13,0</i>	<i>14,9</i>	<i>42,1</i>	<i>45,8</i>	<i>70,0</i>	<i>78,7</i>	<i>18,6</i>	<i>79,1</i>
C	18,9	74,7	14,9	130,5	429,1	92,4	10,8	13,8	59,7	532,2	8.110,5	96,9
	<i>9,5</i>	<i>21,5</i>	<i>42,4</i>	<i>40,5</i>	<i>70,9</i>	<i>64,7</i>	<i>33,8</i>	<i>28,2</i>	<i>13,1</i>	<i>13,4</i>	<i>53,4</i>	<i>9,5</i>
G	8,8	38,9	3,9	36,8	74,1	21,3	3,3	5,8	52,5	155,4	2.767,6	91,3
	<i>4,5</i>	<i>11,2</i>	<i>11,1</i>	<i>11,4</i>	<i>12,2</i>	<i>14,9</i>	<i>10,2</i>	<i>11,7</i>	<i>11,5</i>	<i>3,9</i>	<i>18,2</i>	<i>8,9</i>
F	3,6	65,6	3,7	29,1	23,4	7,9	4,5	7,0	24,3	158,1	1.479,9	25,5
	<i>1,8</i>	<i>18,9</i>	<i>10,6</i>	<i>9,0</i>	<i>3,9</i>	<i>5,5</i>	<i>13,9</i>	<i>14,3</i>	<i>5,3</i>	<i>4,0</i>	<i>9,7</i>	<i>2,5</i>
TE	198,5	347,0	35,1	322,3	605,3	142,8	32,0	49,1	454,8	3.965,3	15.181,2	1.023,2
	<i>98,6</i>	<i>93,0</i>	<i>95,1</i>	<i>93,6</i>	<i>97,6</i>	<i>97,3</i>	<i>91,1</i>	<i>95,0</i>	<i>95,9</i>	<i>97,2</i>	<i>95,7</i>	<i>93,2</i>
FS	0,4	7,9	0,4	3,6	3,5	1,2	0,9	0,5	3,1	30,9	226,2	5,2
	<i>12,4</i>	<i>30,0</i>	<i>23,3</i>	<i>16,5</i>	<i>23,1</i>	<i>29,0</i>	<i>27,9</i>	<i>21,2</i>	<i>15,9</i>	<i>27,0</i>	<i>33,2</i>	<i>7,0</i>
LS	2,5	18,4	1,4	18,5	11,5	2,8	2,2	2,0	16,2	83,5	456,0	68,9
	<i>87,6</i>	<i>70,0</i>	<i>76,7</i>	<i>83,5</i>	<i>76,9</i>	<i>71,0</i>	<i>72,1</i>	<i>78,8</i>	<i>84,1</i>	<i>73,0</i>	<i>66,8</i>	<i>93,0</i>
TS	2,9	26,3	1,8	22,1	15,0	4,0	3,1	2,6	19,2	114,4	682,2	74,1
	<i>1,4</i>	<i>7,0</i>	<i>4,9</i>	<i>6,4</i>	<i>2,4</i>	<i>2,7</i>	<i>8,9</i>	<i>5,0</i>	<i>4,1</i>	<i>2,8</i>	<i>4,3</i>	<i>6,8</i>
TE+TS	201,4	373,3	36,9	344,4	620,3	146,8	35,1	51,6	474,0	4.079,6	15.863,4	1.097,3

Onde: Comp. = Componentes; Biom. = Biomassa; M = Madeira; C = Casca; G = Galhos; F = Folhas; TE = Total do eucalipto; FS = Folhas do sub-bosque; LS = Lenho do sub-bosque; TS = Total do sub-bosque; TE+TS = Total do eucalipto + sub-bosque. Valores em *itálico* correspondem ao percentual de cada componente em relação ao total. Entretanto, os valores em *itálico* e **negrito**, correspondem ao percentual de participação do eucalipto ou do sub-bosque em relação ao total de biomassa ou estoque de nutrientes acima do solo.

Essa sequência foi verificada por Freitas (2000) com *Eucalyptus grandis*, aos nove anos de idade, e por Schumacher e Caldeira (2001) com *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii*, aos quatro anos de idade. Santana, Barros e Neves (1999) e Teixeira et al. (1989), estudando povoamentos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, encontraram a mesma tendência do presente estudo em relação à acumulação de macronutrientes nos componentes formadores da biomassa.

A distribuição dos nutrientes nos compartimentos das árvores tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas. O manejo intensivo das plantações de eucaliptos (plantios adensados e rotações curtas), por exemplo, pode aumentar a produção de biomassa, mas, também, pode aumentar a remoção de nutrientes. As maiores concentrações de nutrientes em árvores estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se no tronco, que é a parte normalmente explorada.

É importante ressaltar que o acúmulo de nutrientes na biomassa arbórea varia de elemento para elemento, em função das características nutricionais de cada espécie, dos diferentes níveis de fertilidade do solo e da idade da floresta (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993; VIERA; SCHUMACHER; BONACINA, 2011). Dependendo da intensidade da colheita da biomassa, maiores quantidades de nutrientes serão removidas do sítio florestal (VIERA; SCHUMACHER, 2011).

Algumas espécies de eucaliptos podem se adaptar melhor em sítios com restrições edafoclimáticas, desde que se faça a seleção de espécies e procedências mais adaptadas às condições específicas de sítio. Santana, Barros e Neves (1999) observaram que o conteúdo de nutrientes no tronco (madeira + casca) de eucalipto foi maior nos sítios mais produtivos e nos materiais genéticos melhor adaptados a essas condições, evidenciando uma estreita relação entre produção de biomassa e conteúdo de nutrientes nas árvores.

### 3.4 Conclusões

A biomassa do eucalipto encontra-se predominantemente alocada no fuste (84,2% na madeira e 9,5% na casca). Estes mesmos componentes também apresentam os maiores quantidades de nutrientes.

A biomassa de sub-bosque compreende uma pequena fração da biomassa acima do solo (1,4%), mas representa quantidades significativas de nitrogênio e enxofre do estocado total.

Os componentes da biomassa apresentaram composições químicas distintas, sendo geralmente maiores nas folhas e casca e menores na biomassa de madeira e galhos.

### 3.5 Referências bibliográficas

BARICHELLO, L.R. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil.** 2003. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-140.

BRUN, E. J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

COBB, W. R. et al. Aboveground biomass and nitrogen in four short-rotation woody crop species growing with different water and nutrient availabilities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 4032–4039, June 2008.

