

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

Kristiana Fiorentin dos Santos

**BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES
MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* NO SUL DO BRASIL**

Santa Maria, RS
2018

Kristiana Fiorentin dos Santos

**BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS
GENÉTICOS DE *Eucalyptus* NO SUL DO BRASIL**

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

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

Santa Maria, RS
2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pela autora.

dos Santos, Kristiana Fiorentin
BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES
MATERIAIS GENÉTICOS DE Eucalyptus NO SUL DO BRASIL /
Kristiana Fiorentin dos Santos.- 2018.
132 p.; 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, 2018

1. Sítios Florestais 2. Nutrição Florestal 3. Clones de
Eucalyptus 4. Sustentabilidade 5. Silvicultura I.
Schumacher, Mauro Valdir II. Título.

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

©2018

Todos os direitos reservados a Kristiana Fiorentin dos Santos. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser realizada mediante citação da fonte.


E-mail: kristianaflorentin@gmail.com

Kristiana Fiorentin dos Santos

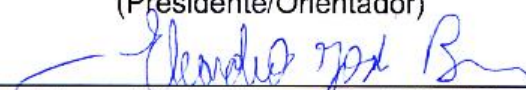
**BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS
GENÉTICOS DE *Eucalyptus* NO SUL DO BRASIL**

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


Aprovado em 23 de fevereiro de 2018:




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



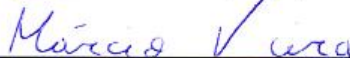
Eleandro José Brun, Dr. (UTFPR)



Francine Neves Calil, Dra. (UFG)



Ivanor Müller, Dr. (UFSM)



Márcio Viera, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e minhas irmãs, que dignamente me mostraram a importância da família e o caminho da honestidade e persistência.
Sem vocês, nenhuma conquista valeria a pena!

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e irmãs, que sempre me motivaram e me ampararam, além de entenderem minha ausência em muitos momentos;

Ao Prof. Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, pela oportunidade de orientação e pelos ensinamentos recebidos;

Aos estimados amigos Aline Aparecida Ludvichak, Cinthya Souza Santana e Tulio Baroso Queiroz pelo apoio, estímulo e paciência. Vocês foram minha família em Santa Maria;

Aos colegas e amigos de Laboratório de Ecologia Florestal, Bernardo Corso Frantz, Catarine Barcellos Consensa, Claudinei Garlet, Felipe Oselame Schiochet, Gian Carlos Poletto, Huan Pablo de Souza, Joel Carvalho dos Santos e Ticiéli Dagostini pela amizade, ajuda nas coletas de campo e processamento dos dados;

A empresa Celulose Riograndense, especialmente ao Eng. Florestal Elias Frank de Araújo, pela disponibilização da área de estudo, suporte técnico, logístico e financeiro durante os trabalhos de campo;

Ao técnico do Laboratório de Ecologia Florestal, Rudi Witschoreck, pela amizade, solicitude, e por todo suporte para realização das análises amostrais;

Aos professores Eleandro José Brun, Francine Neves Calil, Ivanor Müller e Márcio Viera pelas considerações e contribuições para a melhoria desta tese;

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal;

Aos Professores do Departamento de Ciências Florestais;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida;

E a todos que torceram por mim e me apoiaram na concretização desse grande sonho.

*“Ninguém pode prever o quanto
você pode voar, nem você
mesmo, até abrir as asas.”*

Rayanne Antonio

RESUMO

BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* NO SUL DO BRASIL

AUTORA: Kristiana Fiorentin dos Santos
ORIENTADOR: Mauro Valdir Schumacher

O estudo da produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus* é a base para o entendimento da dinâmica dos nutrientes em sítios florestais. O objetivo deste trabalho foi estimar a biomassa e o estoque de nutrientes de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* em duas regiões do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A pesquisa foi realizada em áreas experimentais situadas em São Gabriel (Horto Florestal Batovi) e Eldorado do Sul (Horto Florestal Terra Dura), em povoamentos com 43 e 49 meses de idade, respectivamente. Nos locais foram implantados os seguintes clones de *Eucalyptus*: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus* e *E. urograndis*. Em cada região, a amostragem da biomassa acima do solo foi realizada a partir de três árvores médias, para cada material genético. As árvores selecionadas foram fracionadas em folhas, galhos, casca do fuste e madeira do fuste. Posteriormente, coletou-se uma amostra representativa de cada fração para análise dos macro e micronutrientes. O coeficiente de utilização biológica foi calculado através da razão entre biomassa e a quantidade de nutrientes de cada componente da biomassa. A estimativa da exportação de nutrientes pela biomassa foi calculada para três cenários. Para São Gabriel, a biomassa variou de 33,68 a 84,00 Mg ha⁻¹, destacando-se o *E. urolobulus* com a maior produção e o *E. dunnii* com a menor. A copa das árvores acumulou entre 47 a 65 % do total de macronutrientes e de 46 a 67 % do total de micronutrientes (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*), enquanto o fuste acumulou de 35 a 53 % do total de macronutrientes e de 33 a 54 % do total de micronutrientes. Para a madeira do fuste, o *E. saligna* destacou-se com a melhor eficiência de utilização para N, P, K, S e Mn, e o *E. urolobulus* para Mg, B e Zn. A maior quantidade de nutrientes exportados com a colheita da biomassa, para o primeiro e segundo cenário (colheita da madeira do fuste e colheita da madeira do fuste com casca), ocorreu no *E. urolobulus* (N, K e S), *E. urograndis* (P, Mg e Cu) e *E. saligna* (Fe, Zn e B). Para o terceiro cenário (fuste e copa), a maior exportação de nutrientes ocorreu no *E. urograndis*, exceto para o S, onde a maior remoção ocorreu no *E. urolobulus*. Para Eldorado do Sul, a produção de biomassa variou entre 68,40 a 117,52 Mg ha⁻¹, destacando-se o *E. dunnii* e *E. urolobulus*, com menor e maior produção de biomassa total. A copa das árvores acumulou entre 17 a 52 % do total de macronutrientes (*E. benthamii* (P1) e *E. urolobulus*) e de 24 a 34 % do total de micronutrientes (*E. dunnii* e *E. urolobulus*). Enquanto o fuste acumulou entre 48 a 83 % e 66 a 76 % do total de macro e micronutrientes, respectivamente. Para a madeira do fuste, observou-se que o *E. benthamii* (P2) apresentou os maiores valores de eficiência nutricional para N, Ca, Cu e Fe, e o *E. globulus* para P, Mg e B. Em relação a estimativa de exportação de nutrientes, no primeiro cenário (colheita da madeira do fuste) a maior quantidade de nutrientes exportados com a colheita da biomassa ocorreu no *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e *E. urograndis* (Ca, B, Cu e Zn). No segundo cenário (colheita da madeira do fuste com casca), a maior quantidade de nutrientes removidos ocorreu no *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e *E. benthamii* (P2) (P, Ca, B e Mn). E no terceiro cenário

(fuste e copa) a maior exportação de nutrientes ocorreu para o *E. benthamii* (P1) (P, Ca, B, Mn e Zn), *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e *E. grandis* (Mg e Cu). Em ambas as regiões, foram constatadas variações nas concentrações e quantidades de nutrientes entre os materiais genéticos e nos seus diferentes componentes. No geral os maiores valores do coeficiente de utilização biológica foram observados na madeira e os menores nas folhas. Embora o sítio de São Gabriel apresente maior fertilidade, ocorreu menor produção de biomassa nesta área, circunstância que pode estar atribuída às características físicas do solo menos favoráveis. Em Eldorado do Sul, onde a fertilidade do solo é menor, algumas espécies destacaram-se quanto a eficiência da utilização de nutrientes, quando comparado a São Gabriel. Independente do sítio e do material genético, a colheita apenas da madeira do fuste apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema.

Palavras-chaves: Sítios Florestais. Nutrição Florestal. Clones de *Eucalyptus*. Sustentabilidade. Silvicultura.

ABSTRACT

BIOMASS AND NUTRIENTS IN DIFFERENT GENETIC MATERIALS OF *Eucalyptus* IN THE SOUTH OF BRAZIL

AUTHOR: Kristiana Fiorentin dos Santos

ADVISER: Mauro Valdir Schumacher

The study of biomass production and nutrient accumulation in *Eucalyptus* stands as the basis for understanding nutrient dynamics in forest sites. The objective of this work was to estimate the biomass and nutrient stock of different genetic materials of *Eucalyptus* in two regions of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The research was conducted in experimental areas located in São Gabriel and Eldorado do Sul, in 43- and 49-month-old stands, respectively. In the sites, the following *Eucalyptus* clones were implanted: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus*, and *E. urograndis*. In each region, above-ground biomass sampling was performed from three medium trees, for each genetic material. The selected trees were fractionated into leaves, branches, stembark, and stemwood. Subsequently, a representative sample of each fraction was collected for analysis of the macro- and micronutrients. The coefficient of biological utilization was calculated by the ratio between the biomass and the amount of nutrients in each biomass component. The estimated biomass export of nutrients was calculated for three scenarios. In São Gabriel, the biomass ranged from 33.68 to 84.00 Mg ha⁻¹, with *E. urolobulus* having the highest production and *E. dunnii* the lowest. The tree canopy accumulated between 47 % and 65 % of the total macronutrients and 46 % to 67 % of the total micronutrients (*E. benthamii* (P2) and *E. urograndis*), while the stem accounted for 35 % to 53 % of the total macronutrients and 33 % to 54 % of the total micronutrients. For the stemwood, *E. saligna* was found to have the best efficiency of use for N, P, K, S, and Mn, and *E. urolobulus* for Mg, B, and Zn. The highest amounts of nutrients exported with biomass harvesting, for the first and second scenario (stemwood harvesting and stemwood with bark harvesting), occurred in *E. urolobulus* (N, K and S), *E. urograndis* (P, Mg and Cu) and *E. saligna* (Fe, Zn and B). For the third scenario (stem and canopy), the highest nutrient exportation occurred in *E. urograndis*, except for S, where the highest removal occurred in *E. urolobulus*. In Eldorado do Sul, biomass production ranged from 68.40 to 117.52 Mg ha⁻¹, with the highest levels in *E. dunnii* and *E. urolobulus*, with lower and higher total biomass production. The tree canopy accumulated between 17 % and 52 % of the total macronutrients (*E. benthamii* (P1) and *E. urolobulus*) and from 24 % to 34 % of the total micronutrients (*E. dunnii* and *E. urolobulus*). While the stem accumulated between 48 % to 83 % and 66 % to 76 % of the total macro and micronutrients, respectively. For the stemwood, it was observed that *E. benthamii* (P2) presented the highest values of nutritional efficiency for N, Ca, Cu, and Fe, and *E. globulus* for P, Mg, and B. In relation to the estimation of nutrient exports, in the first scenario (stemwood harvesting) the highest amounts of nutrients exported with the biomass harvest occurred in *E. urolobulus* (N, K, S, and Fe) and *E. urograndis* (Ca, B, Cu, and Zn). For the second scenario (stemwood with bark harvesting), the highest amounts of nutrients removed occurred in *E. urolobulus* (N, K, S, and Fe) and *E. benthamii* (P2) (P, Ca, B, and Mn). Additionally, in the third scenario (stem and tree canopy) the highest nutrient exportation occurred for *E. benthamii* (P1) (P, Ca, B, Mn and Zn), *E. urolobulus* (N, K, S, and Fe) and *E. grandis*

(Mg and Cu). In both regions, variations in concentrations and amounts of nutrients between the genetic materials and their different components were observed. In general, the highest coefficient of biological utilization values were found in the wood, and the lowest in the leaves. Although the site of São Gabriel showed a higher fertility, there was less biomass production in this area; this could be attributed to less favorable soil physical characteristics. In Eldorado do Sul, where soil fertility is lower, the nutrient utilization efficiencies of some species stand out compared to that of species in São Gabriel. Regardless of the site and genetic material, harvesting only the wood of the trunk showed the least removal of nutrients from the system.

Keywords: Forest Sites. Forest Nutrition. Clones of *Eucalyptus*. Sustainability. Silviculture.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

2. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM SÃO GABRIEL, RS, BRASIL

Figura 2.1 - Localização do município de São Gabriel, RS.....	46
Figura 2.2 - Diagrama climático do município de São Gabriel, RS durante o período de estudo.....	47
Figura 2.3 - Aspecto de um Luvissole Háplico Órtico típico.....	49
Figura 2.4 - Distribuição relativa de macronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....	62
Figura 2.5 - Distribuição relativa de micronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....	63
Figura 2.6 - Eficiência de utilização de macronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....	67
Figura 2.7 - Eficiência de utilização de micronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....	68
Figura 2.8 - Estimativa da exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....	72

3. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM ELTORADO DO SUL, RS, BRASIL

Figura 3.1 - Localização do município de Eldorado do Sul, RS.....	81
Figura 3.2 - Diagrama climático do município de Eldorado do Sul, RS durante o período de estudo.....	81
Figura 3.3 - Aspecto de um Argissolo Vermelho-Amarelo.....	82
Figura 3.4 - Distribuição relativa da quantidade de macronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	95
Figura 3.5 - Distribuição relativa da quantidade de micronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	96
Figura 3.6 - Eficiência de utilização de macronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	100
Figura 3.7 - Eficiência de utilização de micronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	101
Figura 3.8 - Estimativa da exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> aos 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	105

4. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM SÃO GABRIEL E ELDORADO DO SUL, RS, BRASIL

Figura 4.1 - Distribuição relativa de macronutrientes da biomassa da copa e do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	117
Figura 4.2 - Distribuição relativa de micronutrientes da biomassa da copa e do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	118
Figura 4.3 - Eficiência de utilização de macronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	120
Figura 4.4 - Eficiência de utilização de micronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	121
Figura 4.5 - Estimativa da exportação de nutrientes em função em função da colheita da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	123
Figura 4.6 - Estimativa da exportação de nutrientes em função em função da colheita da madeira do fuste com casca de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	124

LISTA DE TABELAS

1. ASPECTOS GERAIS

- Tabela 1.1 - Distribuição de biomassa nos componentes das árvores em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de diferentes idades.....35
- Tabela 1.2 - Estoque de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de diferentes idades.....36

2. BIOMASSA E ESTOQUE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM SÃO GABRIEL, RS, BRASIL

- Tabela 2.1 - Atributos físicos e químicos do solo da área implantada com diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 43 meses de idade, em São Gabriel, RS.....48
- Tabela 2.2 - Modelos hipsométricos selecionados para ajustes da estimativa da altura total dos materiais genéticos de *Eucalyptus*.....50
- Tabela 2.3 - Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da altura total dos diferentes materiais genéticos, aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....51
- Tabela 2.4 - Caracterização dendrométrica de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* aos 43 meses de idade estabelecidos em São Gabriel, RS.....52
- Tabela 2.5 - Descrição dos procedimentos analíticos utilizados na determinação dos nutrientes em amostras de tecido vegetal.....53
- Tabela 2.6 - Produção e partição de biomassa para os componentes dos diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....55
- Tabela 2.7 - Concentração de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....58
- Tabela 2.8 - Quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses, de idade estabelecidos em São Gabriel, RS.....61
- Tabela 2.9 - Eficiência de utilização de nutrientes dos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....65
- Tabela 2.10 - Estimativa de exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS.....70

3. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM EL DORADO DO SUL, RS, BRASIL

- Tabela 3.1 - Atributos físicos e químicos do solo da área implantada com diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 49 meses, em Eldorado do Sul, RS.....83
- Tabela 3.2 - Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da altura total dos diferentes materiais genéticos, aos 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....85

Tabela 3.3 - Caracterização dendrométrica de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , aos 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	85
Tabela 3.4 - Produção e partição de biomassa para os componentes dos diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	88
Tabela 3.5 - Concentração de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	91
Tabela 3.6 - Quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS	93
Tabela 3.7 - Eficiência de utilização de nutrientes dos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	98
Tabela 3.8 - Estimativa de exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.....	103

4. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM SÃO GABRIEL E ELDORADO DO SUL, RS, BRASIL

Tabela 4.1 - Características gerais da área experimental de São Gabriel e Eldorado do Sul, RS.....	113
Tabela 4.2 - Caracterização dendrométrica de diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	114
Tabela 4.3 - Produção e partição de biomassa para os componentes dos diferentes materiais genéticos de <i>Eucalyptus</i> , em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS.....	116

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Batovi em São Gabriel, RS.....	129
APÊNDICE B - Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Batovi em São Gabriel, RS.....	130
APÊNDICE C - Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Terra Dura em Eldorado do Sul, RS.....	131
APÊNDICE D - Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Terra Dura em Eldorado do Sul, RS.....	132

SUMÁRIO

1. ASPECTOS GERAIS	25
1.1 INTRODUÇÃO	25
1.2 OBJETIVOS.....	26
1.2.1 Objetivo geral	26
1.2.2 Objetivos específicos	26
1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
1.3.1 <i>Eucalyptus</i>	27
1.3.1.1 <i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden & Cabbage	27
1.3.1.2 <i>Eucalyptus saligna</i> Smith	28
1.3.1.3 <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden.....	29
1.3.1.4 <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus globulus</i> (<i>E. uroglobulus</i>)	30
1.3.1.5 <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i> (<i>E. urograndis</i>)	31
1.3.2 Biomassa	32
1.3.3 Ciclagem de nutrientes	36
1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
2. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE <i>Eucalyptus</i> EM SÃO GABRIEL, RS, BRASIL	43
2.1 INTRODUÇÃO	44
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	46
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
2.3.1 Biomassa acima do solo	54
2.3.2 Nutrientes na biomassa	57
2.3.2.1 Concentração de nutrientes	57
2.3.2.2 Quantidade de nutrientes	60
2.3.2.3 Eficiência de utilização de nutrientes.....	64
2.3.2.4 Exportação de nutrientes pela colheita da biomassa.....	69
2.4 CONCLUSÕES	73
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
3. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE <i>Eucalyptus</i> EM ELDORADO DO SUL, RS, BRASIL	77
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	80
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
3.3.1 Biomassa acima do solo	87
3.3.2 Nutrientes na biomassa	90
3.3.2.1 Concentração de nutrientes	90
3.3.2.2 Quantidade de nutrientes	92

3.3.2.3 Eficiência de utilização de nutrientes	97
3.3.2.4 Exportação de nutrientes pela colheita da biomassa	102
3.4 CONCLUSÕES	106
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
4. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM SEIS MATERIAIS GENÉTICOS DE <i>Eucalyptus</i> EM DIFERENTES SÍTIOS FLORESTAIS DO RIO GRANDE DO SUL	111
4.1 INTRODUÇÃO	112
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS	113
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	113
4.3.1 Caracterização das variáveis dendrométricas	113
4.3.2 Biomassa	115
4.3.3 Quantidade de nutrientes	116
4.3.4 Eficiência na utilização de nutrientes	119
4.3.5 Exportação de nutrientes pela colheita da biomassa	122
4.4 CONCLUSÕES	125
4.5 RECOMENDAÇÕES	126
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
APÊNDICES.....	129

1. ASPECTOS GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO

A silvicultura do eucalipto tem se expandido no Brasil e no mundo, principalmente devido à crescente demanda por madeira e seus derivados, e pelo elevado potencial da espécie para produção de biomassa. No Brasil, os povoamentos do gênero *Eucalyptus* ocupam uma área de 5,6 milhões de hectares, principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul (IBÁ, 2016).