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

FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal 1**. 2.ed. São Paulo : EPU, 1985. 362 p.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

FREITAS, R.A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill 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. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípedes Malavolta - São Paulo : EPU. Editora da USP, 1978. 256 p.

HARRISON, R. B. et al. Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, n. 3, p. 167–177, Aug. 2000.

KIMMINS, J.P. **Forest ecology**. New York: Collier Macmillan Canada, 1987. 531 p.

LATORRACA, S. M. et al. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, ago. 1984.

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

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.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Associação brasileira para a pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

NAMBIER, E. K. S.; FIFE, D. N. Growth and nutrient retranslocation in needles of Radiata Pine in relation to nitrogen supply. **Annals of Botany**, London, v. 60, n. 2, p. 147-156, 1987.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1997, 315 p.

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.

POGGIANI, F. et al. Exploração de biomassa e nutrientes através da exportação dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 25, n. 25, p. 37-39, dez. 1983.

POGGIANI, F.M.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.12, n.31, p.33-44, abr. 1998.

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

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

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. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1., 1996. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 1996. p. 65-77.

SCHUMACHER, M.V. et al. **Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades**. Santa Maria: Fatec, 2003. 112 p. (Relatório técnico).

SCHUMACHER, M. V., POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* f. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan.-dez. 1993.

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

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: UFV. 2006. 276 p.

SPSS. **Statistical package for the social sciences**: programa de computador, ambiente windows. Chicago, 1996. Versão 7.5.1.

TEIXEIRA, J. L. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 34-50, 1989.

UTHSCSA. Image Tool for Windows version 3.00. University of Texas Health Science Center in San Antonio, 2002.

VIERA, M. **Avaliação da biomassa e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. e *Eucalyptus urograndis* no município de Pinheiro Machado, RS**. Relatório de estágio supervisionado em Engenharia Florestal, UFSM. 2007. 53 p.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L.. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 375-382, out./dez. 2009.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Biomassa em povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra e do milho em sistema agrossilvicultural. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 259-265, abr.-jun. 2011.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; BANACINA, D. M. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 371-379, maio-jun. 2011.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação no índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 421-427, jul.-ago. 2002.

## 4 IMPLICAÇÕES NUTRICIONAIS COM BASE EM DIFERENTES INTENSIDADES DE COLHEITA

### Resumo

A disponibilidade de nutrientes para futuros plantios em um sítio florestal está relacionada principalmente a intensidade de colheita aplicada. Com base nisso, objetivou-se, com este estudo, avaliar as implicações nutricionais causadas pelas diferentes intensidades de colheita da biomassa de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* com dez anos de idade, em Eldorado do Sul - RS. A avaliação das implicações nutricionais conforme a intensidade de colheita florestal foi analisada levando em consideração: o balanço de nutrientes entre o sistema solo - planta; os efeitos da colheita dos diferentes componentes da biomassa acima do solo na remoção dos nutrientes; o número de rotações e a taxa de remoção de nutrientes conforme o sistema de colheita utilizado; o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes; e as práticas silviculturais recomendadas para a manutenção da capacidade produtiva dos sítios destinados à silvicultura do eucalipto. Com a colheita da madeira com casca, todos os nutrientes sofreriam remoção superior a 45% de sua quantidade acumulada na biomassa total acima do solo. Entretanto, removendo apenas a madeira comercial, que apresenta o maior coeficiente de utilização de nutrientes, a porcentagem de remoção para os nutrientes, com exceção do Cu e Zn, seria inferior a 50%, chegando até 10% no caso do Ca, em relação ao total contido na biomassa. O fósforo e o cálcio poderão ser os principais nutrientes a tornarem-se limitantes na produtividade nas próximas rotações, pois as estimativas de rotações potenciais estão próximas a um, quando realizada a colheita da madeira com casca. A remoção de nutrientes do sítio via colheita florestal deve ser um componente levado em consideração por parte dos empreendedores florestais, durante o planejamento das atividades, evitando que haja diminuição de produtividade em futuros plantios e também contribuindo para o manejo sustentável, pois a exportação de nutrientes, principalmente do Ca, é elevada devido à colheita da madeira com casca.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade florestal. Produção florestal. Disponibilidade de nutrientes.

# NUTRITIONAL IMPLICATIONS BASED IN DIFFERENTS FORESTRY HARVEST INTENSITIES

## Abstract

Nutrients available for future plantation is main related with harvest system applied. Based on this, this study aimed to assess the nutritional implications caused by difference biomass harvest intensities in the *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* 10 years-old in Eldorado do Sul - RS. Nutritional implications assessment was analyzed take into account: nutrients balance between soil-plant system; harvest effects of the different aboveground components in the nutrients removal; rotation numbers and nutrients removal rate in relation to harvest system used; nutrients biological utilization rate; and recommended silvicultural practices to maintain the productivity capacity in eucalyptus sites. With the harvest of wood with the bark all the nutrients removal would suffer more than 45% of the total amount accumulated in aboveground biomass. However, removed just the wood, which has the highest nutrients utilization rate, the nutrients removed percentage, except by Cu and Zn, will be less than 50% and up to 10% in the case of Ca in relation the total biomass contained. Phosphorus and calcium can be the main nutrients became limiting in next rotation productivity, because the potential rotation estimates are close to one, when in the harvest of wood with the bark. Nutrients output through forestry harvest must be take account by companies during the planning of activities, avoiding productivity decreasing with the future plantation, and also contributing sustainable management, because the nutrients exportation, Ca mainly, is high due to wood with bark harvest.

**Keywords:** Forestry sustainable. Forestry production. Nutrients availability.

## 4.1 Introdução

A quantificação dos nutrientes nos componentes da biomassa de um povoamento florestal permite avaliar a magnitude dos reflexos que seriam causados pela intervenção do homem ou por fenômenos naturais ocorridos no ecossistema. Em florestas manejadas para a produção de biomassa de madeira, a retirada desse componente é o principal meio de exportação de nutrientes (DRUMOND et al., 1997). Entretanto, para a produção de biomassa energética, o manejo adotado pode levar em consideração a colheita total da árvore e, em casos extremos, a remoção da serapilheira acumulada e do sub-bosque.

A quantidade de nutrientes removidos ou exportados do sistema depende dos seguintes fatores: intensidade de colheita; espécie; quantidade de biomassa de cada compartimento da árvore colhida e a distribuição delas; concentração de nutrientes minerais nos componentes explorados; densidade de plantio; idade de corte; condições edafoclimáticas e capacidade de absorção, distribuição e utilização de nutrientes (BELLOTE et al., 1980; POGGIANI et al., 1983; POGGIANI, 1985; SCHUMACHER; POGGIANI, 1993; SANTANA; BARROS; NEVES, 1999; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001; VIERA; SCHUMACHER, 2011; VIERA; SCHUMACHER; BONACINA, 2011).

A maior densidade de plantio, numa fase inicial, antes da estagnação do crescimento, proporciona a obtenção de maior quantidade de biomassa e, por conseguinte, a exportação mais elevada de nutrientes. No que diz respeito à idade, quanto mais velho é o povoamento, maior a exportação de nutrientes, em razão da quantidade de biomassa acumulada (REIS; BARROS, 1990). No entanto, segundo os autores, há redução da quantidade exportada por unidade de biomassa produzida, devido à ciclagem interna dos nutrientes.

É preciso salientar, ainda, que ocorrem diferenças consideráveis entre as concentrações de nutrientes nos tecidos das diversas espécies florestais e que algumas árvores podem ser consideradas menos exigentes do que outras quanto à retenção dos nutrientes em seus componentes (POGGIANI, 1985). Portanto, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, particularmente naquilo que diz respeito a características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal. Logo, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos constitui um requerimento essencial para a empresa, com vistas à adoção de técnicas de conservação e reposição de nutrientes no ecossistema (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999). Esse conhecimento é necessário para que sejam tomadas as medidas adequadas de monitoramento,

pois plantações manejadas inadequadamente poderão gerar impactos severos sobre os ciclos da água, dos nutrientes e sobre o equilíbrio ecológico dos ecossistemas naturais adjacentes (POGGIANI; STAPE; GONÇALVES, 1998).

Dessa forma, o estudo desses povoamentos, em especial no que diz respeito à exportação de nutrientes através da colheita da biomassa, é a base para o entendimento da dinâmica nutricional em uma plantação. No caso de plantios novos é vital para a produção contínua e sustentada, possibilitando a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazo, tanto em relação à produtividade, como em relação às características químicas do solo.

A remoção de nutrientes pela colheita florestal, segundo Ferreira et al. (2004) e Cobb et al. (2008), seria um dos fatores a ser considerado, devido à preocupação com a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em condições de baixo suprimento de elementos essenciais às árvores pelo solo. Nesse sentido, explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pelo exaurimento químico do solo. Portanto, ter o conhecimento da exportação de nutrientes através dos diferentes componentes das árvores é importante para a compreensão de um manejo conveniente (LATORRACA et al., 1984; SCHUMACHER; POGGIANI, 1993). Com isso, o presente estudo objetivou avaliar as implicações nutricionais causadas pelas diferentes intensidades de colheita de um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* com dez anos de idade.

## 4.2 Material e métodos

A análise das implicações nutricionais causadas pelas diferentes intensidades de colheita da biomassa florestal levou em consideração os dados apresentados no capítulo anterior, intitulado “Estimativa de biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* com dez anos de idade em Eldorado do Sul – RS.”

A avaliação das implicações nutricionais conforme o sistema de colheita florestal foi analisado levando em consideração: o balanço de nutrientes entre o sistema solo - planta; os efeitos da colheita dos diferentes componentes da biomassa acima do solo na remoção dos nutrientes; o número de rotações e a taxa de remoção de nutrientes conforme a intensidade de colheita utilizada; o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes; e as práticas

silviculturais recomendadas para a manutenção da produtividade dos sítios florestais.

O cálculo do número potencial de rotações (NPR) de 10 anos para o *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*, conforme a intensidade de colheita, foi realizada segundo as equações 1 (NPR<sub>total</sub> – colheita de toda a biomassa acima do solo), 2 (NPR<sub>eucalipto</sub> – colheita da árvore inteira de eucalipto), 3 (NPR<sub>madeira + casca</sub> – colheita da biomassa de madeira e casca do eucalipto) e 4 (NPR<sub>madeira</sub> – colheita da biomassa de madeira do eucalipto) adaptadas da metodologia de número potencial de cortes proposta por Barros et al. (1986):

$$1) \text{NPR}_{\text{total}} = \frac{\text{NS}}{\text{NBT}}$$

$$2) \text{NPR}_{\text{eucalipto}} = \frac{\text{NS} + \text{NSS} + \text{NSA}}{\text{NE}}$$

$$3) \text{NPR}_{\text{madeira+casca}} = \frac{\text{NS} + \text{NSS} + \text{NSA} + \text{NG} + \text{NF}}{\text{NM} + \text{NC}}$$

$$4) \text{NPR}_{\text{madeira}} = \frac{\text{NS} + \text{NSS} + \text{NSA} + \text{NG} + \text{NF} + \text{NC}}{\text{NM}}$$

Onde:

NS = estoque de nutrientes no solo, até um metro de profundidade, em kg ha<sup>-1</sup>;

NBT = quantidade de nutrientes na biomassa total acima do solo, em kg ha<sup>-1</sup>;

NSS = quantidade de nutrientes na biomassa do sub-bosque, em kg ha<sup>-1</sup>;

NSA = quantidade de nutrientes na serapilheira acumulada, em kg ha<sup>-1</sup>;

NE = quantidade de nutrientes na biomassa acima do solo do eucalipto, em kg ha<sup>-1</sup>;

NG = quantidade de nutrientes no componente galho, em kg ha<sup>-1</sup>;

NF = quantidade de nutrientes no componente folha, em kg ha<sup>-1</sup>;

NM = quantidade de nutrientes no componente madeira, em kg ha<sup>-1</sup>;

NC = quantidade de nutrientes no componente casca, em kg ha<sup>-1</sup>.

O estoque de nutrientes no solo, na forma disponível (P, K, Ca e Mg) e total (N), foi determinado com base no teor desses elementos em diferentes profundidades do solo (0 - 25; 25 - 50; 50 - 75 e 75 - 100 cm) e na densidade do solo. Os teores de nutrientes no solo estão

descritos no item 4.3.1.