As plantações de eucalipto cumprem múltiplas funções em paisagens de diferentes ecossistemas brasileiros (GONÇALVES et al., 2013). No entanto, o rápido crescimento das florestas plantadas no País impõe elevada demanda sobre os recursos do solo, em especial água e nutrientes, circunstância que levanta questões sobre a capacidade de suporte e da sustentabilidade desses sistemas quando intensivamente utilizados (BELLOTE; DEDECK, SILVA 2008).

Nesta perspectiva, o estudo da produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantações de eucaliptos configura-se como base para o entendimento da dinâmica nutricional em sítios florestais (VIERA et al., 2015). Sendo indispensável para a definição do manejo mais adequado, principalmente no que diz respeito a práticas que visam à manutenção da produtividade, tais como: definição da idade e intensidade de colheita, manejo dos resíduos florestais, adubação de reposição, preparo do solo, entre outros (WITSCHOREK, 2008).

Para definir práticas de manejo, tanto em povoamentos florestais, como florestas naturais, o estudo da biomassa e dos nutrientes removidos com a colheita florestal, apresenta-se como um fator essencial, em favor do uso sustentável desses sistemas. Considerando que a quantidade de nutrientes exportada de um povoamento pela colheita florestal é determinada pelas proporções entre os componentes da biomassa e intensidade da colheita utilizada. Nesse contexto, a manutenção da produtividade florestal dependerá da proporção entre os nutrientes exportados e dos que permanecem no sistema, na forma orgânica e mineral (VIERA et al., 2015). Para isso, prolongar o ciclo de colheita e adotar um regime de colheita somente da madeira do fuste são métodos importantes para reduzir a exportação de nutrientes (WANG et al., 2016).

A quantificação da biomassa e da exportação de nutrientes em povoamentos florestais é de fundamental importância para que se conheça a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do povoamento, podendo-se assim encontrar indicadores de possíveis impactos que algumas técnicas silviculturais poderão causar (LONDERO et al., 2011). Logo, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, particularmente naquilo que diz respeito às características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal.

Não obstante, para a aquisição de povoamentos florestais mais produtivos é importante considerar, além do desenvolvimento de técnicas silviculturais, os aspectos genéticos das espécies, em razão do crescimento das árvores ser o resultado das ações e interações de seus genótipos com o ambiente (MARTINS et al., 2005). Rosado et al., (2009) afirmam que a seleção de genótipos superiores é fundamental para implantação de povoamentos mais produtivos e adaptados a diferentes regiões. Portanto, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos constitui um requerimento essencial para as empresas com vista à adoção de técnicas de conservação e de reposição de nutrientes ao ecossistema (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a biomassa e o estoque de nutrientes de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* em duas regiões do Rio Grande do Sul.

1.2.2 Objetivos específicos

- Quantificar a biomassa acima do solo para os diferentes materiais genéticos nos seguintes componentes: folhas, galhos, casca e madeira do fuste;
- Avaliar a concentração e o estoque de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos componentes das árvores para os diferentes materiais genéticos;

- Determinar o coeficiente de utilização biológica para os diferentes materiais genéticos;
- Simular a remoção de nutrientes em função de diferentes intensidades de colheita da biomassa.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.3.1 *Eucalyptus*

Dentre as inúmeras espécies arbóreas existentes, as do gênero *Eucalyptus*, devido às características de rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação as mais diferentes condições de clima e solo e por ter aplicação para diferentes finalidades tem sido uma das árvores mais plantadas no mundo (MORA e GARCIA, 2000).

De ocorrência natural da Austrália, o *Eucalyptus* possui cerca de 600 espécies adaptadas a diversas condições de solo e clima. Dessa grande variedade de espécies, apenas o *E. urophylla* e o *E. deglupta* não são originárias da Austrália (MORA e GARCIA, 2000).

A maior parte das plantações de *Eucalyptus*, segundo Gonçalves et al. (2013), são geridas em curtas rotações (6-8 anos). O incremento médio anual é de aproximadamente 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira em tora, variando entre 25 e 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo do nível de estresse ambiental.

O sucesso de empreendimentos florestais com *Eucalyptus*, de acordo com Paludzyszyn Filho; Santos e Ferreira (2006), depende de adequadas técnicas silviculturais, do grau de melhoramento das sementes, da apropriada adaptação dos clones e, principalmente, das condições climáticas na qual a espécie se desenvolve naturalmente.

1.3.1.1 *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage

O *E. benthamii* é encontrado em áreas limitadas a oeste da cidade de Sydney em planícies ao longo do rio Nepean e seus tributários. A espécie tem ocorrência

natural em solos férteis das partes planas de deposição de rios, em uma área de 100 km de comprimento por 40 km de largura, com latitude aproximada de 34 °S e altitudes inferiores a 100 m, onde a temperatura média máxima é 26 °C e a temperatura média mínima é 4 °C, com ocorrência de geadas leves. Neste local, a precipitação anual é de 1.100 mm com picos moderados no verão e outono (HIGA e PEREIRA, 2003).

Por ser uma espécie considerada em extinção em seu local de origem, a aquisição de material genético suficiente para o desenvolvimento de um programa de melhoramento genético é dificultada. Em virtude disso, uma das primeiras populações genética base de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage, no Brasil foi plantada em 1988, em Colombo-PR, pela Embrapa Florestas. Este povoamento conta com material genético de dez matrizes da procedência Wentworth Falls, NSW, (Austrália) e tem mostrado alta resistência à geada, rápido crescimento, boa forma de fuste e alta homogeneidade do talhão (GRAÇA et al., 1999).

O *E. benthamii* é indicado para regiões onde não são frequentes períodos sem chuvas por mais de cinco meses. O desenvolvimento da espécie é adequado em locais sob condições de temperatura média anual entre 13 °C e 17 °C, sendo indicada para plantios em regiões com temperaturas mínimas absolutas de até -10 °C (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS e FERREIRA 2006), apresentando-se como uma das poucas alternativas para plantios em regiões de ocorrência de geadas no Sul do Brasil (GRAÇA et al., 1999; HIGA e PEREIRA, 2003).

No geral, o *E. benthamii* apresenta boas características energéticas da madeira, dessa forma, esta espécie de eucalipto também pode ser indicada como matéria prima para a produção de energia (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS e FERREIRA 2006; SILVA et al., 2012), sendo uma boa alternativa para produção de carvão vegetal para a Região Sul do Brasil (LIMA et al., 2012).

1.3.1.2 *Eucalyptus saligna* Smith

Trata-se de uma espécie muito próxima ao *E. grandis* nos aspectos botânicos, ecológicos e silviculturais. Em seu ambiente natural ocorre em forma descontínua de 21° a 36° de latitude sul. Na região sul, vive desde o nível do mar até sítios com mais de 1.000 m de altitude (MORA e GARCIA, 2000).

Em relação ao clima, na área de ocorrência natural, a região com predominância de chuvas no verão é caracterizada por precipitações entre 800 a

1.200 mm. As secas não são rigorosas, com no máximo quatro meses. A temperatura do mês mais quente está entre 28 - 30°C e do mês mais frio entre 3 - 4 °C, sendo que o número de geadas varia entre 5 a 15 (FAO, 1981).

O *E. saligna* Smith é considerado uma das espécies mais versáteis e indicada para usos múltiplos, de plasticidade, adaptando-se a solos hidromórficos e/ou arenosos e diferentes altitudes. Apta para regiões onde não ocorrem geadas e situações de déficits hídricos severos, tolerante ao fogo baixo com alta capacidade de regeneração por brotação (ALZATE, 2004). Quanto ao uso, a espécie fornece madeira clara de baixa densidade apta para celulose e numerosas outras finalidades (MORA e GARCIA, 2000).

1.3.1.3 *Eucalyptus dunnii* Maiden

O *E. dunnii* Maiden ocorre naturalmente em duas áreas distanciadas aproximadamente de 140 km entre o Sudeste de Queensland (QLD) e o Noroeste de New South Wales (NSW), na Austrália (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005). Em seu ambiente natural, a espécie desenvolve-se sob temperatura média anual entre 14 °C e 18 °C (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005), ocorrendo em solos profundos e bem drenados (BARROS e NOVAIS, 1990). No entanto, resultados de pesquisas em vários países mostram que temperaturas médias anuais com a mínima de 12 °C até o limite máximo de 22 °C são ideais para o crescimento da espécie (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005).

O *E. dunnii* é a espécie com maior número de indicações favoráveis para crescimento sob clima temperado, ocupando o primeiro lugar no Brasil em áreas com predominância deste tipo de clima (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS; FERREIRA, 2006). Porém, sob geadas fortes, fora da época normal de ocorrência, a mortalidade de *E. dunnii* pode atingir 50 % em plantios comerciais (PALUDZYSZYN FILHO e SANTOS, 2005).

Vale ressaltar que o *E. dunnii* é uma das espécies de mais rápido crescimento na Austrália, já no Brasil e no Sul da África apresenta notável crescimento em altura e volume em plantações de regiões com chuvas de verão (FAO, 1981). Segundo Paludzyszyn Filho e Santos (2005), em locais de clima tendendo a tropical, o *E. dunnii* pode apresentar, nos três primeiros anos, um crescimento semelhante ao do *E.*

grandis e *E. saligna*, apresentando um potencial de produção de mais de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira para múltiplos usos (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006).

1.3.1.4 *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* (*E. uroglobulus*)

A hibridação resulta em ganhos genéticos máximos em relação à produtividade, qualidade e resistência da madeira a fatores bióticos e abióticos (GONÇALVES et al., 2013). Nesse sentido, a sintetização de híbridos do gênero *Eucalyptus*, tem assumido destacada importância nos programas de melhoramento genético. A possibilidade de associação de características diferenciadas em espécies importantes, bem como a manifestação de heterose verificada nos cruzamentos entre vários pares de espécies tem levado os melhoristas de *Eucalyptus* a buscar na hibridação um meio mais rápido de promover o melhoramento de características florestais desejadas (MILAGRES, 2009).

Uma espécie de *Eucalyptus* comumente utilizada em cruzamentos de hibridação é o *Eucalyptus urophylla* S.T Blake. A espécie é nativa de algumas ilhas orientais do arquipélago de Sonda: Timor, Flores, Adonara, Lomblem, Pantar, Alor e Wetar, situadas ao norte da Austrália. Em Timor tem sua maior distribuição altitudinal, ocorrendo em colinas e montanhas entre 550 e 2.940 m, com clima que varia desde tropical subúmido a montano úmido (MORA e GARCIA, 2000). O *E. urophylla* apresenta potencial de utilização para os mais diversos fins (celulose e papel, chapas duras, serraria, carvão e outros), além da tolerância ao fungo causador do cancro no eucalipto (SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2003).

O *E. globulus* Maidenii é uma das primeiras espécies de árvores a serem introduzidas da Austrália para outros países, tornando-se um dos tipos de eucaliptos mais plantados no planeta (SKOLMEN e LEDIG, 1990). Esta espécie tem sido plantada em diferentes tipos de solos, tendo bom crescimento em solos arenosos, xistosos e outros, desde que úmidos e bem drenados (MARQUES et al., 2012).

O *E. globulus* possui interesse no mercado de celulose e papel devido ao menor teor de lignina que apresenta em comparação as espécies tradicionalmente usadas no Brasil, bem como as características que o papel resultante apresenta, tais como: maior resistência à tração, ao rasgo e ao estouro (ROSA, 2003), sendo uma das melhores espécies para produzir papel (FAO, 1981). Também é utilizado como

combustível, para construção leve e pesada, para postes e dormentes (FAO, 1981), e possui uma grande utilização popular para fins medicinais e comerciais (ROCHA e SANTOS, 2007). Porém, a grande dificuldade encontrada é a adaptação desta espécie as condições climáticas do Brasil, sendo somente a região sul o local onde melhor se adaptou. Em virtude de ser uma espécie típica de climas temperados, pouco resistente a geadas fortes e contínuas, ao déficit hídrico e as baixas temperaturas inverniais (MILAGRES, 2009).

1.3.1.5 *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (*E. urograndis*)

O *E. grandis* Hill ex Maiden forma com o *E. urophylla* S.T. Blake uma das melhores combinações híbridas que, sob manejo adequado da densidade da população, assegura produtividade de matéria prima para múltiplos usos (PALUDZYSZIN FILHO e FERREIRA, 2006). Este cruzamento mostrou-se altamente adaptado à indústria de celulose e papel, no que diz respeito à densidade básica, química da madeira e processamento da madeira em polpa, apresentando altos rendimentos e alta qualidade na polpa produzida (MILAGRES, 2009).

Dentre as espécies de eucaliptos cultivadas no Brasil, o *Eucalyptus urophylla* além de ser uma das mais plantadas é a espécie que tem o maior potencial de crescimento em área em função de sua boa produtividade. No entanto, o interesse pelo *E. urophylla* surgiu no Brasil após a comprovação de sua alta resistência ao cancro do eucalipto, sendo um bom substituto para o *E. grandis* nas localidades onde esta espécie é susceptível ao cancro (MORA e GARCIA, 2000). Em virtude disso, o *E. urophylla* tem sido amplamente hibridizado com *E. grandis*, com o objetivo de obter materiais tolerantes a secas e resistentes ao cancro do eucalipto (GONÇALVES et al., 2013).

O *E. grandis* é a espécie de eucalipto mais utilizada em áreas tropicais e de transição para subtropicais no Brasil e em dezenas de outros países, na forma pura ou em cruzamentos. A espécie destaca-se pelo rápido crescimento, desde que sob condições ambientais adequadas, proporcionando um insuperável incremento volumétrico, boa forma de fuste, boa desrama natural, pequena quantidade de casca, elevado porcentual de cerne e madeira apropriada para múltiplos usos (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS e FERREIRA, 2006).

1.3.2 Biomassa

A biomassa representa a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Já o termo biomassa florestal é a biomassa existente na floresta ou apenas na fração arbórea da mesma (SANQUETTA, 2002).

Os fatores ambientais afetam a produção de matéria seca por meio de suas influências sobre as trocas gasosas de CO₂ e sobre o balanço de carbono. Há um aumento do rendimento da produção de matéria seca sob boas condições de radiação (alta intensidade, dias longos) e, do mesmo modo que a fotossíntese, a produção de matéria seca responde à temperatura (LARCHER, 2004). O saldo no balanço de carbono promove o crescimento vegetal, mas a prioridade de alocação de fotoassimilados é condicionada pelo padrão da espécie, idade e condições de desenvolvimento (WITSCHORECK, 2008).

Em diferentes espécies, é possível encontrar alta variação na alocação de biomassa. Desta forma, Schumacher et al. (2011), avaliando um povoamento de *Araucaria angustifolia* aos 27 anos de idade, em Quedas do Iguaçu, PR, encontraram a seguinte distribuição de biomassa: madeira do tronco 51,5 %, casca do tronco 14,7%, raiz 13,0 %, galhos vivos 11,8 %, galhos mortos 0,5 % e grimpas 8,6 %. Para a mesma espécie, aos 23 anos de idade, no município de General Carneiro, PR, Caldeira et al. (2015) estimaram a seguinte sequência de acúmulo de biomassa: madeira do tronco 49,5 %, casca 25,2 %, galhos vivos 15,0 %, galhos mortos 1,4 % e grimpas 8,9 %.

Já para *Pinus*, em Cambará do Sul, RS, Schumacher et al. (2013) obtiveram os seguintes valores em um plantio de *P. taeda* aos 27 anos de idade: 69,1 % de madeira do tronco, 17,1 % de galhos vivos, 6,7 % de casca do tronco, 3,8 % de galhos secos e 3,4 % de acículas. Para a mesma espécie e cidade, aos nove anos de idade, Londero et al. (2011) observaram a seguinte sequência do acúmulo de biomassa: 62,8% de madeira, 10,3 % de galhos vivos, 8,9 % de casca, 10,1 % de acículas vivas, 6,1 % de galhos mortos, 3,5 % de ponteira com casca e 0,5 % de acículas mortas.

Já para *Acacia mearnsii*, em Arroio dos Ratos, RS, aos 4 anos de idade, Caldeira et al. (2011), obtiveram a seguinte distribuição de biomassa: 64 % na madeira do tronco, 11 % nas raízes, 10 % na casca, 7 % nos galhos vivos, 5% nos galhos mortos e 3 % nas folhas. No caso de florestas naturais, Vogel et al. (2013), avaliando uma Floresta Estacional Decidual secundária, no município de Itaara-RS, observaram

que os galhos corresponderam a 48,8 % da biomassa acima do solo, seguidos da madeira do fuste com 43,4 %, da casca do fuste com 5,4 % e das folhas com 2,4 %.

No primeiro ano de vida, de acordo com Larcher (2004), a massa de folhas pode representar a metade do total de biomassa da planta. No entanto, com o aumento do porte, altera-se a proporção entre a massa de folhas e a massa do caule, pois a partir desse período a folhagem cresce pouco e os ramos tornam-se cada vez mais pesados. A massa da folhagem em uma árvore já formada representa de 1 % a 5 % da matéria seca total, no entanto, essa mesma folhagem deve fornecer material para a manutenção e crescimento de todas as outras partes da planta.

Cabe ressaltar que a biomassa relativa de cada componente varia conforme a classe diamétrica, ou seja, indivíduos com diâmetros inferiores apresentam maior proporção de biomassa de copa em relação à de fuste, diminuindo com o aumento do diâmetro a altura do peito (VIERA et al., 2013). Para exemplificar, Laclau, Bouillet e Ranger (2000), estudando um híbrido de *Eucalyptus* observaram que a proporção de biomassa nas diferentes partes das árvores variou consideravelmente durante os primeiros anos, mantendo-se relativamente estável a partir dos quatro anos de idade do povoamento. Esta mudança foi caracterizada por um aumento considerável na proporção de madeira, de 35 % para 80 % da biomassa aérea total, do 1º para o 4º ano de idade. Simultaneamente, a proporção de biomassa foliar e galhos diminuíram do 1º para o 4º ano.

A densidade de plantas e a intensidade de desbaste influenciam diretamente a biomassa e o carbono estocados (CALDEIRA et al., 2015). Em trabalho de Leite et al. (1997), avaliando o efeito da densidade sobre o crescimento de *E. grandis*, evidenciaram que o aumento da densidade de plantas afetou a alocação de carbono no povoamento, com maior proporção de fotoassimilados alocados no tronco em populações mais densas e na copa nas menos densas.

Outro estudo realizado por Caron et al. (2015), evidenciaram que o aumento da densidade de plantio apresentou relação direta com a produção de biomassa por unidade de área nos diferentes anos de avaliação, ou seja, os espaçamentos mais adensados proporcionaram maiores quantidades de biomassa que os espaçamentos menos adensados. Por outro lado, Leles et al. (2001), avaliando a alocação de biomassa em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, observaram que, para ambas as espécies, a produção de matéria seca variou

com a espécie e com o espaçamento, decrescendo à medida que o espaçamento entre as plantas se tornou mais fechado, fato que indicou maior competição entre as árvores no campo.

Em experimento, Muños et al. (2008) avaliando o efeito da poda e desbaste sobre a biomassa acima do solo de *E. nitens* aos 6 anos de idade, observaram que o desbaste aumentou a produção média de biomassa do tronco, copa e biomassa total das árvores individuais. No entanto, a poda não apresentou efeito sobre biomassa acima do solo, sugerindo que a poda tardia não afetaria o crescimento da árvore individual.

A capacidade produtiva dos sítios também reflete na produção média de biomassa. Para exemplificar, Santana, Barros e Neves (1999) avaliando a produção de biomassa de procedências de *E. grandis* e de *E. saligna*, aos 78 meses de idade, em cinco sítios localizados no Estado de São Paulo observaram que o conjunto de características climáticas, físicas e químicas dos solos, influenciam o suprimento e a retenção de umidade no solo, favorecendo o transporte e absorção de água e nutrientes. Sendo o efeito do local mais importante para a produção do que o efeito do material genético. Em virtude disso, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, particularmente naquilo que diz respeito às características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal (SANTANA et al., 2008).

Na Tabela 1.1, encontram-se alguns resultados de trabalhos com eucalipto, onde é possível verificar que, dependendo da idade e do espaçamento, os povoamentos apresentam diferentes condições no que diz respeito à distribuição de biomassa.

Tabela 1.1 - Distribuição de biomassa nos componentes das árvores em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de diferentes idades

Material genético	Idade (Anos)	Número de árvores ha ⁻¹	Folhas Galhos Casca Madeira Raiz					Total
			(Mg ha ⁻¹)					
<i>E. urograndis</i> ¹	1,5	1.481	3,9 (21,3)*	6,3 (34,2)	1,4 (7,4)	6,8 (37,0)	-	18,4
<i>E. saligna</i> ²	1,1	1.143	10,0 (26,8)	7,2 (19,1)	3,4 (9,1)	16,8 (45,1)	-	37,3
	3,6		6,6 (3,5)	13,4 (7,1)	19,1 (10,0)	150,9 (79,4)	-	190,0
	5,5		4,2 (2,0)	6,3 (2,9)	23,9 (11,0)	183,2 (84,2)	-	217,6
	6,7		3,2 (1,3)	6,0 (2,4)	29,2 (11,9)	211,1 (84,6)	-	249,3
<i>E. dunnii</i> ³	4	1.428	5,3 (4,0)	13,4 (11,0)	9,1 (8,0)	76,7 (63,0)	17,4 (14,0)	121,9
<i>E. globulus</i> ⁴	4	1.667	10,5 (13,0)	8,0 (10,0)	7,1 (9,0)	57,5 (68,0)	-	83,1
<i>E. camaldulensis</i> ⁵	4,3	123	5,4 (11,0)	10,0 (20,3)	1,8 (3,7)	15,5 (31,6)	16,3 (33,3)	49,0
		417	4,3 (7,1)	11,5 (19,2)	2,8 (4,6)	29,3 (48,9)	12,1 (20,2)	60,0
		556	5,2 (7,1)	9,8 (13,4)	4,3 (5,9)	34,8 (47,6)	19,0 (26,0)	73,1
		667	4,2 (5,8)	17,1 (23,7)	3,5 (4,8)	30,8 (42,8)	16,5 (22,9)	72,1
		833	4,3 (6,0)	5,4 (7,5)	4,4 (6,1)	36,8 (51,2)	21,0 (29,2)	71,9
		1.111	3,8 (5,4)	10,0 (14,3)	5,5 (7,9)	38,5 (55,2)	12 (17,2)	69,8
		1.667	5,3 (5,8)	6,0 (6,6)	5,0 (5,5)	52,0 (57,3)	22,6 (24,8)	90,9
<i>E. grandis</i> ⁶	9	2.222	3,9 (5,9)	3,7 (5,5)	4,6 (6,9)	43,1 (64,6)	11,4 (17,1)	66,7
		3.333	3,6 (4,8)	2,6 (3,5)	4,7 (6,3)	44,6 (59,8)	19,1 (25,6)	74,6
		1.436	2,3 (1,7)	8,4 (5,9)	11,2 (7,8)	120,5 (84,6)	-	142,4
<i>E. uroglobulus</i> ⁷	10	1.024	3,6 (1,8)	8,8 (4,5)	18,9 (9,5)	167,1 (84,2)	-	198,4

* Valores entre parênteses referem-se à biomassa relativa.

Fontes: (1) Viera et al. (2012); (2) Salvador et al. (2016); (3) Guimarães et al. (2015); (4) Schumacher e Caldeira (2001); (5) Leles et al. (2001); (6) Freitas et al. (2004); (7) Viera et al. (2013).

Cabe ressaltar que tanto a deficiência hídrica como a nutrição mineral insuficiente ou uma provisão desbalanceada provocam uma diminuição no rendimento da produção (LARCHER, 2004). Nesse sentido, Silva et al. (2004) observaram uma redução de cerca de 46 % da média total da biomassa em plantas jovens de eucalipto cultivadas quando a água fornecida para os vasos foi de apenas 50 % do uso de água da planta. Do mesmo modo, Hunter (2001), avaliando a biomassa acima do solo de *E. camaldulensis* e *E. grandis* no Sul da Índia, em diferentes níveis de irrigação e fertilização, observou que a irrigação e fertilização aumentaram significativamente o peso da madeira e o peso da casca.

1.3.3 Ciclagem de nutrientes

As árvores necessitam de uma grande variedade de elementos químicos, os quais são provenientes dos minerais ou do processo de mineralização das substâncias orgânicas (LARCHER, 2004). A quantidade de nutrientes nas árvores varia em função da espécie e genótipo, idade, sítio, época do ano e da parte da planta analisada (PALLARDY, 2008). Na Tabela 1.2 é possível observar o estoque total de nutrientes da biomassa acima do solo de estudos realizados em povoamentos de *Eucalyptus* sp. de diferentes idades.

Tabela 1.2 - Estoque de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de diferentes idades

Material genético	Idade (Anos)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Nutrientes (kg ha ⁻¹)										
			N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>E. urograndis</i> ¹	1,5	18,5	152,5	12,7	115,2	169,8	28,3	8,5	0,3	0,1	0,5	16,7	0,2
<i>E. dunni</i> ²	4	121,9	236,5	19,6	222,7	336,0	126,8	43,4	0,9	0,3	2,2	28,5	0,6
<i>E. globulus</i> ³	4	83,2	235,6	18,0	230,0	506,1	67,2	-	-	-	-	-	-
<i>E. saligna</i> ⁴	4	88,8	191,0	26,5	194,4	204,8	62,8	14,4	0,7	0,2	1,3	36,0	0,2
<i>E. urograndis</i> ⁵	7	301,2	625,5	49,0	691,9	648,2	190,3	80,0	1,4	1,1	60,7	35,1	2,7
<i>E. grandis</i> ⁶	9	142,0	213,7	47,3	209,8	737,7	74,1	-	-	-	-	-	-
<i>E. urograndis</i> ⁷	9	127,8	292,6	28,0	364,1	385,6	75,2	37,5	0,8	0,3	4,3	15,9	0,8
<i>E. uroglobulus</i> ⁸	10	198,5	347,0	35,1	322,3	605,3	142,8	32,0	-	0,5	4,0	15,2	1,0

Biomassa de folhas, galhos, casca do fuste e madeira do fuste.

Fontes: (1) Viera et al. (2012); (2) Guimarães et al. (2015); (3) Schumacher e Caldeira (2001); (4) Beulch (2013); (5) Salvador (2015); (6) Freitas et al. (2004); (7) Ludvichak (2016); (8) Viera et al. (2013).

A quantidade de nutrientes absorvidos pelas árvores depende da capacidade do solo em fornecer o nutriente e transportá-lo até a superfície das raízes. Sob condições normais, a absorção será maior em solos mais férteis do que nos menos férteis (REIS e BARROS, 1990). Em trabalho de Turner e Lambert (2008), avaliando *E. grandis* e *E. pilularis*, observaram que o acúmulo de nutrientes aumenta conforme a idade da árvore.

De acordo com Viera et al. (2015), os teores de nutrientes na planta refletem o estado nutricional da mesma, assim como, a fertilidade do solo. Em solos com baixos teores de nutrientes em formas disponíveis e totais, a exportação de elevadas quantidades de nutrientes pela colheita florestal ao longo das rotações pode levar a redução da capacidade produtiva do sítio. Nesse sentido, a distribuição dos nutrientes nos componentes 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 (VIERA et al., 2013).

Apesar da madeira ser o componente de maior proporção da biomassa acima do solo em povoamentos florestais, a concentração de nutrientes é maior nas folhas. Isto se deve ao fato destes compartimentos serem diretamente relacionadas a produção de carboidratos e reprodução da planta (SOUZA, 2015). A tendência que a maioria dos nutrientes tem de se concentrar nas estruturas mais novas da planta é devido 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 (VIERA et al., 2013). Paralelamente, em componentes que têm função mais estrutural ou de condução, como é o caso da madeira do tronco e dos galhos, os teores são bem inferiores (WITSCHOREK, 2008).

Segundo Poggiani e Schumacher (2004), nas florestas os nutrientes podem reciclar por diversos caminhos entre os demais componentes, por exemplo: entre a parte aérea das árvores e a manta florestal, através da decomposição de folhas, ramos, frutos etc. Por sua vez, devido aos processos de decomposição e lixiviação da serapilheira, os nutrientes podem ser carregados para o solo e novamente absorvidos pelo sistema radicular das árvores.

1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE, S. B. A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 2004. 151 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 31-41, jan./jun. 2008.

BEULCH, L. S. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith submetido ao primeiro desbaste**. 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Biomassa de povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild., Rio Grande do Sul, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 133-141, jun. 2011.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p.1027-1034, out./dez. 2015.

CARON, B. O. et al. Quantificação da Biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 1, p. 106-112, jan./mar. 2015.

FAO. **El eucalipto en la repoblacion forestal**. Roma, 1981. 723 p. (Colección FAO: Montes, n. 11).

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

GONÇALVES, J. L. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, ago. 2013.

GRAÇA, M. E. C. et al. Capacidade de rebrota de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, jul./dez. 1999.

GUIMARÃES, C. C. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 873-882, 2015.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p.

HUNTER, I. Above ground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertiliser, at 3 years of age, in southern India. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 144, n. 1-3, p. 189-200, apr. 2001.

IBÁ, **Indústria Brasileira de árvores**: ano base 2016/IBÁ. Brasília/DF, 2016. 100 p.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 181-196, apr. 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531p.

LEITE F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, 1997.

LELES, P.S.S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia forestalis**, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

LIMA, E. A.; SILVA, H. D; TUSSOLINI, E. L. **Potencial do *Eucalyptus benthamii* para produção de carvão em fornos convencionais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 4p.

LONDERO, E. K. et al. Exportação e reposição nutricional no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em área de segunda rotação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 487-497, 2011.

LUDVICHAK, A. A. **Biomassa e nutrientes do híbrido *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em plantios monoespecíficos e mistos**. 2016. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MARQUES, H. et al. **Regiões de Proveniências**: Portugal. Ed. Autoridade Florestal Nacional, 2012. Disponível em <<http://www.icnf.pt/portal/florestas/gf/ps/resource/docs/reg-prov/regioes-proveniencia>>. Acesso em 15 de novembro de 2015.

MARTINS, I. S. et al. Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênies de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 16-24, jan./mar. 2005.

MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose utilizando espectroscopia NIR**. 2009. 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

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

MOURA, V. P. G.; GUIMARÃES, D.P. **Produção de mudas de *Eucalyptus* para o estabelecimento de plantios florestais**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos, 2003. 9p.

MUÑOS, F. et al. The effect of pruning and thinning on above ground aerial biomass of *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 365-373, 2008.

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

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Considerações sobre o plantio de *Eucalyptus dunnii* no estado do Paraná**. Colombo: Embrapa, 2005. (Comunicado Técnico, n. 141).

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P.E.T.; FERREIRA, C.A. **Eucaliptos indicados para plantio no estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 45 p. (Comunicado Técnico, n. 129).

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

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. 265-302.

ROCHA, M. E. N.; SANTOS, C. L. O uso comercial e popular do *Eucalyptus globulus* Labill - Myrtaceae. **Saúde & ambiente em revista**, Duque de Caxias, v. 2, n. 2, p. 23-43, jul./dez. 2007.

ROSADO, A. M. et al. Ganhos genéticos preditos por diferentes métodos de seleção em progênies de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1653-1659, dez. 2009.

ROSA, C. A. B. **Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose kraft**. 2003. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Santa Maria, 2003.

SALVADOR, S. **Quantificação da biomassa e nutrientes em plantios de *Eucalyptus urograndis* em solos distintos**. 2015. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

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

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], 2002, p. 119-140.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Biomass and nutrient content of provenances of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* on different sites of São Paulo State. **Scientia forestalis**, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

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

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Potencial de melhoramento genético em *Eucalyptus urophylla* procedente da Ilha Flores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 23-32, dez. 2003.

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, 2001.

SCHUMACHER, M.V. et al. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em quedas do Iguaçu, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 53-62, jan./mar. 2011.

SCHUMACHER, M. V. et al. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332, abr./jun. 2013.

SILVA, F.C. et al. Responses to water stress in two *Eucalyptus globulus* clones differing in drought tolerance. **Tree Physiology**, v. 24, n. 10, p.1165-1172, 2004.