A taxa de remoção de nutrientes (TR, kg de nutrientes/Mg de biomassa), conforme a intensidade de colheita utilizada foi realizada segundo as equações 1 (TR<sub>total</sub> – colheita de toda a biomassa acima do solo), 2 (TR<sub>eucalipto</sub> – colheita da árvore inteira de eucalipto), 3 (TR<sub>madeira + casca</sub> – colheita da biomassa de madeira e casca do eucalipto) e 4 (TR<sub>madeira</sub> – colheita da biomassa de madeira do eucalipto):

$$1) TR_{total} = \frac{NBT}{BT}$$

$$2) TR_{eucalipto} = \frac{NE}{BE}$$

$$3) TR_{madeira+casca} = \frac{NM + NC}{BM + BC}$$

$$4) TR_{madeira} = \frac{NM}{BM}$$

Onde:

NBT = quantidade de nutrientes na biomassa total acima do solo, em kg ha<sup>-1</sup>;

BT = biomassa total acima do solo, em Mg ha<sup>-1</sup>;

NE = quantidade de nutrientes no eucalipto, em kg ha<sup>-1</sup>;

BE = biomassa total do eucalipto, em Mg ha<sup>-1</sup>.

NM = quantidade de nutrientes no componente madeira, em kg ha<sup>-1</sup>;

NC = quantidade de nutrientes no componente casca, em kg ha<sup>-1</sup>;

BM = biomassa de madeira, em Mg ha<sup>-1</sup>;

BC = biomassa de casca, em Mg ha<sup>-1</sup>;

O coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes foi obtido pela razão entre a quantidade de biomassa e nutrientes, ambos com a mesma unidade.

### 4.3 Resultados e Discussão

#### 4.3.1 Atributos químicos do solo

Verificam-se, na Tabela 4.1, os atributos químicos do solo em diferentes profundidades na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul - RS. A caracterização química e física do solo foi realizada por meio da coleta de nove amostras em cada profundidade (0 – 25 cm; 25 – 50 cm; 50 – 75 cm e; 75 – 100 cm) durante a quantificação da biomassa arbórea, em junho de 2011.

Tabela 4.1 - Atributos químicos do solo na área experimental localizada no município de Eldorado do Sul, Rio Grande do Sul.

Prof. (cm)	MO (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	pH (CaCl <sub>2</sub> )	P mg dm <sup>-3</sup>	K mg dm <sup>-3</sup>	m (%)	V (%)
0 - 25	2,46	4,64	3,89	1,86	73,46	79,32	20,68
25 - 50	1,94	4,73	3,93	0,85	71,92	78,44	21,56
50 - 75	0,90	4,81	3,97	0,83	55,27	76,22	23,78
75 - 100	0,48	4,87	4,01	0,75	37,80	81,47	18,53
Prof. (cm)	CO %	N %	Al %	CTC <sub>eft.</sub> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Na cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
0 - 25	1,23	0,08	4,13	7,47	0,34	0,41	0,28
25 - 50	0,97	0,07	5,38	6,09	0,25	0,42	0,25
50 - 75	0,45	0,03	4,83	4,72	0,24	0,38	0,22
75 - 100	0,24	0,02	4,45	8,02	0,24	0,30	0,30

Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), o teor de matéria orgânica no solo é baixo ( $\leq 2,5\%$ ); o pH e o P disponível são muito baixos ( $\leq 5,0$ ;  $\leq 3,0$  mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente); o K trocável é de médio a alto (40 - 120 mg dm<sup>-3</sup>); o Ca e Mg trocáveis são baixos ( $\leq 2,0$  e  $\leq 0,5$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente); a saturação por Al é alta ( $> 20\%$ ) e a saturação por bases é muito baixa ( $< 45\%$ ). Com isso, de maneira geral, o solo da área experimental é de baixa fertilidade.

## 4.3.2 Balanço de nutrientes solo - planta

A distribuição dos nutrientes nos componentes da árvore (Figura 4.1) tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas, pois o manejo intensivo pode aumentar significativamente a produção de biomassa, aumentando também a exportação de nutrientes do sítio (BELLOTE; SILVA, 2004).

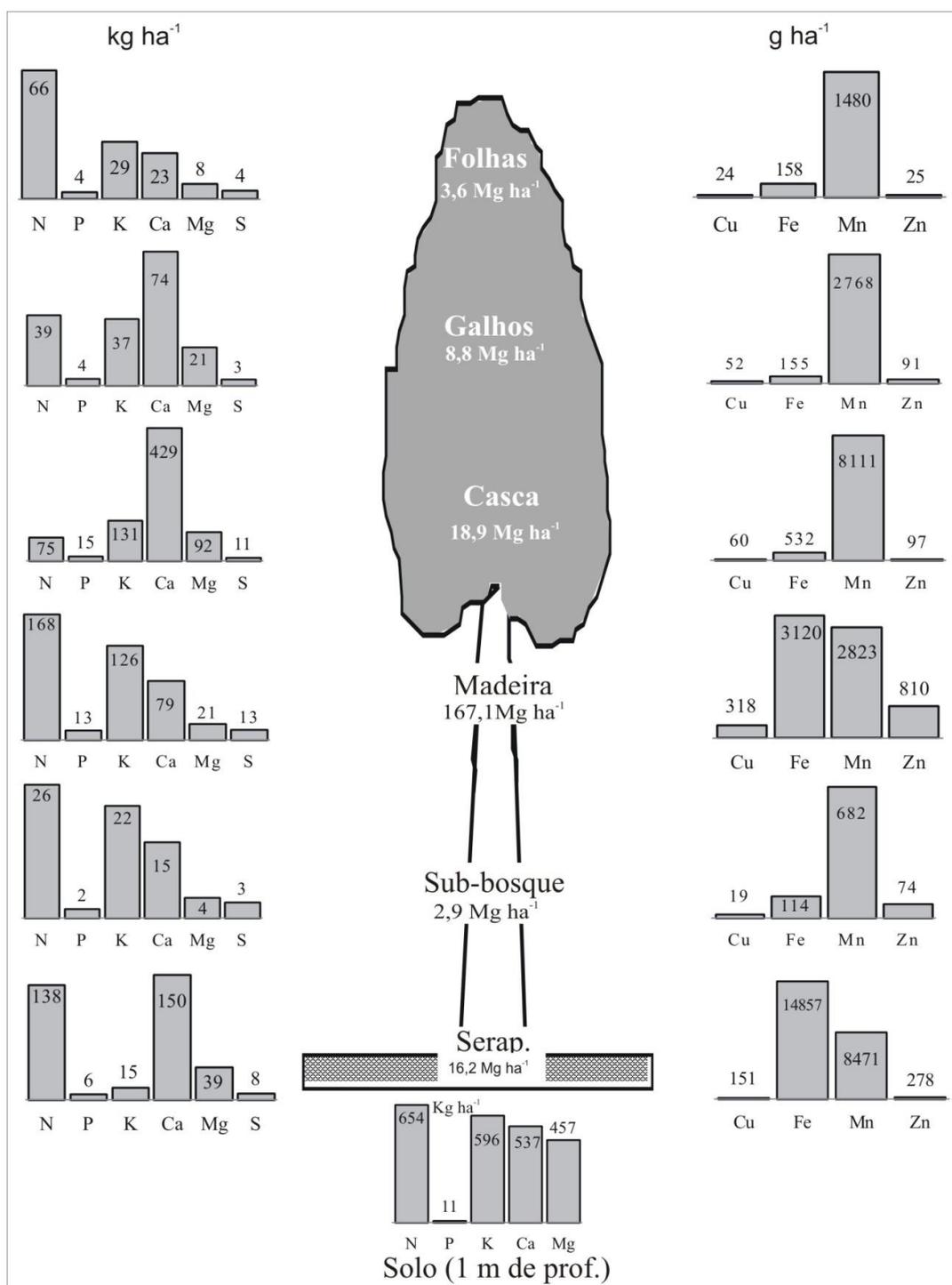


Figura 4.1 - Estoque de nutrientes disponíveis (P, K, Ca e Mg) e total (N) no solo e totais nos diferentes compartimentos da biomassa.

Observa-se que, mesmo a fração folhas apresentando a menor biomassa, ela contém elevado estoque de nutrientes, como, por exemplo, de nitrogênio ( $66 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Com base na distribuição da biomassa e dos nutrientes nos componentes das árvores, podem-se estabelecer quais os critérios que devem ser levados em consideração durante a colheita do povoamento florestal. Essas informações possibilitam o planejamento de técnicas silviculturais que podem ser aplicadas com vistas à manutenção da produtividade do sítio florestal para futuras rotações.

#### 4.3.3 Simulação de colheita

As diferenças na exportação de nutrientes em função da intensidade da colheita da biomassa em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* podem ser observadas na Figura 4.2. Considerando a colheita da árvore inteira (biomassa acima do solo), a remoção de nutrientes seria superior a 80% para o P e o K; superior a 70% para o Ca, Mg, S, Cu e Zn; superior a 60% para N e Mn; e superior a 20% para o Fe. Cabe ressaltar que a serapilheira acumulada apresenta contaminação com Fe (conforme relatado no item 2), mascarando as taxas de remoção.

A colheita madeira + casca, muitas vezes, é utilizada pela indústria, onde a madeira é a matéria-prima para a produção de celulose e papel e a casca é utilizada em caldeiras como fonte energética. Utilizando-se essa intensidade de colheita, a remoção de nutrientes chegaria a uma porcentagem de 71% do K; 66% do Ca e Zn; 63% do P; 61% do Mg; 57% do S; 47% do N; 45% do Mn e 19% do Fe.

Dessa forma, todos os nutrientes sofreriam remoção superior a 45% de sua quantidade acumulada na biomassa total acima do solo. Contudo, removendo apenas a madeira comercial e deixando a casca no sítio florestal, a porcentagem de remoção para os nutrientes, com exceção do Cu e Zn, seria inferior a 50%, chegando até 10% no caso do Ca, em relação ao total contido na biomassa.

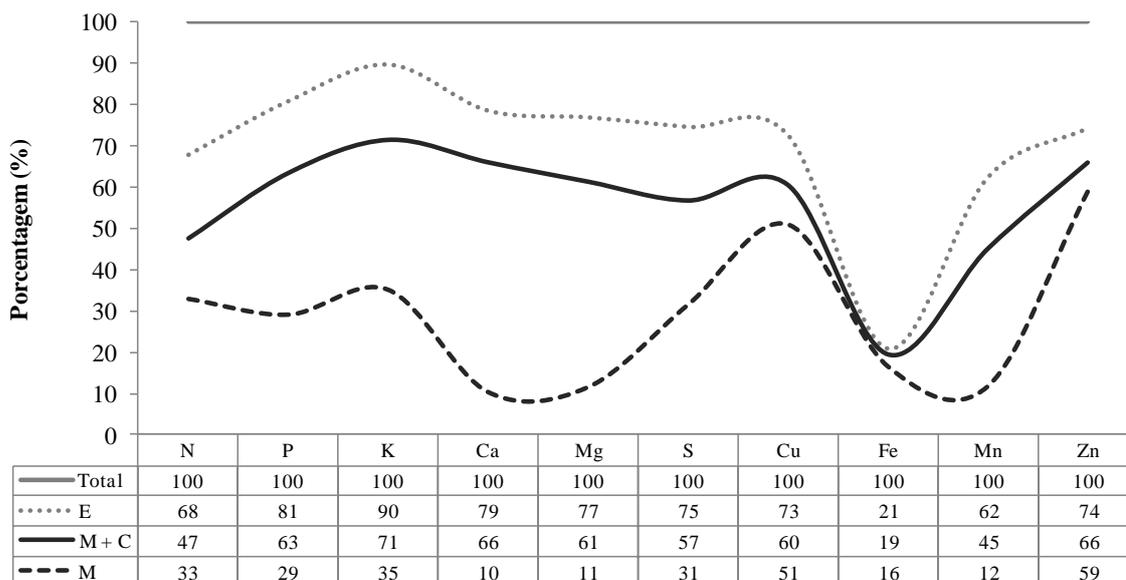


Figura 4.2 - Percentagens de remoção de nutrientes por meio de diferentes intensidades de colheita florestal. Onde: Total = quantidade de nutrientes estocados na biomassa acima do solo; E = quantidade de nutrientes estocados no eucalipto; M + C = quantidade de nutrientes estocados na biomassa de madeira e casca e; M = quantidade de nutrientes estocados na madeira.

Diversos estudos demonstram que a colheita da madeira com casca aumenta demasiadamente a remoção de nutrientes do sítio florestal, principalmente para o Ca (BELLOTE et al., 1980; POGGIANI et al., 1983; SILVA; POGGIANI; COELHO, 1983; PEREIRA et al., 1984; POGGIANI, 1985; SCHUMACHER; POGGIANI, 1993; SANTANA; BARROS; NEVES, 1999; SCHUMACHER; CALDEIRA, 2001; GUEDES, 2005; VIERA; SCHUMACHER; BONACINA, 2011), sendo necessário, nas rotações futuras, acrescentar grandes quantidades de fertilizante para manter a produtividade.