SILVA, D. A. et al. Caracterização Energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba/PR. IV Congresso Florestal Paranaense, 2012.

SKOLMEN, R. G.; LEDIG, F. T. 1990. *Eucalyptus globulus* Labill: Bluegum eucalyptus. In: BURNS, R. M.; HONKALA, B. H., Technical coordinators. *Silvics of North America*: v. 2, Hardwoods. Agriculture Handbook 654. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 299-304.

SOUZA, H. P. **Caracterização nutricional do *Eucalyptus benthamii* maiden & cabbage em área de produção de sementes**. 53 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

TURNER, J.; LAMBERT, M. J. Nutrient cycling in age sequences of two *Eucalyptus* plantation species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 5-6, 5, p.1701-1712, abr. 2008.

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

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e exportação de nutrientes pela colheita do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015, p. 245-272.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Biomassa e macronutrientes de uma Floresta Estacional Decidual em Itaara RS, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 99-105, jan./fev. 2013.

WANG, H. et al. Nutrient exports under different harvesting regimes in two types of larch plantation with different age in Northeastern China. **Journal of Energy and Natural Resources**, v. 5, n. 6, p. 67-77, 2016.

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. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

2. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM SÃO GABRIEL, RS, BRASIL

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estimar a biomassa, o estoque e a eficiência de utilização de nutrientes, além de simular a exportação de nutrientes em diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*. O experimento foi conduzido em São Gabriel, RS, Brasil, em povoamentos com 43 meses de idade. No local foram implantados os seguintes clones de *Eucalyptus*: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus* e *E. urograndis*. A amostragem da biomassa acima do solo foi realizada a partir de três árvores médias, para cada material genético. As árvores selecionadas foram fracionadas em folhas, galhos, casca do fuste e madeira do fuste. Posteriormente, coletou-se uma amostra de cada fração para análise dos macro e micronutrientes. O coeficiente de utilização biológica foi calculado através da razão entre a biomassa e a quantidade de nutrientes de cada componente da biomassa. A estimativa de exportação de nutrientes pela biomassa foi calculada para três cenários. A quantidade de biomassa total variou de 33,68 a 84,00 Mg ha⁻¹, destacando-se o *E. urolobulus* com a maior produção e o *E. dunnii* com a menor. No geral, a magnitude de concentração dos macronutrientes apresentou a seguinte tendência de distribuição: folhas > casca do fuste > galhos > madeira do fuste. Para os micronutrientes ocorreu a mesma sequência de distribuição, exceto para o *E. saligna*, *E. dunnii* e *E. urograndis*, os quais apresentaram maior concentração de nutrientes nos galhos do que na casca do fuste. A copa das árvores acumulou entre 47 a 65% do total de macronutrientes e de 46 a 67 % do total de micronutrientes (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*), enquanto o fuste acumulou de 35 a 53 % e de 33 a 54 % do total de macronutrientes e micronutrientes, respectivamente. Para a madeira do fuste, o *E. saligna* destacou-se com a melhor eficiência de utilização para N, P, K, S e Mn, e o *E. urolobulus* para Mg, B e Zn. A maior quantidade de nutrientes exportados com a colheita da biomassa, para o primeiro e segundo cenário (colheita da madeira do fuste e colheita da madeira do fuste com casca), ocorreu no *E. urolobulus* (N, K e S), *E. urograndis* (P, Mg e Cu) e *E. saligna* (Fe, Zn e B). Para o terceiro cenário (fuste e copa), a maior exportação de nutrientes ocorreu no *E. urograndis*, exceto para o S, onde a maior remoção ocorreu no *E. urolobulus*. A diferenciação entre os materiais genéticos ocorreu quanto à produção de biomassa. Foi constatada variação na concentração e na alocação da quantidade de nutrientes nos diferentes materiais genéticos, e nos diferentes componentes de um mesmo material genético. No geral, a madeira do fuste foi o componente que apresentou a maior eficiência na utilização de nutrientes, já as folhas apresentaram a menor eficiência. A colheita apenas da madeira do fuste apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema, independente do material genético.

Palavras-chave: Clones de *Eucalyptus*. Nutrição florestal. Silvicultura.

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the biomass, nutrient stocks, and nutrient utilization efficiency, as well as to simulate the export of nutrients, in different genetic materials of *Eucalyptus*. The experiment was conducted in São Gabriel, RS, Brazil, in 43-month-old stands. At the site, the following *Eucalyptus* clones were implanted: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus*, and *E. urograndis*. Above-ground biomass sampling was performed from three medium trees, for each genetic material. The selected trees were fractionated into leaves, branches, stembark and stemwood. Subsequently, a sample of each fraction was collected for the analysis of macro- and micronutrients. The coefficient of biological utilization was calculated by the ratio between the biomass and the amount of nutrients of each component of the biomass. An estimate of nutrient exports by biomass was calculated for three scenarios. The amount of total biomass ranged from 33.68 to 84.00 Mg ha⁻¹, with the highest production being *E. urolobulus*, and *E. dunnii* the lowest. In general, the macronutrient concentration showed the following distribution tendency: leaves > stembark > branches > stemwood. For the micronutrients, the same distribution sequence was observed, except for *E. saligna*, *E. dunnii*, and *E. urograndis*, which presented higher concentrations of nutrients in the branches than in the stembark. The tree canopy accumulated between 47 % and 65 % of the total macronutrients and 46% to 67 % of the total micronutrients (*E. benthamii* (P2) and *E. urograndis*), while the stem accumulated from 35 % to 53 % and from 33 % to 54 % of the total macronutrients and micronutrients, respectively. For the stemwood, *E. saligna* was found to have the best efficiency of use for N, P, K, S, and Mn, and *E. urolobulus* for Mg, B, and Zn. The highest amount of nutrients exported with biomass harvesting, for the first and second scenario (harvesting the stemwood and harvesting the stemwood with stembark), occurred in *E. urolobulus* (N, K, and S), *E. urograndis* (P, Mg, and Cu) and *E. saligna* (Fe, Zn, and B). For the third scenario (stem and canopy), the highest nutrient exportation occurred in *E. urograndis*, except for S, where the highest removal occurred in *E. urolobulus*. The differentiation between genetic materials occurred in the production of biomass. Variations in concentration, in the allocation of the amount of nutrients in the different genetic materials, and in the different components of the same genetic material were observed. In general, the stem was the component that presented the greatest efficiency in the use of nutrients, since the leaves showed the lowest efficiency. The harvesting of only the stemwood resulted in the removal of the least nutrients from the system, independent of the genetic material.

Keywords: Clonal *Eucalyptus*. Forestry nutrition. Silviculture.

2.1 INTRODUÇÃO

O setor brasileiro de florestas plantadas tornou-se, nos últimos anos, um dos mais importantes no cenário mundial. Com uma área de plantio de 7,8 milhões de hectares, é responsável por 91 % de toda a madeira produzida para fins industriais no País, estando entre os principais produtores de celulose, papel e painéis de madeira

do mundo, com destaque para o gênero *Eucalyptus* que ocupa 71,8 % da área de plantio (IBÁ, 2016).

A vasta gama de espécies de *Eucalyptus* adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas e a possibilidade de uso da madeira de eucalipto para uma variedade de propósitos estimulou o estabelecimento de plantios por grandes e pequenas empresas (GONÇALVES et al., 2013), motivo pelo qual, um dos principais benefícios dos povoamentos de eucaliptos é oferecer alternativa para o suprimento de madeira, diminuindo a pressão sobre as florestas nativas. Pois, mesmo que estas pudessem ser utilizadas de forma sustentável, não seriam suficientes para atender à crescente demanda por madeira (VIERA et al., 2012).

A produção florestal segundo Santana et al. (2008), é determinada pela quantidade de radiação solar interceptada pela copa e pela eficiência de conversão da radiação em biomassa. Conforme Viera et al. (2015), a biomassa apresenta-se como um elemento de extrema importância na manutenção do equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos, e um eficiente meio de avaliação da conversão de energia e ciclagem de nutrientes dentro do povoamento.

Do ponto de vista de produtividade é importante saber como e de que forma as plantas se desenvolvem, acumulando biomassa e nutrientes na madeira (BELLOTE; DEDECEK; ICERI, 2009). A distribuição dos nutrientes nos componentes das árvores, segundo Viera et al. (2013), possui grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas. Contudo, o manejo intensivo das plantações de eucaliptos pode aumentar a produção de biomassa, mas também a remoção de nutrientes. Desta forma, o conhecimento da distribuição da biomassa e dos nutrientes nos diferentes componentes da árvore pode subsidiar inúmeras práticas que visam à manutenção da produtividade, tais como: definição da idade e intensidade de colheita, manejo dos resíduos florestais, adubação de reposição, preparo de solo, entre outras (SCHUMACHER et al., 2013).

O sucesso contínuo das futuras plantações, de acordo com Gonçalves et al. (2013), dependerá da capacidade dos gestores florestais de obterem alta produtividade de madeira de qualidade de forma ambientalmente correta. Ou seja, o emprego de técnicas de manejo que conservem ao máximo os resíduos das culturas no sítio, que realizem o mínimo possível de intervenções antrópicas e cujo ciclo de crescimento seja longo o suficiente para permitir a máxima eficiência da ciclagem de

nutrientes (SANTANA, BARROS e NEVES, 2002). Neste contexto, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes genótipos é essencial para a adoção de técnicas de conservação e de reposição de nutrientes ao ecossistema (SANTANA; BARROS; NEVES, 1999).

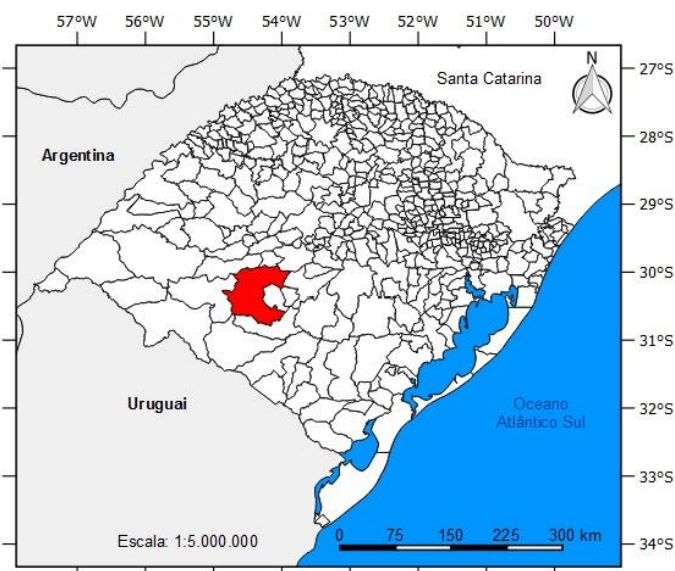
Diante disso, estudos sobre a produção de biomassa e estoque de nutrientes de diferentes espécies/procedências, implantadas em uma mesma condição edafoclimática, é fundamental para a seleção de materiais genéticos com maior produtividade conforme sua finalidade. Assim, o objetivo deste trabalho foi estimar a biomassa, o estoque e a eficiência de utilização de nutrientes, além de simular a exportação de nutrientes de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do sítio

O experimento foi conduzido na Região da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul, no município de São Gabriel (Figura 2.1), no Horto Florestal Batovi, pertencente à Empresa Celulose Riograndense – CMPC. A área está localizada sob as coordenadas geográficas de 30° 26' 51,68" de latitude Sul e 54° 32' 25,89" de longitude Oeste, à mais de 300 km do Oceano Atlântico Sul. A altitude do local é de aproximadamente 154 m.

Figura 2.1 - Localização do município de São Gabriel, RS

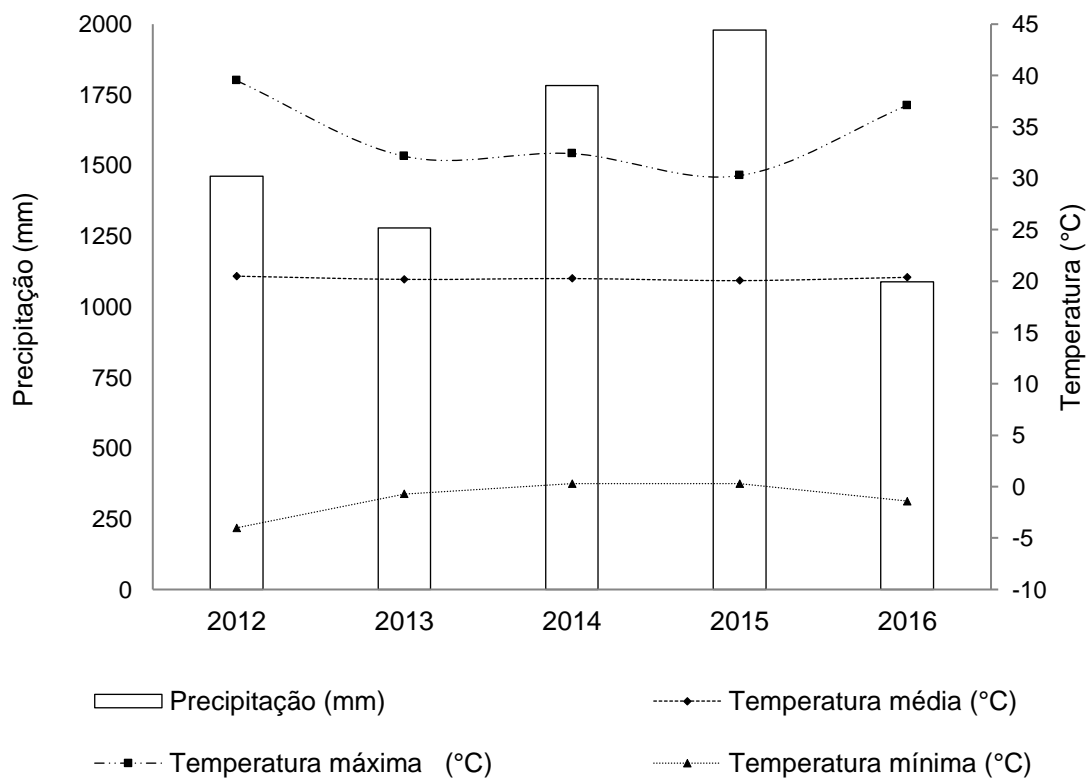


Fonte: Autora (2018).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como subtropical úmido (Cfa). A temperatura média anual é de aproximadamente 19,5 °C, sendo 24,9 °C a média da temperatura máxima e 14,2 °C a média da temperatura mínima. A precipitação média anual chega a 1.423 mm (MATZENAUER; RADIN; ALMEIDA, 2011).

Na Figura 2.2 pode-se observar o diagrama climático do município de São Gabriel, RS durante o ano de plantio (2012) até o ano da coleta de dados (2016).

Figura 2.2 - Diagrama climático do município de São Gabriel, RS durante o período de estudo



Fonte de dados: INMET (2017).

O solo da área experimental é do tipo Luvisolo Háplico Órtico típico (Figura 2.3). Os Luvisolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, variando de bem a imperfeitamente drenados, sendo normalmente pouco profundos, com sequência de horizontes A, Bt e C (EMBRAPA, 2009). A Tabela 2.1 apresenta os atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0 a 100 cm.

Tabela 2.1 - Atributos físicos e químicos do solo da área implantada com diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 43 meses de idade, em São Gabriel, RS

Material genético	Prof. (cm)	pH	Ds	Argila	M.O	m	t	Al	Ca	Mg	P	K	S	B	Cu	Zn
			g cm ⁻³	-----%-----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	-----mg dm ⁻³ -----										
<i>E. benthamii</i> (P1)	0-10	4,7	1,30	15	3,4	13,7	7,3	1,0	3,9	2,3	2,3	53,0	8,1	0,5	2,1	1,7
	10-20	5,1	1,31	19	2,8	27,1	6,7	1,8	3,3	1,5	1,3	31,0	5,9	0,6	2,2	0,8
	20-40	5,3	1,35	21	2,1	33,3	6,6	2,2	3,1	1,2	0,8	27,0	2,5	0,3	1,5	0,4
	40-60	5,4	1,19	47	2,1	14,6	19,2	2,8	11,6	4,7	0,6	70,0	2,4	0,5	1,9	0,5
	60-80	5,5	1,47	33	0,9	0,0	26,0	0,0	18,0	7,7	0,4	92,0	20,0	0,4	2,1	1,1
	80-100	6,0	1,65	33	0,7	0,0	27,8	0,0	19,4	8,1	0,6	96,0	29,0	0,5	0,9	0,5
<i>E. benthamii</i> (P2)	0-10	4,9	1,23	23	2,8	33,4	6,6	2,2	3,4	1,0	1,2	33,0	4,1	0,3	2,5	0,7
	10-20	5,1	1,34	25	2,2	48,9	7,6	3,7	3,3	0,5	0,7	29,0	3,4	0,3	2,1	0,5
	20-40	5,3	1,44	29	1,3	49,8	6,6	3,3	2,6	0,7	0,5	26,0	2,5	0,2	1,4	0,4
	40-60	5,2	1,55	41	1,3	40,7	10,6	4,3	4,6	1,6	0,5	45,0	2,9	0,3	1,6	0,6
	60-80	5,3	1,51	41	1,0	28,9	12,8	3,7	6,5	2,5	0,2	52,0	5,8	0,3	1,1	0,4
	80-100	5,3	1,52	47	1,0	21,0	15,7	3,3	8,5	3,8	0,2	63,0	4,9	0,3	1,7	0,5
<i>E. saligna</i>	0-10	5,1	1,20	17	3,0	30,5	6,5	2,0	2,7	1,8	1,4	35,0	13,0	0,3	2,4	1,0
	10-20	5,1	1,25	19	2,7	35,3	7,4	2,6	3,3	1,4	1,0	30,0	12,0	0,2	2,4	0,8
	20-40	5,2	1,37	25	1,9	61,5	6,0	3,7	1,8	0,5	0,5	21,0	9,7	0,2	2,0	0,6
	40-60	5,3	1,32	37	1,4	60,5	10,4	6,3	3,1	0,9	0,4	33,0	13,0	0,3	2,2	0,6
	60-80	5,3	1,31	43	1,3	26,4	14,8	3,9	7,5	3,3	0,4	65,0	12,0	0,3	2,6	0,7
	80-100	5,3	1,53	19	1,0	9,7	18,7	1,8	12,3	4,4	0,2	73,0	15,0	0,3	2,6	1,0
<i>E. dunnii</i>	0-10	5,1	1,34	13	2,7	30,4	6,6	2,0	2,8	1,7	1,1	33,0	9,2	0,3	2,2	0,9
	10-20	5,3	1,36	21	1,9	37,1	6,5	2,4	2,8	1,2	0,5	28,0	6,8	0,3	1,5	0,9
	20-40	5,3	1,38	29	1,5	26,8	10,4	2,8	5,3	2,3	0,5	44,0	8,3	0,3	1,4	0,5
	40-60	5,2	1,08	47	2,2	30,6	22,5	6,9	11,4	4,0	0,3	79,0	12,0	0,3	2,1	0,6
	60-80	5,1	1,34	55	1,5	7,7	28,5	2,2	18,8	7,1	0,2	108,0	12,0	0,3	2,7	0,9
	80-100	5,3	1,49	41	0,8	2,2	27,9	0,6	19,7	7,2	0,2	124,0	11,0	0,5	1,8	0,6
<i>E. uroglabulus</i>	0-10	5,0	1,26	21	2,8	31,4	7,0	2,2	3,2	1,5	1,3	30,0	5,7	0,3	2,2	0,8
	10-20	5,1	1,26	25	2,4	41,6	7,9	3,3	3,4	1,2	0,6	34,0	4,4	0,2	1,6	0,4
	20-40	5,2	1,34	27	1,7	56,3	8,4	4,7	2,7	0,9	0,4	32,0	5,0	0,2	1,3	0,4
	40-60	5,4	1,34	31	1,4	43,9	10,7	4,7	4,5	1,4	0,3	49,0	1,9	0,3	1,6	0,6
	60-80	5,4	1,22	49	1,7	24,2	21,9	5,3	12,0	4,4	0,2	87,0	2,5	0,4	2,2	0,8
	80-100	5,4	1,38	53	1,1	6,1	26,4	1,6	17,4	7,1	0,2	131,0	3,2	0,3	2,3	0,7
<i>E. urograndis</i>	0-10	5,2	1,33	17	2,7	27,3	8,1	2,2	3,8	2,0	1,4	46,0	16,0	0,2	2,8	1,1
	10-20	5,3	1,39	23	2,5	36,5	8,2	3,0	3,7	1,5	1,4	32,0	9,2	0,1	2,8	1,2
	20-40	5,3	1,39	27	1,9	47,9	8,6	4,1	3,4	1,0	0,6	34,0	9,5	0,1	2,1	0,8
	40-60	5,5	1,52	13	1,5	1,9	21,6	0,4	15,6	5,4	0,5	83,0	14,0	0,2	3,1	0,9
	60-80	5,9	1,71	45	0,9	0,0	21,4	0,0	15,8	5,4	0,5	95,0	13,0	0,3	1,3	0,6
	80-100	6,3	1,73	41	0,4	0,0	27,8	0,0	20,2	7,3	0,5	103,0	10,0	0,2	1,0	0,7

Onde: Ds: Densidade do solo; M.O: Matéria orgânica, digestão por combustão úmida ($K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$); pH em água (1:1); Al, Ca e Mg trocáveis, extração por solução de KCl (1 mol L⁻¹); P disponível e K trocável, extração do solo com solução Mehlich⁻¹; t: CTC efetiva; m = Saturação por alumínio. S, por solução de Ca (H₂ PO₄)₂ a 500 mg de P L⁻¹.

Fonte: Autora (2018).

Figura 2.3 - Aspecto de um Luvissoilo Háplico Órtico típico



Fonte: Indá Junior (2017).

Implantação da área experimental

O plantio foi realizado no final de novembro de 2012 em um espaçamento de 3,50 m x 2,14 m. Para implantação do povoamento foi realizada calagem de 2 Mg ha⁻¹ de calcário, subsolagem a 50 cm e implantação de camalhões (40 cm de altura), com auxílio de uma grade terraceadora.

Como adubação de plantio, aplicou-se 200 kg ha⁻¹ de superfosfato simples no sulco e 100 g planta⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (06:30:06) + Zn por ocasião do plantio. Posteriormente, foram realizadas duas fertilizações pós-plantio, aos seis e doze meses, nas quais foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (12:00:20) + 0,5 % B e 150 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (24:00:26), respectivamente.

Em relação aos tratos culturais, antes do plantio, foi realizada capina química em área total, com 2,5 kg ha⁻¹ de Scout (glifosato). Após 10 dias foi aplicado 3,5 L ha⁻¹ do pré emergente Oxyfluofen. E aos quatro e nove meses após o plantio foi realizada roçada e capina química com 1,7 kg ha⁻¹ de Scout (glifosato). Para controle das formigas cortadeiras foram utilizados 6 kg ha⁻¹ de sulfluramida em três aplicações.

Materiais genéticos implantados

Foram implantados os seguintes clones de *Eucalyptus*: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus* (*E. uroglobulus*), e híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (*E. urograndis*). O *E. benthamii* (P1) é uma procedência de testes realizados em Guarapuava-PR, e o *E. benthamii*

(P2) é uma procedência oriunda de Telêmaco Borba-PR. Na época da coleta dos dados, os povoamentos encontravam-se com 43 meses de idade.

Caracterização dendrométrica dos materiais genéticos

Para cada material genético foi demarcada uma parcela de 8 linhas por 10 plantas, onde se aferiu o DAP (diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m do nível do solo) de todos os indivíduos, com fita diamétrica, e 20 % das alturas com uso de um hipsômetro Vertex.

Para estimar a altura dos indivíduos que não foram aferidos a campo, ajustou-se sete modelos hipsométricos citados na literatura (Tabela 2.2), além de utilizar o procedimento Stepwise do SAS (um com variável independente H e o outro com variável independente Ln de H) para verificar o ajuste de novos modelos, todos incluindo como variável independente o DAP e algumas transformações do mesmo (DAP², DAP³, DAP⁻¹, DAP⁻², DAP⁻³, Ln DAP, Ln (DAP²), Ln (DAP³), Ln (DAP⁻¹), Ln (DAP⁻²) e Ln (DAP⁻³). A estimativa dos parâmetros para o ajuste dos modelos foi feita através do software estatístico SAS.

Tabela 2.2 - Modelos hipsométricos selecionados para ajustes da estimativa da altura total dos materiais genéticos de *Eucalyptus*

Nº	Modelo	Autor
1	$H = \beta_0 + \beta_1 \text{ DAP}$	Linha reta ³
2	$H = \beta_0 + \beta_1 \text{ DAP}^2$	Azevedo et al. (1999)
3	$H = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln (DAP)}$	Henricksen ^{1 2 3}
4	$H = \beta_0 + \beta_1 \left[\frac{1}{\text{DAP}^2} \right]$	Soares et al. (2006)
5	$H = \beta_0 + \beta_1 \text{ DAP} + \beta_2 \cdot \text{DAP}^2$	Parabólico ^{2 3}
6	$\text{Ln (H)} = \beta_0 + \beta_1 \left[\frac{1}{\text{DAP}} \right]$	Curtis ^{1 2 3}
7	$\text{Ln (H)} = \beta_0 + \beta_1 \text{ Ln (DAP)}$	Stoffels ^{1 2 3}

Onde: β_i = coeficientes dos modelos; H = altura total (m); DAP = diâmetro à altura do peito (cm); Ln = Logaritmo neperiano. Modelos citados por: ¹ Bartoszeck et al. (2002); ² Sanquetta et al. (2009); ³ Sousa et al. (2013).

Para selecionar os melhores modelos, considerou-se o menor erro padrão da estimativa $Sy.x$ absoluto (m) e relativo (%), o maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$) e o melhor valor ponderado (VP) dos escores estatísticos. A atribuição dos valores para o VP foi realizada somente para o $Sy.x$ (%) e $R^2_{aj.}$ (%), atribuindo pesos crescentes do melhor para o pior valor de cada parâmetro, ou seja, 1 para o maior $R^2_{aj.}$, 2 para o segundo maior $R^2_{aj.}$, e assim, sucessivamente, para todos os

modelos, de modo que, no somatório final, o melhor modelo apresente-se o menor VP. A Tabela 2.3 apresenta os parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da altura total dos diferentes materiais genéticos em São Gabriel, RS.

Tabela 2.3 - Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da altura total dos diferentes materiais genéticos, aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS

Material genético	Modelo	β_0	β_1	Sy.x (m)	S.yx (%)	R ² aj (%)
<i>E. benthamii</i> (P1)	Stepwise H DAP ⁻³	16,71475	-3402,09626	0,5495	3,57	42,10
<i>E. benthamii</i> (P2)	Stepwise Ln H DAP ⁻²	2,92982	-25,97439	0,7081	4,43	83,59
<i>E. dunnii</i>	Stepwise Ln H DAP ²	1,48673	-0,14173	1,0400	8,58	34,11
<i>E. saligna</i>	Stepwise H DAP ⁻³	13,77937	0,00071	0,2967	1,89	34,88
<i>E. urolobulus</i>	Stepwise H DAP ⁻²	1,96242	-484,66003	0,4318	2,65	57,55
<i>E. urograndis</i>	Henricksen	-6,98900	8,70359	1,3262	8,17	20,22

Em que: β_i = coeficientes dos modelos; Sy.x = erro padrão da estimativa (m); S.yx (%) = erro padrão da estimativa em porcentagem; R²aj (%) = coeficiente de determinação ajustado.

Fonte: Autora (2018).

A Tabela 2.4 apresenta as variáveis dendrométricas obtidas nos diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 43 meses de idade estabelecidos em São Gabriel-RS.

Tabela 2.4 - Caracterização dendrométrica de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS

Material genético	N° ind ha ⁻¹	DAP (cm)	H (m)	FF	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha ⁻¹)
<i>E. benthamii</i> (P1)	1168 (174)*	13,7a (1,8)	15,2c (0,9)	0,47	17,5bc (4,4)	48,18c (19,8)
<i>E. benthamii</i> (P2)	768 (190)	13,9a (2,8)	16,1ab (1,5)	0,50	12,1d (4,5)	36,01d (15,7)
<i>E. saligna</i>	1268 (281)	13,9a (1,3)	15,7bc (0,6)	0,45	19,3ab (3,3)	57,85bc (18,5)
<i>E. dunnii</i>	1135 (227)	10,9c (1,7)	12,2d (1,1)	0,49	10,9d (3,2)	26,83d (9,4)
<i>E. uroglobulus</i>	1285 (395)	12,7b (1,3)	16,5a (0,8)	0,46	16,3c (3,4)	69,56a (36,1)
<i>E. urograndis</i>	1302 (326)	14,1a (1,3)	16,0b (1,2)	0,44	20,4a (3,6)	66,54ab (22,2)

Onde: FF = Fator de forma. Média de cada variável nos diferentes tratamentos (materiais genéticos) seguidas por letras iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de erro. *Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média.
Fonte: Autora (2018).

Estoque de biomassa e nutrientes

Com base nos dados obtidos no inventário das parcelas, foram amostradas três árvores de diâmetro médio, para cada material genético. As árvores selecionadas foram abatidas e fracionadas nos seguintes componentes: folhas, galhos, casca do fuste e madeira do fuste.

A amostragem da madeira e casca do fuste procedeu-se a partir da divisão do fuste em três seções de partes iguais, com a amostragem de três pontos nas posições medianas de cada seção. Todas as amostras de biomassa foram pesadas no campo com balança de precisão e acondicionadas em sacos de papel. Posteriormente foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais/UFSM, onde foram postas para secagem em estufa com circulação e renovação de ar a 70°C, até a estabilização do peso, e pesadas novamente em balança digital de precisão, para determinação do teor de umidade. Com base na biomassa seca de cada componente e no número de árvores por hectare de cada material genético, estimou-se a biomassa total por hectare.

Para a determinação dos nutrientes, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Wiley, com peneira de 30 mesh, e submetidas à análise química para determinação da concentração dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e

micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), conforme a metodologia de Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999) (Tabela 2.5).

A estimativa do estoque de nutrientes para cada componente foi obtida por meio do produto da biomassa seca pela concentração de nutrientes. Já a estimativa por hectare foi realizada pela extrapolação do estoque por indivíduo com base no número de indivíduos presentes em cada unidade amostral.

Tabela 2.5 - Descrição dos procedimentos analíticos utilizados na determinação dos nutrientes em amostras de tecido vegetal

Nutriente	Digestão	Método	Comprimento de onda (nm)
N	Sulfúrica (H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂)	Kjeldahl	-
K		Fotometria de chama	-
Ca	Nítrica-perclórica	Espectrofotometria de absorção atômica	422,67
Mg			285,21
Cu			324,75
Fe			248,33
Mn			279,48
Zn			213,86
P		Espectrofotometria	660,00
S	Turbidimetria	420,00	
B	Seca	Espectrofotometria	460,00

Fonte: Adaptado de Witschoreck (2008).

Coeficiente de utilização biológica

O coeficiente de utilização biológica foi calculado pela razão entre a biomassa e a quantidade de nutrientes de cada componente da biomassa, conforme a seguinte equação:

$$CUB = \frac{\text{(Quantidade de biomassa)}}{\text{(Quantidade de nutrientes)}}$$

Estimativa da remoção de nutrientes pela colheita

A estimativa da remoção de nutrientes através da colheita da biomassa foi realizada para três cenários, com base no estoque de nutrientes de cada componente da biomassa:

- 1º) Colheita da madeira do fuste;
- 2º) Colheita da madeira e casca do fuste;

3º) Colheita de toda a biomassa acima do solo.

Procedimentos estatísticos

As análises estatísticas foram realizadas ao nível de 5 % de probabilidade de erro com o auxílio do software estatístico Assistat 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2009). Os dados de biomassa e concentração de nutrientes foram submetidos à análise da variância e ao teste de Tukey para comparação das médias entre os tratamentos (materiais genéticos).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Biomassa acima do solo

Na Tabela 2.6 é possível verificar a distribuição da biomassa acima do solo (kg árvore⁻¹ e Mg ha⁻¹) para os diferentes componentes dos materiais genéticos estudados. Pelo fato dos clones apresentarem diferentes números de árvores por hectare, em virtude da diferente porcentagem de sobrevivência, a biomassa dos povoamentos também foi calculada em kg árvore⁻¹.

À medida que aumenta a densidade populacional, a biomassa total por unidade de área aumenta, no entanto, a produção de biomassa total por árvore diminui (LADEIRA et al., 2001). Nesse contexto, avaliando a biomassa total em kg árvore⁻¹ nota-se que as menores produções foram observadas no *E. dunnii* e *E. benthamii* (P1), com 29,67 e 47,38 kg árvore⁻¹, respectivamente. Os demais clones apresentaram produção de biomassa total estatisticamente semelhante, destacando-se o *E. uroglobulus*, *E. benthamii* (P2) e *E. urograndis* com as maiores produções, 65,37, 62,29 e 62,05 kg árvore⁻¹, respectivamente. Em relação ao componente madeira do fuste, o *E. benthamii* (P2) e *E. uroglobulus* apresentaram os maiores valores (43,75 e 43,08 kg árvore⁻¹), embora não tenham diferido estatisticamente do *E. saligna* e *E. urograndis*.

A produção de biomassa total, verificada para os materiais genéticos estudados, foi similar a encontrada por Souza (2015) avaliando uma Área de Produção de Sementes de *E. benthamii*, aos seis anos em São Francisco de Assis, RS; por Schumacher e Caldeira (2004), avaliando *E. saligna* aos quatro anos de idade no Horto Florestal Pillar, localizado na Região Central do Rio Grande do Sul; e por Turner e Lambert (2008), em estudo com *E. grandis* aos cinco anos de idade, no norte de New South Wales, na Austrália.

Em relação à produção de biomassa da madeira do fuste em Mg ha^{-1} , o híbrido *E. uroglobulus* apresentou 39, 40 e 66 % a mais em relação aos clones *E. benthamii* (P2), *E. benthamii* (P1) e *E. dunnii*, respectivamente. No entanto, em kg árvore^{-1} , o *E. benthamii* (P2) destacou-se com 35 e 62 % a mais de biomassa que o *E. benthamii* (P1) e *E. dunnii*, respectivamente. Fato que justifica apresentar os cálculos também em kg árvore^{-1} , pois a baixa produção de madeira do *E. benthamii* (P2) em Mg ha^{-1} está vinculada ao fato desta espécie ter apresentado uma menor sobrevivência de indivíduos por hectare, o que acarretou uma menor densidade populacional (Tabela 2.4). De acordo com Bellote e Silva (2005), os principais fatores que interferem na produtividade florestal estão relacionados com o material genético utilizado e com as condições de solos onde é plantado.