#### 4.3.4 Número potencial de rotações

Dependendo da intensidade da exploração de biomassa adotada, como visto anteriormente, será acentuada ou diminuída a exportação de nutrientes do sítio florestal. Nesse sentido, pode-se determinar, conforme o sistema de exploração aplicado, o número potencial de rotações (NPR) que certa área poderá suportar e continuar a proporcionar ao cultivo florestal. O número potencial de rotações (Tabela 4.2) é calculado com base no

conteúdo de nutrientes acumulados na planta e no conteúdo de nutrientes no solo, em formas trocáveis e em formas totais, considerando, normalmente, uma camada de solo com um metro de profundidade. Cabe lembrar, que nesse estudo não está sendo considerada a entrada de nutrientes via precipitação úmida e seca, além da disponibilização pela rocha matriz, fixação biológica e os nutrientes em formas totais no solo.

O número de rotações é uma ferramenta de manejo e indica uma transição para um nível de produtividade inferior (WITSCHORECK, 2008), pois, se considerarmos, por exemplo, um determinado nutriente que possibilite duas rotações sucessivas, com colheita da biomassa do tronco (madeira + casca), provavelmente, no terceiro ciclo produtivo, será verificada uma redução da produtividade, em decorrência da limitação por esse nutriente.

Tabela 4.2 - Estimativa do número potencial de rotações (NPR) com base no estoque de nutrientes na biomassa e disponíveis no solo (1m de profundidade) e na saída via colheita da biomassa.

Intensidade de colheita	N	P	K	Ca	Mg
$NPR_{total}$	1,3	0,2	1,7	0,7	2,5
$NPR_{eucalipto}$	2,4	0,5	2,0	1,2	3,5
$NPR_{madeira + casca}$	3,8	1,0	2,7	1,6	4,7
$NPR_{madeira}$	5,9	3,3	6,6	15,6	29,3

Segundo o autor, esse tipo de avaliação é considerado uma análise estanque, pois não leva em consideração possíveis reações por parte da espécie às restrições das condições nutricionais do meio, o que, geralmente, provoca redução do conteúdo de nutrientes na biomassa (menor exportação pela colheita), seja por redução do teor no tecido vegetal (aumento da eficiência nutricional), seja através da diminuição da produtividade.

O número potencial de rotações varia conforme o local de implantação do povoamento (condições nutricionais do solo), entre espécies (diferentes eficiências nutricionais) e entre nutrientes. Nesse caso, o fósforo e o cálcio poderão ser os principais nutrientes a tornarem-se limitantes na produtividade nas próximas rotações, pois as estimativas de rotações estão próximas a um, com a colheita da madeira com casca. Mas, adotando um sistema de manejo que possibilite a permanência da casca no sítio e a retirada apenas da madeira, o número potencial de rotações seria aumentado, principalmente, em consideração ao aumento da

disponibilidade de Ca.

Segundo Santana, Barros e Neves (2002), essa intensidade de colheita seria a mais adequada, pois a maioria dos solos cultivados com povoamentos de eucalipto apresenta baixos teores de Ca e, em alguns casos, mais de 60% do total desse elemento absorvido pela biomassa acima do solo é exportado pela retirada da casca do sítio através da colheita florestal. Nesse sentido, na utilização de uma prática de colheita com exploração da casca, o Ca será o nutriente com maior risco de limitação da produtividade, seguido pelo K, N e Mg. No entanto, em função da diferença de sensibilidade ao método de colheita por parte dos nutrientes, esse cenário pode ser alterado por meio da modificação da intensidade de colheita.

#### 4.3.5 Taxas de remoção de nutrientes

O cálculo da taxa de remoção de nutrientes pode ser considerado uma ferramenta importante para determinar a intensidade e a idade de colheita de um povoamento florestal. Dependendo da intensidade de exploração adotada, ocorrerá variação na taxa de remoção de nutrientes (Tabela 4.3). Quando realizada apenas a retirada da madeira, a redução será marcante, principalmente para o cálcio. A menor taxa de remoção de nutrientes pela colheita da madeira está relacionada aos baixos teores de nutrientes nesse componente e ao grande estoque de biomassa. Essa alteração no manejo florestal implica maior sustentabilidade do ecossistema (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999).

Tabela 4.3 - Taxa de remoção de macronutrientes (kg de nutrientes/Mg de biomassa) conforme intensidade de colheita da biomassa acima do solo.

Intensidade de colheita	N	P	K	Ca	Mg	S
TR <sub>total</sub>	2,35	0,20	1,65	3,54	0,85	0,20
TR <sub>eucalipto</sub>	1,75	0,18	1,62	3,05	0,72	0,16
TR <sub>madeira + casca</sub>	1,30	0,15	1,38	2,73	0,61	0,13
TR <sub>madeira</sub>	1,00	0,08	0,75	0,47	0,13	0,08

A colheita da biomassa de madeira com casca apresenta a seguinte magnitude de

remoção de nutrientes:  $Ca > K > N > Mg > P > S$ . Efetuando-se a colheita apenas da madeira, a taxa de remoção de nutrientes seria reduzida para todos os elementos, e a magnitude de remoção seria:  $N > K > Ca > Mg > P = S$ . A magnitude de remoção de nutrientes, tanto para madeira com casca quanto para sem casca, foi similar à verificada por Santana, Barros e Neves (1999), avaliando povoamentos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes sítios florestais.

#### 4.3.6 Coeficiente de utilização biológica

Para a produção de todos os componentes da biomassa, os elementos enxofre e fósforo são os macronutrientes mais eficientemente utilizados (Tabela 4.4). O coeficiente de utilização de macronutrientes da madeira decresceu na seguinte ordem:  $P > S > Mg > Ca > N > K$ . Essa ordem foi diferente da encontrada por Silva, Poggiani e Coelho (1983), para cinco espécies de eucaliptos (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus dunni* e *Eucalyptus robusta*), e por Santana, Barros e Neves (2002), em três procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, sendo que os autores, em ambos os trabalhos, observaram uma magnitude média de:  $P > Mg > K > N > Ca$ .

Tabela 4.4 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes dos diferentes componentes da biomassa de eucalipto.

Componente	Macronutrientes						Micronutrientes			
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Madeira	996	13285	1328	2123	7874	12411	524784	53555	59180	206372
Casca	254	1273	145	44	205	1752	317427	35600	2336	195476
Galhos	227	2270	240	119	416	2713	168639	56937	3196	96919
Folhas	55	973	124	154	456	811	148832	22861	2442	141941

A madeira apresenta os maiores valores do CUB, com exceção ao Fe, algo bastante desejável e de grande interesse para a silvicultura. Nas folhas estão os menores valores do CUB, com exceção do Ca e Mg que estão na casca, indicando a importância da manutenção

destes componentes no solo após a colheita. Em relação à eficiência de utilização de micronutrientes, o cobre é o nutriente mais eficientemente utilizado em todos os componentes da biomassa, seguido pelo Zn, Fe e Mn.

Segundo Santana, Barros e Neves (2002), a variação na eficiência de utilização de nutrientes pode estar vinculada às características de cada espécie; à não obtenção do equilíbrio nutricional ótimo ou crítico entre solo - planta e todos os demais nutrientes, podendo ocorrer limitação ou excesso de um ou mais nutrientes disponíveis; e às relações hídricas.

A alta eficiência apresentada por uma espécie na utilização de nutrientes implica que ela tenha menor exigência nutricional, sendo, portanto, um parâmetro de grande utilidade na seleção de espécies a serem utilizadas nos plantios, principalmente em solos de baixa fertilidade natural (SILVA; POGGIANI; COELHO, 1983). Dessa forma, a utilização de técnicas de manejo que optem por plantas mais eficientes em utilizar nutrientes é importante para manter a capacidade produtiva do sítio florestal (SANTANA; BARROS; NEVES, 2002).

Com isso, deve-se utilizar materiais genéticos que possuam eficiência compatível com a fertilidade do solo, pois, segundo Santana, Barros e Neves (1999), plantas pouco eficientes na absorção de um determinado nutriente deveriam ser implantadas em solos com boa disponibilidade desse nutriente ou recebê-lo via adubação. Ao contrário, se for introduzido um material genético altamente eficiente na absorção de um determinado nutriente em um solo com baixa disponibilidade desse elemento sem que receba adubação, ocorrerá diminuição acentuada na capacidade produtiva do sítio.

#### 4.3.7 Práticas silviculturais recomendadas

Além dos custos de reposição dos nutrientes exportados devido à colheita da madeira com casca, deve-se levar em consideração também as implicações ambientais causadas pela remoção de matéria orgânica. Dessa forma, é necessário que se adotem medidas para minimizar a exportação de nutrientes do sítio. Uma dessas medidas seria o emprego de genótipos eficientes em absorver e utilizar os nutrientes, o que reduzirá a remoção destes do solo, proporcionalmente à biomassa produzida, devendo esta se constituir em uma das grandes metas dos melhoristas da silvicultura (PAULA et al., 1997). O conteúdo de nutrientes nos diversos componentes da árvore é um indicador da eficiência de absorção dos nutrientes. Do ponto de vista do melhoramento florestal, a existência de variação genética significativa

quanto ao conteúdo de nutrientes é um indicativo da viabilidade da seleção de genótipos com alta eficiência de absorção, especialmente sob condições limitantes de fertilidade do solo. No entanto, o que interessa é a correspondência entre eficiência de absorção e produtividade, podendo resultar em genótipos altamente eficientes em absorver e utilizar os nutrientes.

No caso de não haver a correspondência entre alta eficiência de absorção e alta produtividade, a maior exportação de nutrientes estaria ocorrendo, proporcionalmente, por unidade de biomassa produzida, caracterizada por uma maior absorção de nutrientes sem um consequente aumento na biomassa (PAULA et al., 1997).

Outra forma de minimizar a exportação de nutrientes de um determinado local é determinar a idade de corte e o componente da árvore a ser explorado, conforme distribuição da biomassa e dos nutrientes nos diversos componentes da planta. A partir disso, pode-se optar por explorar todo o tronco ou, preferencialmente, apenas a madeira (REIS e BARROS, 1990). A seleção de espécies de rápido crescimento com baixa demanda por nutrientes e de intensidades de colheita onde os componentes da biomassa mais ricos em nutrientes sejam deixados no sítio florestal também pode minimizar problemas de exportação dos mesmos (POGGIANI, 1985).

Desta forma, 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 a decomposição desse material, consequentemente, diminuindo o uso de adubação para reposição nutricional do sítio florestal. Segundo Schumacher et al. (2008), a permanência dos resíduos sobre o solo quando da colheita das árvores é uma prática altamente recomendada para qualquer sistema, uma vez que propicia a permanência de parte significativa dos nutrientes extraídos durante o crescimento das árvores.

O manejo dos resíduos da colheita pode alterar muitas características químicas e físicas do solo, considerando as operações mecânicas envolvidas e o impacto sobre o conteúdo da matéria orgânica do solo (DEDECEK; BELLOTE; MENEGEL, 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. E, além do mais, quando distribuídos uniformemente sobre a superfície do sítio florestal, possibilita a redução da infestação de plantas invasoras (SCHUMACHER et al., 2003) e melhora a atividade biológica do solo (CHAER; TÓTOLA, 2007).

#### 4.4 Conclusões

Com a colheita da madeira com casca, todos os nutrientes sofreriam remoção superior a 45% de sua quantidade acumulada na biomassa total acima do solo. Entretanto, removendo apenas a madeira comercial, que apresenta o maior coeficiente de utilização de nutrientes, a porcentagem de remoção para os nutrientes, com exceção do Cu e do Zn, seria inferior a 50%, chegando a até 10% no caso do Ca, em relação ao total contido na biomassa.

O fósforo e o cálcio poderão ser os principais nutrientes a tornarem-se limitantes na produtividade nas próximas rotações, pois as estimativas de rotações estão próximas a um, quando considerada a colheita da madeira com casca.

A remoção de nutrientes do sítio via colheita florestal deve ser um componente levado em consideração por parte dos empreendedores florestais, durante o planejamento das atividades. Tal preocupação evita que haja diminuição de produtividade com futuras rotações e também contribui para o manejo sustentável, pois a exportação de nutrientes, principalmente do Ca, é elevada devido à colheita da madeira com casca.

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.

#### 4.5 Referências bibliográficas

BARROS, N. F. et al. Classificação nutricional de sítios florestais - descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 1, p. 112-120, 1986.

BELLOTE, A. F. J. et al. Extração e exportação de nutriente pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 1 – macronutrientes. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 27-45, jun. 1980.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds) **Forestry nutrition**

**and fertilization.** Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-140.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1381-1396, nov.-dez. 2007.