Ao se tratar os componentes separadamente, a distribuição percentual da biomassa acima do solo, para os clones *E. benthamii* (P1), *E. uroglobulus* e *E. urograndis* seguiu a seguinte ordem: madeira do fuste > galhos > folhas > casca do fuste. A mesma ordem de distribuição foi encontrada por: Schumacher et al. (2011), estudando *Eucalyptus* spp., aos quatro anos de idade em Vera Cruz, RS; por Viera et al. (2012), avaliando *E. urograndis* com 18 meses em Piratini, RS; por Ribeiro et al. (2015), estimando a biomassa em um clone de *E. urophylla* x *E. grandis*, aos 5,5 anos, na região sudeste do Brasil; e por Kuyah et al. (2013), estimando a biomassa de espécies de *Eucalyptus* dominantes, no Quênia.

Já os clones *E. dunnii*, *E. benthamii* (P2) e *E. saligna* apresentaram a seguinte ordem de distribuição e partição relativa: madeira do fuste > galhos > casca do fuste > folhas. Considerando-se os mesmos componentes, a distribuição relativa de biomassa foi a mesma encontrada por Guimarães et al. (2015), em um povoamento de *E. dunnii* aos quatro anos, na cidade de Alegrete, RS; por Souza (2015) para o *E. benthamii*, com seis anos em São Francisco de Assis, RS; e por Turner e Lambert (2008), para o *E. grandis* e *E. pilularis* aos cinco anos, no norte de New South Wales,

na Austrália. De acordo com Schumacher et al. (2011), os fatores que afetam a distribuição percentual da biomassa nos diferentes componentes das árvores, são a espécie, a idade, a fertilidade do solo e a densidade de plantio. Neste contexto, como os materiais genéticos apresentavam a mesma idade, foram implantados em igual densidade de plantio e no mesmo tipo de solo, a espécie foi o fator predominante que afetou a distribuição de biomassa.

Verifica-se para os clones avaliados, que o fuste (madeira e casca) representou de 63 a 79 % do total produzido, sendo o menor valor no clone *E. urograndis* e o maior no *E. benthamii* (P2), enquanto que a copa (folhas e galhos) representou de 21 a 37% da biomassa total. Em contrapartida, Schumacher e Caldeira (2004), avaliando um experimento de *E. saligna* aos quatro anos de idade, identificaram que 82 % da biomassa aérea estava distribuída no componente madeira mais casca do fuste.

Zewdie et al. (2009), ao estudar povoamentos de *E. globulus* com idades entre um a nove anos, observaram que com um ano as folhas e os galhos foram os componentes das árvores que apresentaram maior acúmulo de biomassa. No entanto, com quatro, cinco, sete e nove anos, as folhas e ramos foram responsáveis por um percentual decrescente de biomassa acima do solo. Viera et al. (2012), avaliando um povoamento híbrido de *E. urograndis* aos 18 meses de idade constataram que os compartimentos madeira e casca, foram responsáveis por cerca de 45 % da biomassa total.

2.3.2 Nutrientes na biomassa

2.3.2.1 Concentração de nutrientes

Os diferentes materiais genéticos, pertencentes ao mesmo gênero, e mesmo as diferentes procedências dentro de uma determinada espécie, apresentaram variações nas concentrações de nutrientes (Tabela 2.7). Em termos gerais, as maiores concentrações de nutrientes para a maioria dos elementos ocorreram nas folhas e as menores na madeira do fuste.

Tabela 2.7 - Concentração de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS

Material genético	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
<i>E. benthamii</i> (P1)	Folha	18,11ab	1,05ab	5,96ab	11,33ab	2,77a	1,56a	38,21a	5,74bcd	132,40ab	1.187,01a	11,96ab
	Galho	1,98b	0,14a	1,90b	10,14a	1,71ab	0,29a	10,19b	3,72a	62,62a	759,29a	8,80a
	Casca	4,03a	0,41ab	4,16bc	14,16a	3,12a	0,43a	15,67a	2,55ab	45,35a	1.116,22a	11,08a
	Madeira	1,58a	0,15a	1,94a	1,17ab	0,49bc	0,20a	5,57a	0,80a	28,00a	176,38a	5,77ab
<i>E. benthamii</i> (P2)	Folha	21,03a	1,16a	6,14ab	6,16c	2,39a	1,23b	26,40b	7,12abc	105,83bc	974,88ab	12,80a
	Galho	3,02a	0,22a	2,48ab	4,98b	0,85bc	0,24ab	11,44ab	4,28a	32,09a	629,74a	8,01a
	Casca	4,10a	0,50a	3,82bc	10,40b	3,31a	0,39ab	20,53a	3,54a	26,69a	1.080,40ab	12,77a
	Madeira	1,51ab	0,16a	1,77ab	0,51c	0,22bc	0,14bc	3,81ab	1,96a	16,52a	112,33a	7,18a
<i>E. saligna</i>	Folha	15,85ab	0,80bc	6,35ab	10,96ab	3,11a	0,88c	30,08b	5,44cd	96,77bc	795,97b	10,59ab
	Galho	1,63b	0,09a	1,83b	10,61a	2,00a	0,22ab	11,66ab	4,83a	80,73a	672,05a	10,42a
	Casca	4,61a	0,25b	2,50d	11,01ab	3,67a	0,29ab	15,70a	2,30ab	35,89a	971,83ab	5,71a
	Madeira	1,17b	0,08a	1,35b	0,84bc	0,50bc	0,12c	5,49a	1,60a	39,51a	75,12a	6,99a
<i>E. dunnii</i>	Folha	17,52ab	0,92abc	5,68ab	10,69abc	3,24a	1,06bc	26,55b	8,24a	159,42a	986,48ab	9,48ab
	Galho	2,33ab	0,18a	3,48a	8,76ab	1,76ab	0,26ab	14,23a	4,71a	65,06a	712,64a	8,07a
	Casca	2,64a	0,40ab	6,47a	9,38b	2,91a	0,25b	18,64a	1,38b	51,98a	883,25b	7,14a
	Madeira	1,44ab	0,15a	2,22a	1,50a	0,96a	0,19ab	5,92a	2,08a	17,16a	153,90a	3,98ab
<i>E. uroglobulus</i>	Folha	12,83b	0,73c	4,69b	8,04bc	1,40b	0,81c	24,02b	4,42d	60,12c	952,22ab	8,09b
	Galho	1,59b	0,13a	2,44ab	6,50ab	0,59c	0,24ab	11,15ab	3,48a	37,46a	570,40a	4,59a
	Casca	3,38a	0,44ab	4,80b	8,96b	2,77a	0,29ab	18,73a	2,42ab	48,16a	923,76ab	6,31a
	Madeira	1,30ab	0,10a	1,81ab	0,56c	0,20c	0,18ab	3,05b	1,85a	18,26a	92,98a	3,12b
<i>E. urograndis</i>	Folha	15,82ab	0,89abc	6,53a	12,93a	2,39a	0,86c	42,88a	7,15ab	113,31ab	881,03ab	12,12ab
	Galho	1,56b	0,16a	2,15ab	10,71a	1,88ab	0,22b	11,29ab	4,94a	84,99a	751,30a	8,33a
	Casca	3,25a	0,37ab	3,64c	12,09ab	3,54a	0,24b	14,67a	2,31ab	36,67a	978,55ab	7,74a
	Madeira	1,45ab	0,14a	2,07a	0,82bc	0,52b	0,18ab	5,24a	2,39a	21,75a	114,68a	5,43ab

Médias de cada fração da biomassa nos diferentes tratamentos (materiais genéticos) seguidas por letras iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de erro.

Fonte: Autora (2018)

Segundo Witschoreck (2008), as folhas são o grande centro metabólico da planta, o que se torna evidente pela alta concentração de nutrientes. Por outro lado, em componentes que têm função mais estrutural ou de condução, como é o caso da madeira e dos galhos, os teores são inferiores.

Em relação aos macronutrientes analisados nos componentes da biomassa, constatou-se que o N, P e S concentraram-se mais nas folhas, em relação aos demais componentes. Já o Ca e Mg acumularam-se mais na casca, exceto no *E. dunnii* onde a maior concentração desses elementos ocorreu nas folhas, e no *E. urograndis* onde o Ca também se concentrou mais nas folhas.

Em trabalhos de Freitas et al. (2004), com *E. grandis* de 9 anos de idade; de Viera et al. (2013) com *E. urophylla* x *E. globulus* de 10 anos; e de González-Garcia et al. (2015), com *E. nitens*, também foi constatado que as maiores concentrações de Ca e Mg estavam presentes na casca. Segundo Freitas et al. (2004), as maiores concentrações de Ca na casca, em relação aos outros componentes da biomassa, são resultado da sua baixa mobilidade no floema, pelo fato de ser um elemento menos redistribuído nos tecidos das plantas.

Cabe ressaltar que as maiores concentrações de micronutrientes ocorreram nas folhas, com exceção dos clones *E. benthamii* (P2), *E. saligna* e *E. urograndis*, onde a concentração de Mn foi superior na casca do fuste.

No geral, a magnitude de concentração dos macronutrientes apresentou a seguinte tendência de distribuição: folhas > casca do fuste > galhos > madeira do fuste. Padrões similares desse comportamento foi encontrado por Viera et al. (2012) avaliando *E. urograndis* com 10 anos de idade em Eldorado do Sul, RS; e por González-Garcia et al. (2015), para os elementos N, P e K em *E. nitens* aos 2 e 5 anos, na Espanha.

Para os micronutrientes, ocorreu a mesma sequência de distribuição, exceto para os clones *E. saligna*, *E. dunnii* e *E. urograndis*, os quais apresentaram maior concentração de nutrientes nos galhos do que na casca do fuste. De acordo com Freitas et al. (2004), as necessidades das árvores em relação aos nutrientes são bastante variáveis de espécie para espécie.

2.3.2.2 Quantidade de nutrientes

Na Tabela 2.8 são apresentadas as quantidades de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*. Com exceção do *E. benthamii* (P2) (N > Ca > K > Mg > P > S) e do *E. dunnii* (Ca > K > N > Mg > S > P), a quantidade total de macronutrientes seguiu a seguinte ordem de distribuição: Ca > N > K > Mg > S > P. Esta ordem foi similar ao trabalho realizado por Freitas et al. (2004), avaliando *E. grandis* aos 9 anos de idade no município de Alegrete, RS; e por Guimarães et al. (2015), estudando *E. dunnii* aos 4 anos também em Alegrete. Viera et al. (2012), estudando *E. urograndis* de 18 meses em Piratini, RS, observaram essa mesma sequência, com inversão dos valores de S e P.

Para os micronutrientes, com exceção do *E. benthamii* (P2), onde a quantidade de Zn foi maior que a de B, a ordem de distribuição total para os demais materiais genéticos foi: Mn > Fe > B > Zn > Cu. Essa mesma tendência foi similar ao trabalho realizado por Viera et al. (2012), estudando *E. urograndis*; e por Guimarães et al. (2015) avaliando *E. dunnii*.

Cabe ressaltar que o *E. urograndis* apresentou as maiores quantidades totais de macro e micronutrientes, com exceção do S que esteve presente em maior quantidade no *E. uroglobulus*. Nesse sentido, este híbrido apresentou 60, 37 e 26 % a mais de N; 59, 35 e 46 % a mais de P; e 50, 48 e 39% a mais de K em relação aos clones *E. dunnii*, *E. benthamii* (P2) e *E. saligna*, respectivamente.

A distribuição de biomassa, segundo Reis e Barros (1990) geralmente difere do padrão observado para a biomassa, o que ocorre em virtude da diferença da concentração de nutrientes entre os componentes das árvores. Nesse contexto, a copa (folhas e galhos) acumulou entre 47 % a 65 % do total de macronutrientes e de 46 % a 67 % do total de micronutrientes (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*), enquanto o fuste (madeira e casca) acumulou entre 35 % a 53 % do total de macronutrientes e de 33 % a 54 % do total de micronutrientes. Em povoamentos jovens, segundo Reis e Barros (1990), a contribuição da copa é elevada e, sendo a concentração de nutrientes mais elevada nas folhas, a copa contém mais do que 50% dos nutrientes da parte aérea.

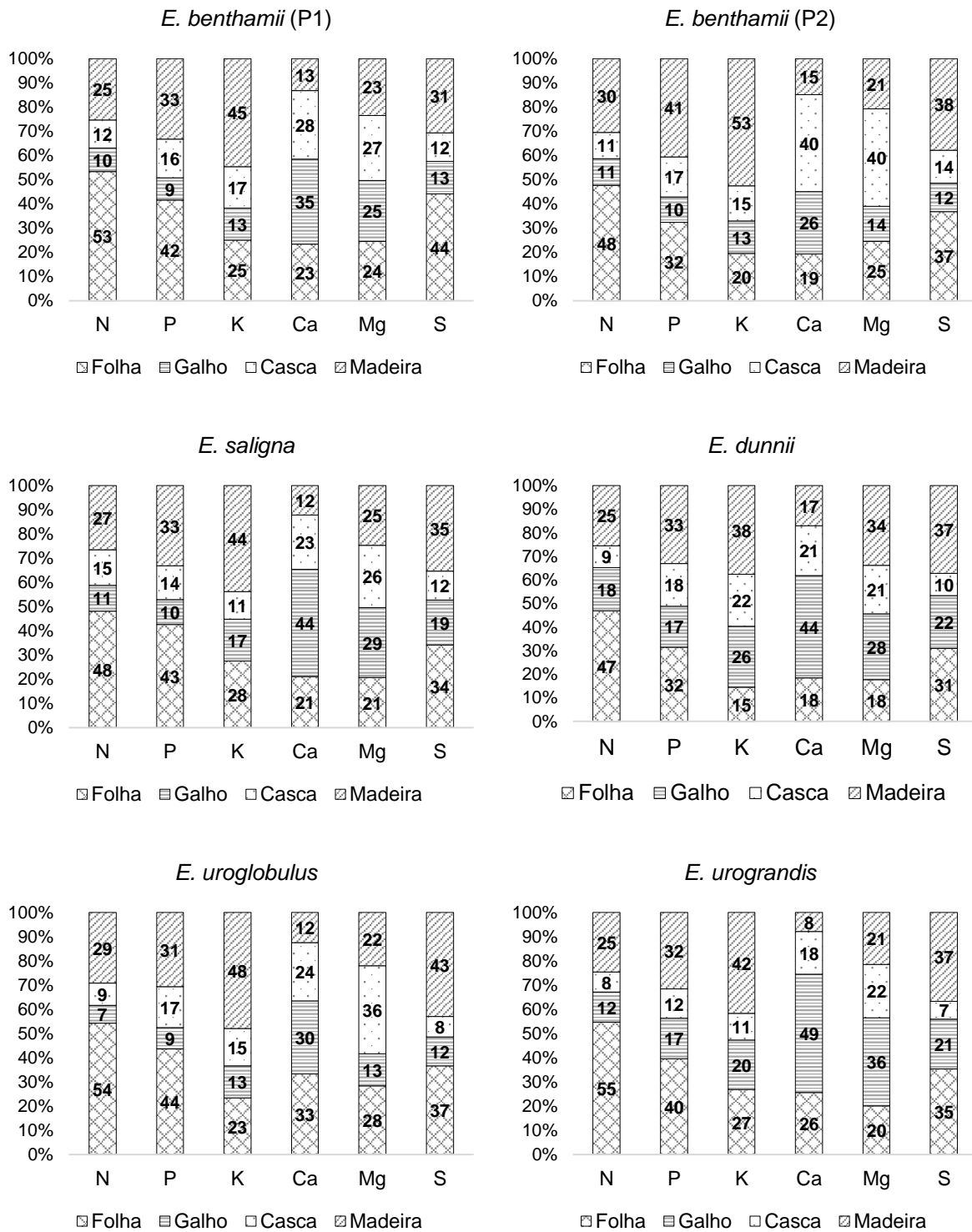
Pode-se observar nas Figura 2.4 e 2.5 que ocorreu grande variação na alocação de nutrientes nos diferentes materiais genéticos, e nos diferentes componentes de um mesmo material genético.