COBB, W. R. et al. Aboveground biomass and nitrogen in four short-rotation woody crop species growing with different water and nutrient availabilities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p.4 032–4039, June 2008.

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.

DRUMOND, M. A. et al. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e pastagem na região do médio Rio Doce-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 187-199, 1997.

FERREIRA, C. A. et al. Pesquisas sobre nutrição de pinus no Sul do Brasil. **Revista da madeira**, nº 83 – ano 14 – Agosto de 2004.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após a aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis*.** 2005. 154 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, 2005.

LATORRACA, S. M. et al. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, ago. 1984.

PAULA, R. C. et al. Exportação de nutrientes por famílias de meio – irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH. IN: IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of *Eucalyptus*. Proceedings... Colombo: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas Florestais. Salvador, v. 1, p. 200 -204, 1997.

PEREIRA, A. R. et al. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus saligna* na região de cerrado de Minas Gerais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 15, n. 1/2, p. 8-16, jan.-dez. 1984.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*. Implicações silviculturais.** 1985 210 f. Tese (Livre-Docente) – Escola

superior Luiz de Queiroz /USP, Piracicaba, 1985.

POGGIANI, F. et al. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n. 25, p. 37-39, dez. 1983.

POGGIANI, F. M.; STAPE, J. L.; GONÇALVES, J. L. M. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p. 33-44, abr. 1998.

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

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 155-169, dez. 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, jul.-ago. 2002.

SCHUMACHER, M. V. et al. Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Hovenia dulcis* thunb., plantado na Fepagro Florestas, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 1, p. 27-37, jan.-mar. 2008.

SCHUMACHER, M.V. et al. **Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades**. Santa Maria: Fatec, 2003. 112p. (Relatório técnico).

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., POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* f. Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 9-18, jan.-dez. 1993.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim**

**de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 6/7, p. 9-25, jun.-dez. 1983.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Biomassa em povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra e do milho em sistema agrossilvicultural. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p. 259-265, abr.-jun. 2011.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; BANACINA, D. M. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 371-379, maio-jun. 2011.

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.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quantidade de serapilheira e nutrientes aportados no povoamento de eucalipto demonstra a importância dessa via para a ciclagem de nutrientes e para a manutenção da produtividade no sítio florestal.

A serapilheira do *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* demonstrou taxa de decomposição similar à verificada para outros povoamentos com espécies do mesmo gênero. A disponibilização de nutrientes com a decomposição da serapilheira foliar é maior, inicialmente, para o potássio, ocorrendo imobilização de fósforo, manganês e zinco. Durante o segundo ano de decomposição da serapilheira foliar, o fósforo se torna disponível e, durante o terceiro ano, o manganês e o zinco também ficam disponíveis no solo.

Conhecendo-se o processo de ciclagem de nutrientes via deposição, acúmulo e decomposição da serapilheira, podem-se aplicar técnicas silviculturais para obtenção de produção sustentável, por meio de um suprimento adequado de nutrientes ao sistema solo-planta.

A biomassa acima do solo mostrou-se predominantemente alocada no fuste e também com os maiores estoques de nutrientes. Apresentando composições químicas distintas, sendo geralmente maiores nas folhas e casca e menores na biomassa de madeira e galhos.

A remoção dos resíduos (folhas, cascas, galhos, sub-bosque e serapilheira acumulada) durante a colheita florestal intensifica acentuadamente a exportação de nutrientes do sítio florestal. A manutenção desses resíduos possibilita a permanência de 90% do Ca e do Mg presentes na biomassa acima do solo, possibilitando uma redução acentuada da utilização de fertilizantes químicos necessários para suprir a quantidade necessária para o estabelecimento de um novo plantio no local.

Em termos de comparação, a quantidade de fertilizantes que deixa-se de aplicar pelo simples fato de retirar-se somente o componente madeira na colheita chega a 762,64 kg ha<sup>-1</sup> de uréia (45% de N), 153,08 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo (46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 466,30 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O).

A quantidade de biomassa e nutrientes encontrada no sub-bosque do plantio de eucalipto demonstra a importância da mensuração desse compartimento do ecossistema florestal. Além do mais, a presença de espécies nativas no interior do plantio de eucalipto (que foi implantado em área desprovida de vegetação arbórea) possibilita inferir que há presença

de espécies da fauna que transitam nesse ambiente dispersando sementes (principalmente da *Cupania vernalis*). Isso possibilita a formação de vegetação diversa e não apenas de indivíduos de eucalipto, aumentando, dessa forma, a diversidade do sítio.

A produção florestal sempre deve estar alicerçada em um manejo sustentável, preponderando os aspectos econômicos, ambientais e sociais. As questões nutricionais discutidas nesse estudo são bases importantes para estabelecer procedimentos estratégicos no setor produtivo florestal, tendo em consideração a manutenção da produtividade do sítio para sucessivas rotações.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo e nas perspectivas futuras, podem-se fazer as seguintes recomendações:

1 - Recomenda-se que a remoção da biomassa de eucalipto, por meio da colheita florestal, envolva somente o componente madeira, já que, incluindo os demais componentes, ocasionaria uma demasiada exportação de nutrientes;

2 - São indicadas práticas de adubação para contrabalançar, ao menos, os nutrientes retirados (perdidos) do sítio durante a exploração florestal, permitindo, assim, uma produção sustentável e contínua das futuras rotações florestais, naquele ambiente;

3 - São indicados estudos mais completos para avaliar os possíveis danos causados pela retirada dos resíduos, envolvendo processos de ciclagem de nutrientes, tais como: analisar cenários com retirada total, parcial ou permanência dos resíduos no sítio, em relação aos processos de disponibilização de nutrientes e produção de biomassa; monitorar as características químicas, físicas e biológicas do solo antes e após a realização da colheita, com base em diferentes intensidades de remoção da biomassa; realizar experimentos avaliando as consequências da remoção do resíduo na perda de solo e nutrientes, em consequência do processo de escoamento superficial;

4 – Além das características de produtividade, a escolha da espécie para o plantio deve levar em consideração maior eficiência da utilização de nutrientes e menor taxa de remoção de nutrientes por componente colhido.

## Apêndice

Apêndice A – Aspectos do coletor de serapilheira (A.1), subparcela de coleta de galhos grossos (diâmetro > 1,0 cm) (A.2 – Foto: Schumacher (2007)), distribuição dos *litterbags* (A.3 e 4 - Fotos: Schumacher (2007)), sub-bosque (A.5) e da quantificação da biomassa (A6).