Tabela 2.8 - Quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS

Material genético	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg ha ⁻¹						g ha ⁻¹				
<i>E. benthamii</i> (P1)	Folha	110,29	6,36	36,30	69,09	16,89	9,51	232,91	34,96	807,86	7.246,14	72,86
	Galho	20,17	1,39	19,27	103,17	17,40	2,89	103,52	37,84	633,15	7.724,68	89,40
	Casca	23,99	2,43	24,72	83,85	18,51	2,55	93,01	15,10	269,57	6.619,54	65,78
	Madeira	52,27	5,08	64,61	38,78	16,14	6,60	185,40	26,61	938,24	5.893,36	191,70
	Total	206,72	15,26	144,89	294,89	68,94	21,55	614,84	114,52	2.648,83	27.483,72	419,74
<i>E. benthamii</i> (P2)	Folha	78,82	4,28	22,31	22,41	8,85	4,56	97,25	26,29	393,68	3.568,63	48,04
	Galho	18,48	1,38	15,27	29,67	5,18	1,46	71,64	26,45	192,24	3.902,22	46,94
	Casca	18,01	2,18	16,62	46,40	14,50	1,68	92,13	15,54	117,35	4.793,05	52,87
	Madeira	50,34	5,34	60,06	17,06	7,48	4,68	128,72	66,64	552,20	3.707,66	242,54
	Total	165,64	13,18	114,27	115,53	36,01	12,39	389,75	134,92	1.255,47	15.971,56	390,40
<i>E. saligna</i>	Folha	92,87	4,66	37,16	63,83	18,18	5,11	175,35	31,89	567,13	4.657,27	62,03
	Galho	20,71	1,13	23,35	133,81	25,39	2,80	148,13	61,46	1.032,35	8.514,80	132,11
	Casca	28,28	1,53	15,48	68,17	22,67	1,79	98,11	14,18	225,10	6.032,84	35,32
	Madeira	51,29	3,64	59,05	36,77	21,69	5,31	240,94	69,78	1.765,68	3.309,26	307,66
	Total	193,15	10,96	135,04	302,58	87,94	15,01	662,53	177,31	3.590,27	22.514,16	537,12
<i>E. dunnii</i>	Folha	49,58	2,60	16,05	30,42	9,31	3,00	75,49	23,37	457,13	2.802,39	26,87
	Galho	19,40	1,43	28,60	72,05	14,85	2,17	117,45	39,06	543,18	5.873,21	66,11
	Casca	9,82	1,49	24,32	34,85	10,88	0,93	69,71	5,17	194,45	3.308,41	26,86
	Madeira	26,92	2,72	41,61	28,23	17,87	3,61	111,26	38,79	323,09	2.884,73	74,93
	Total	105,71	8,24	110,58	165,55	52,90	9,71	373,91	106,39	1.517,86	14.868,75	194,77
<i>E. uroglobulus</i>	Folha	133,34	7,59	48,76	83,30	14,54	8,46	250,35	45,93	623,97	9.884,07	84,10
	Galho	18,19	1,52	27,98	74,96	6,75	2,75	127,94	40,39	430,87	6.556,34	52,94
	Casca	22,61	2,96	32,25	60,29	18,63	1,95	125,44	16,35	325,35	6.195,22	42,41
	Madeira	71,89	5,32	100,21	30,90	11,24	9,94	168,88	102,30	1.013,28	5.126,07	171,83
	Total	246,03	17,39	209,21	249,46	51,15	23,09	672,61	204,97	2.393,47	27.761,70	351,28
<i>E. urograndis</i>	Folha	142,99	8,03	59,01	117,18	21,60	7,76	387,63	64,75	1.026,00	7.967,63	109,80
	Galho	32,43	3,38	44,77	222,54	38,96	4,52	234,21	102,64	1.777,39	15.634,53	173,32
	Casca	21,70	2,49	24,23	80,53	23,61	1,61	97,86	15,35	244,60	6.526,83	51,82
	Madeira	64,32	6,40	91,76	36,14	22,92	8,04	231,87	105,97	966,68	5.086,16	240,82
	Total	261,43	20,30	219,77	456,39	107,09	21,93	951,57	288,71	4.014,67	35.215,16	575,76

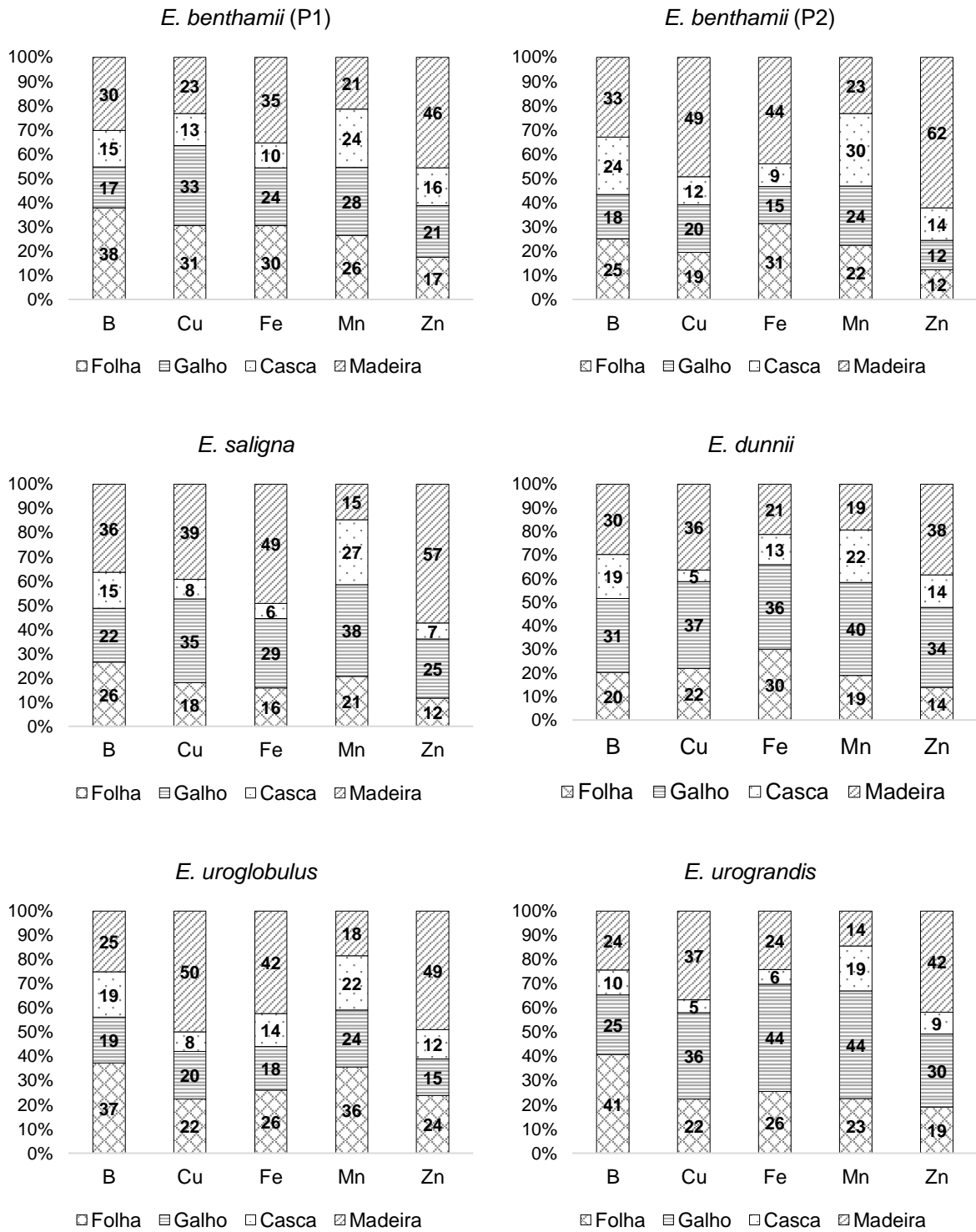
Fonte: Autora (2018).

Figura 2.4 - Distribuição relativa de macronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS



Fonte: Autora (2018).

Figura 2.5 - Distribuição relativa de micronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS



Fonte: Autora (2018).

Em relação aos macronutrientes, a maior quantidade de N foi encontrada nas folhas, variando de 47 % a 55 % para o *E. dunnii* e *E. urograndis*, respectivamente. No mesmo componente também foi constatada a maior quantidade de P, com exceção do *E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*, nos quais a maior quantidade deste elemento foi encontrado na madeira do fuste. No geral, as maiores quantidades de K e S foram constatadas na madeira do fuste, variando de 38 a 53 % (*E. dunnii* e *E. benthamii* (P2)) para o primeiro elemento e de 31 a 43 % (*E. benthamii* (P1) e *E. uroglobulus*) para o segundo.

Em relação aos micronutrientes, a maior quantidade de Zn foi encontrada na madeira do fuste, variando de 38 % a 62 % (*E. dunnii* e *E. benthamii* (P2)). No mesmo componente, com exceção do *E. benthamii* (P1) e *E. dunnii* (galhos) para o Cu, e do *E. dunnii* e *E. urograndis* (galhos) para o Fe, as maiores quantidades destes elementos ocorreram na madeira do fuste, apresentando uma variação de 23 % a 50 % (*E. benthamii* (P1) e *E. uroglobulus*) para o primeiro elemento, e de 21 % a 49 % (*E. dunnii* e *E. saligna*) para o segundo. Cabe destacar que o *E. benthamii* (P2) e *E. saligna* apresentaram grande parte dos micronutrientes alocados na madeira, ou seja, 33 e 36 % do B; 49 e 39 % do Cu; 44 e 49 % do Fe; e 62 e 57 % do Zn, respectivamente.

2.3.2.3 Eficiência de utilização de nutrientes

O coeficiente de utilização biológica (CUB) representa quantas unidades de biomassa são formadas por unidade de nutriente, ou seja, quanto maior o valor mais eficiente é a conversão dos nutrientes em biomassa (WITSCHORECK et al., 2014). Nesse contexto, avaliando os valores referentes ao CUB, constatou-se que, com exceção do P e K no *E. benthamii* (P1) (galhos); Fe e Zn no *E. saligna* (casca); e do Cu no *E. dunnii* e no *E. urograndis* (casca), a madeira do fuste foi o componente que apresentou os maiores valores para os elementos analisados (Tabela 2.9), fato muito importante na área florestal em virtude desse componente ser o principal produto retirado dos povoamentos.

Em contrapartida, com exceção de alguns elementos que obtiveram o menor CUB na casca, tais como Ca, Mg e Mn (*E. benthamii* (P2) e *E. saligna*); K, Ca e Mg (*E. uroglobulus*); Ca e Mg (*E. benthamii* (P1)); Mg e Mn (*E. urograndis*); e K (*E. dunnii*), as folhas foram o componente da biomassa com menor eficiência de utilização de nutrientes, portanto é com a colheita deste componente que poderá ocorrer a maior

exportação de nutrientes, especialmente N, P, S, B, Cu, Fe e Zn. Todavia, considerando a colheita da madeira com casca, o Ca e Mg são os nutrientes que poderão limitar em maior intensidade a produtividade do próximo ciclo, no entanto essa limitação poderá ser reduzida caso seja colhido apenas o lenho. De acordo com Reis e Barros (1990), a alocação de nutrientes na casca é de grande importância na escolha do tipo de exploração a ser adotada, ou seja, se o fuste deve ser explorado ou somente a madeira.

Tabela 2.9 - Eficiência de utilização de nutrientes dos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS

Material genético	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>E. benthamii</i> (P1)	Folha	55	958	168	88	361	641	26.161	174.265	7.542	841	83.624
	Galho	504	7.315	527	98	584	3.514	98.124	268.425	16.043	1.315	113.629
	Casca	247	2.437	240	71	320	2.325	63.766	392.642	22.001	896	90.159
	Madeira	634	6.527	513	855	2.054	5.023	178.834	1.245.970	35.339	5.626	172.958
<i>E. benthamii</i> (P2)	Folha	47	865	166	165	418	811	38.045	140.720	9.398	1.037	77.015
	Galho	331	4.432	401	206	1.181	4.198	85.456	231.500	31.847	1.569	130.416
	Casca	245	2.030	266	95	305	2.625	47.951	284.259	37.646	922	83.556
	Madeira	668	6.289	559	1.970	4.490	7.174	261.043	504.225	60.852	9.063	138.542
<i>E. saligna</i>	Folha	63	1.254	157	92	322	1.143	33.348	183.344	10.311	1.256	94.274
	Galho	613	11.234	544	95	500	4.538	85.720	206.606	12.299	1.491	96.113
	Casca	219	4.051	400	91	273	3.461	63.113	436.773	27.508	1.026	175.298
	Madeira	850	11.988	738	1.185	2.009	8.213	180.876	624.557	24.682	13.169	141.650
<i>E. dunnii</i>	Folha	57	1.098	178	94	306	949	37.733	121.883	6.231	1.016	106.014
	Galho	426	5.768	289	115	556	3.810	70.318	211.441	15.205	1.406	124.926
	Casca	383	2.525	154	108	345	4.056	53.887	726.610	19.318	1.135	139.869
	Madeira	699	6.912	452	666	1.053	5.211	169.089	485.008	58.229	6.522	251.069
<i>E. uroglabulus</i>	Folha	78	1.369	213	125	715	1.229	41.518	226.306	16.658	1.052	123.592
	Galho	634	7.609	412	154	1.708	4.199	90.116	285.483	26.759	1.759	217.794
	Casca	297	2.273	208	111	361	3.445	53.552	410.851	20.647	1.084	158.378
	Madeira	770	10.401	552	1.791	4.927	5.571	327.797	541.126	54.633	10.799	322.165
<i>E. urograndis</i>	Folha	63	1.125	153	77	418	1.165	23.319	139.607	8.810	1.134	82.325
	Galho	640	6.131	464	93	533	4.594	88.601	202.164	11.675	1.327	119.725
	Casca	307	2.681	275	83	282	4.131	68.119	434.381	27.254	1.021	128.658
	Madeira	689	6.927	483	1.227	1.934	5.512	191.179	418.304	45.857	8.716	184.073

Fonte: Autora (2018).

Os micronutrientes apresentaram a melhor eficiência da utilização de nutrientes, tendo maior destaque o Cu, em todos os componentes, apresentando maiores valores na madeira do fuste, com exceção do *E. dunnii*, onde o maior valor foi constatado na casca do fuste. O micronutriente com o menor valor de eficiência nutricional, para todos os componentes, foi o Mn.

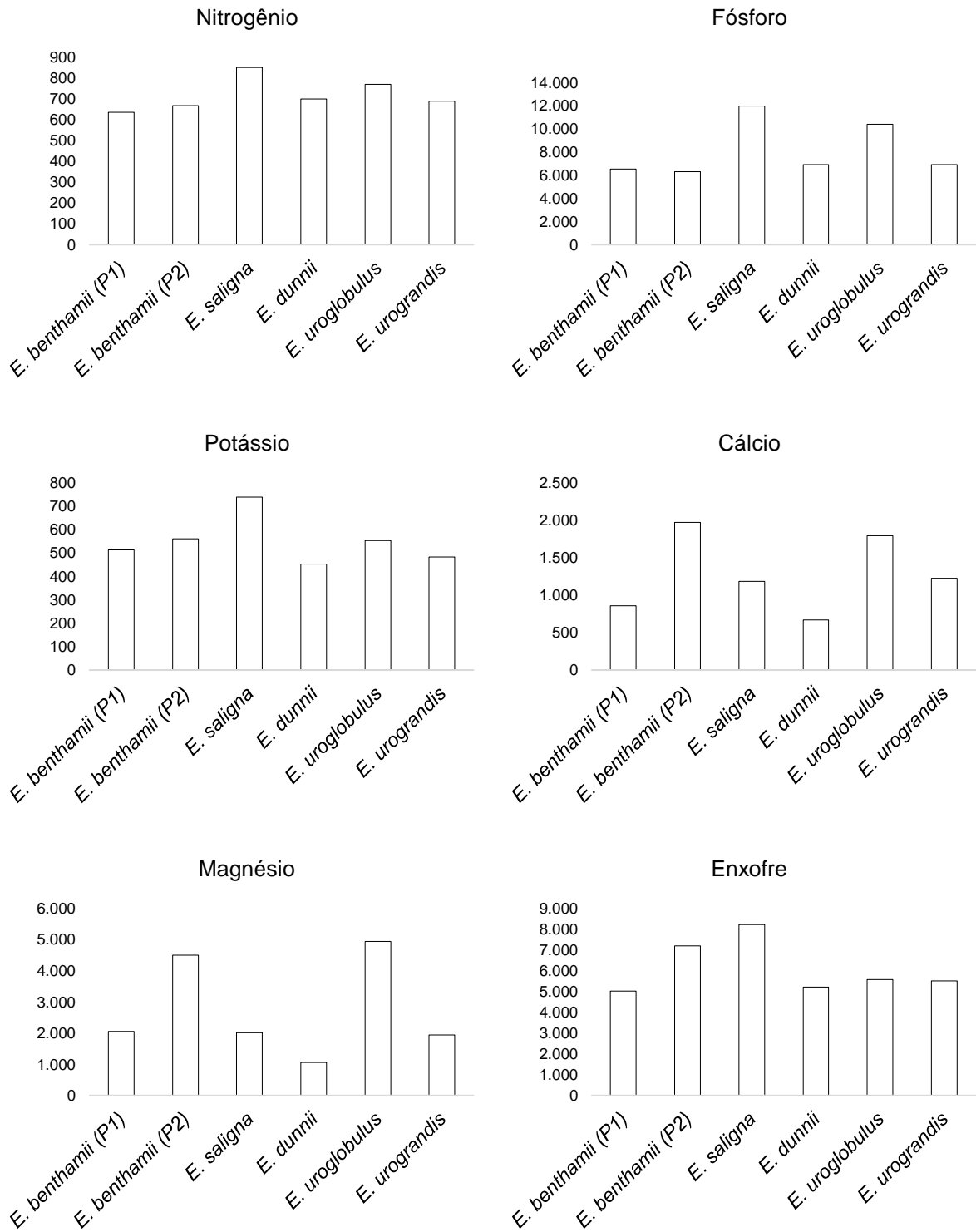
O CUB da madeira do fuste seguiu a seguinte ordem: $Cu > B > Zn > Fe > Mn$, com exceção do *E. dunnii* onde o valor de Zn foi superior ao de B. Esta mesma tendência para a maioria dos materiais genéticos foi encontrada por Ludvichak (2016) para *E. urograndis* de 9 anos de idade em Pinheiro Machado, RS. Já Beulch (2013), estudando um povoamento de *E. saligna* aos 4 anos em São Francisco de Assis, RS, encontrou a mesma tendência do *E. dunnii*.

Entre os macronutrientes o P apresentou a maior taxa de conversão na madeira do fuste para todos os materiais genéticos, com exceção do *E. benthamii* (P2) onde o maior valor do coeficiente foi constatado no S. Em contrapartida, o K apresentou a menor.

Com exceção do *E. benthamii* (P2) no qual o S foi superior ao P e do *E. dunnii*, onde o N foi superior ao Ca, o CUB da madeira decresceu na seguinte ordem: $P > S > Mg > Ca > N > K$, sendo essa mesma tendência encontrada por Ludvichak (2016). Já Salvador (2015), avaliando plantios de *E. urograndis* de 7 anos de idade em Telêmaco Borba, PR, encontrou a mesma tendência, no entanto o Mg foi superior ao S.

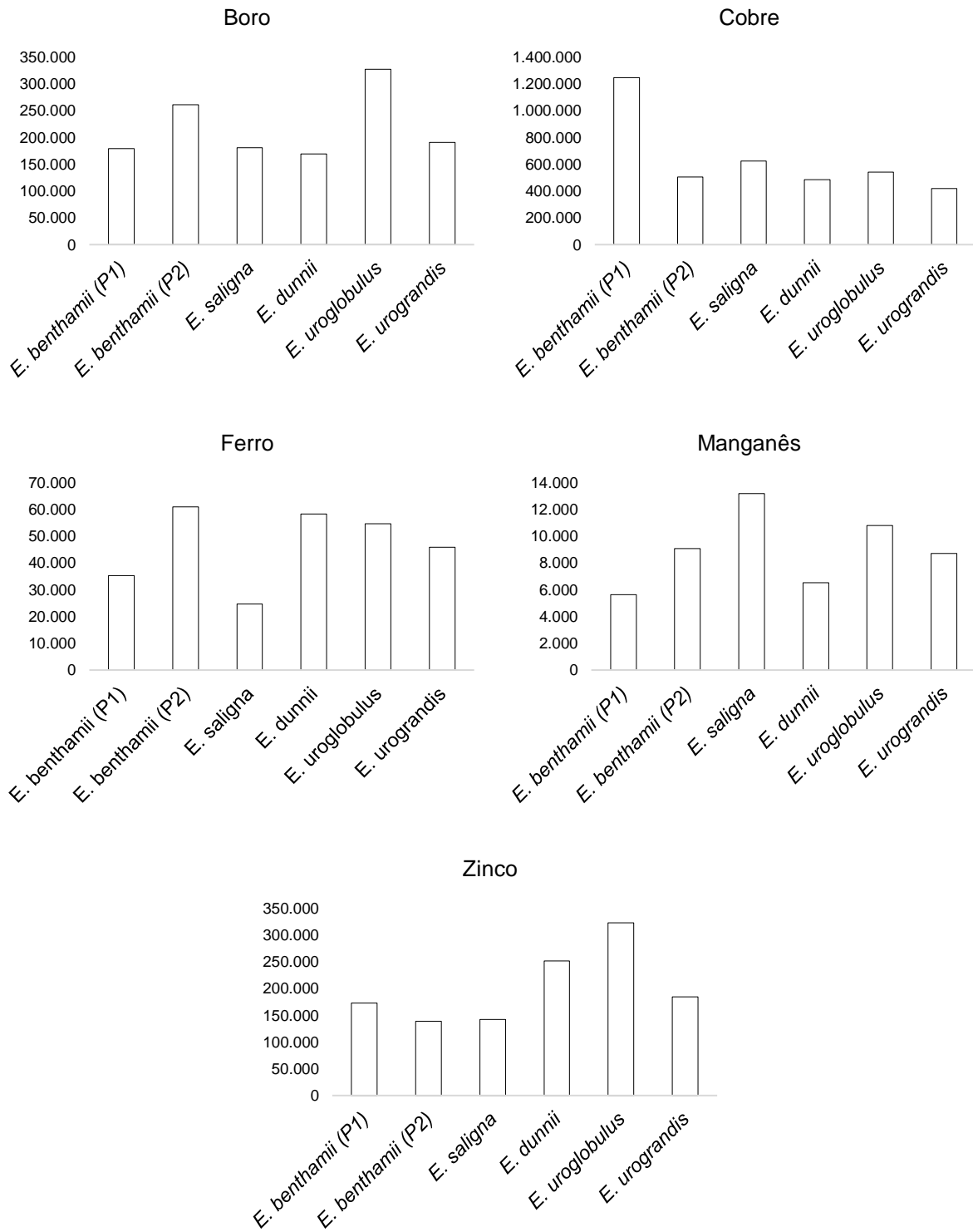
Para a madeira do fuste o *E. saligna* destacou-se com a melhor eficiência de utilização de N, P, K, S e Mn; o *E. uroglobulus* de Mg, B e Zn; e o *E. benthamii* (P2) de Ca e Fe (Figura 2.6 e 2.7). Nesse sentido, em relação ao *E. saligna*, existe uma eficiência de utilização de P de 46 e 48 % superior aos clones *E. benthamii* (P1) e *E. benthamii* (P2), respectivamente. Para o K essa eficiência foi de 35 e 39 % superior ao *E. urograndis* e *E. dunnii*, respectivamente. Segundo Reis e Barros (1990), a eficiência na utilização de nutrientes na produção de madeira varia com o tipo de solo (disponibilidade de nutrientes), com a população de plantas e com a espécie.

Figura 2.6 - Eficiência de utilização de macronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS



Fonte: Autora (2018).

Figura 2.7 - Eficiência de utilização de micronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS



Fonte: Autora (2018).

Cabe destacar que a maior produção de biomassa ocorreu no híbrido *E. urolobulus* seguido do *E. urograndis*, sendo que o primeiro apresentou os maiores valores de CUB para Mg, B e Zn, e o último não teve destaque para nenhum elemento. Em trabalho de Santana, Barros e Neves (2002), estudando a eficiência de utilização de nutrientes em procedências de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes sítios florestais do Estado de São Paulo, foi constatado que as maiores produtividades não foram acompanhadas de maiores valores de eficiência.

2.3.2.4 Exportação de nutrientes pela colheita da biomassa

Na Tabela 2.10 são apresentadas as estimativas de remoção de nutrientes para três cenários de colheita propostos. A colheita apenas da madeira do fuste apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema, independente do material genético. Este cenário proporcionou a manutenção dos macro e micronutrientes acumulados nos demais componentes da biomassa, que variaram de: 70 a 75 % do N (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*); 59 a 69 % do P (*E. benthamii* (P2) e *E. urolobulus*); 47 a 62 % do K (*E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*); 83 a 92 % do Ca (*E. dunnii* e *E. urograndis*); 66 a 79 % do Mg (*E. dunnii* e *E. benthamii* (P2)); 57 a 69 % do S (*E. urolobulus* e *E. benthamii* (P1)); 64 a 76 % do B (*E. saligna* e *E. urograndis*); 50 a 77 % do Cu (*E. urolobulus* e *E. benthamii* (P1)); 51 a 79 % do Fe (*E. saligna* e *E. dunnii*); 77 a 86 % do Mn (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*); e 38 a 62 % do Zn (*E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*).

Considerando a colheita da madeira do fuste com a casca, a permanência dos nutrientes na área reduz para 59 a 67 % do N, 43 a 56 % do P, 33 a 47 % do K, 45 a 74 % do Ca, 39 a 57 % do Mg (*E. benthamii* (P2) e *E. urolobulus*); 49 a 58 % do S (*E. urolobulus* e *E. benthamii* (P1)); 43 a 65 % do B (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*); 39 a 64 % do Cu (*E. benthamii* (P2) e *E. benthamii* (P1)); 44 a 70 % do Fe (*E. urolobulus* e *E. urograndis*); 47 a 67 % do Mn, e 24 a 49 % do Zn (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*).

Em se tratando de macronutrientes, observa-se que, no primeiro cenário (colheita da madeira do fuste), em todos os materiais genéticos, o macronutriente removido em maior quantidade foi o K. No segundo cenário (colheita da madeira do fuste com casca) a maior remoção ocorreu com o Ca (*E. benthamii* (P1), *E. saligna* e

E. urograndis), e com o K (*E. benthamii* (P2), *E. dunnii* e *E. uroglobulus*). E no terceiro cenário (fuste e copa) o elemento removido em maior quantidade foi o Ca, exceto no *E. benthamii* (P2), onde a maior exportação ocorreu com o N. Já o macronutriente exportado em menor quantidade em todos os cenários foi o P, com exceção do *E. benthamii* (P2) no qual foi o S. Para os micronutrientes, em todos os cenários estudados, o elemento removido em maior quantidade foi o Mn e em menor quantidade foi o Cu.

Tabela 2.10 - Estimativa de exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS

Material genético	Intensidade	-----kg ha ⁻¹ -----						-----g ha ⁻¹ -----				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>E. benthamii</i> (P1)	1*	52,27	5,08	64,61	38,78	16,14	6,60	185,40	26,61	938,24	5.893,36	191,70
	2	76,25	7,51	89,33	122,63	34,65	9,15	278,41	41,72	1.207,82	12.512,90	257,48
	3	206,72	15,26	144,89	294,89	68,94	21,55	614,84	114,52	2.648,83	27.483,72	419,74
<i>E. benthamii</i> (P2)	1	50,34	5,34	60,06	17,06	7,48	4,68	128,72	66,64	552,20	3.707,66	242,54
	2	68,34	7,52	76,69	63,45	21,98	6,37	220,86	82,18	669,55	8.500,72	295,42
	3	165,64	13,18	114,27	115,53	36,01	12,39	389,75	134,92	1.255,47	15.971,56	390,40
<i>E. saligna</i>	1	51,29	3,64	59,05	36,77	21,69	5,31	240,94	69,78	1.765,68	3.309,26	307,66
	2	79,57	5,16	74,53	104,94	44,36	7,10	339,05	83,96	1.990,79	9.342,09	342,99
	3	193,15	10,96	135,04	302,58	87,94	15,01	662,53	177,31	3.590,27	22.514,16	537,12
<i>E. dunnii</i>	1	26,92	2,72	41,61	28,23	17,87	3,61	111,26	38,79	323,09	2.884,73	74,93
	2	36,73	4,21	65,93	63,08	28,75	4,54	180,97	43,96	517,54	6.193,15	101,79
	3	105,71	8,24	110,58	165,55	52,90	9,71	373,91	106,39	1.517,86	14.868,75	194,77
<i>E. uroglobulus</i>	1	71,89	5,32	100,21	30,90	11,24	9,94	168,88	102,30	1.013,28	5.126,07	171,83
	2	94,51	8,28	132,46	91,19	29,87	11,89	294,32	118,65	1.338,63	11.321,29	214,25
	3	246,03	17,39	209,21	249,46	51,15	23,09	672,61	204,97	2.393,47	27.761,70	351,28
<i>E. urograndis</i>	1	64,32	6,40	91,76	36,14	22,92	8,04	231,87	105,97	966,68	5.086,16	240,82
	2	86,01	8,89	115,99	116,66	46,53	9,66	329,74	121,32	1.211,28	11.612,99	292,64
	3	261,43	20,30	219,77	456,39	107,09	21,93	951,57	288,71	4.014,67	35.215,16	575,76

1* - Colheita da madeira do fuste; 2 - Colheita da madeira do fuste com casca; 3 - Colheita de toda biomassa acima do solo.

Fonte: Autora (2018).

A maior quantidade de nutrientes exportados com a colheita da biomassa, para o primeiro e segundo cenário ocorreu no *E. uroglobulus* (N, K e S), *E. urograndis* (P, Mg e Cu) e *E. saligna* (B, Fe e Zn). Para o terceiro cenário, a maior exportação de nutrientes foi constatada no *E. urograndis*, exceto para o S, onde a maior remoção ocorreu no *E. uroglobulus*. Em contrapartida, para o primeiro e segundo cenário, o *E.*

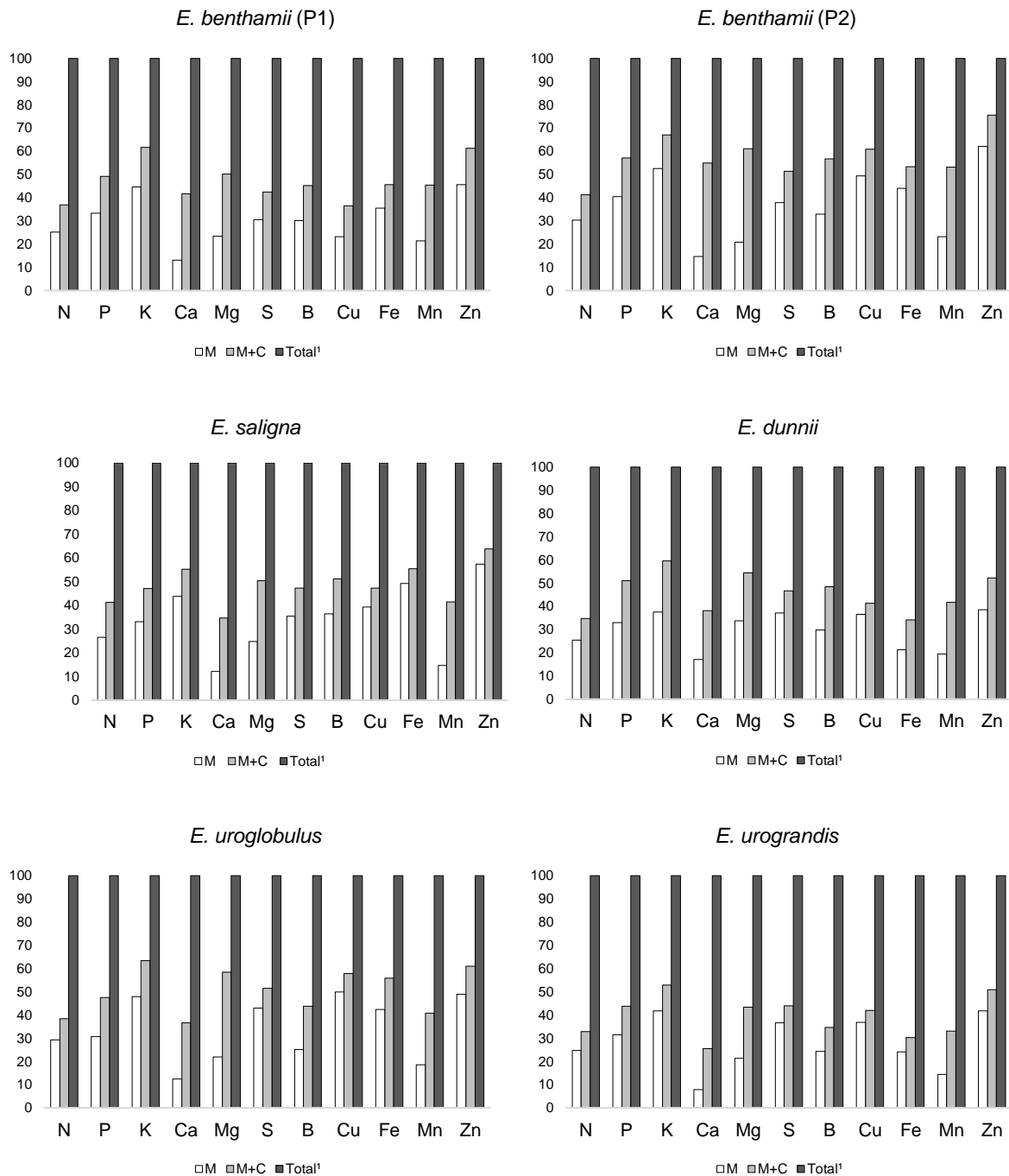
dunnii teve os menores valores de exportação para o N, P, K, Ca (cenário 2), S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

A Figura 2.8 mostra a estimativa da exportação de nutrientes (%), para os diferentes materiais genéticos, em função de três cenários de colheita da biomassa acima do solo. Cabe destacar que quando a madeira é colhida com a casca a remoção de nutrientes se torna mais acentuada, chegando a 42 e 55 % do Ca e 50 a 61 % do Mg exportados do *E. benthamii* (P1) e *E. benthamii* (P2), respectivamente. Nesse sentido, ao retirar o fuste deveria ser realizado o descasque das árvores nos povoamentos para diminuir a exportação de Ca e Mg. Consequentemente, solos com menores concentrações destes nutrientes poderiam ter sua produtividade prolongada por um maior período.

Logo, o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes por diferentes espécies e procedências é de suma importância para as empresas que visam à adoção de técnicas de manejo florestal sustentável. Pois, segundo Guimarães (2014), dependendo do nível de remoção dos nutrientes, grandes quantidades de fertilizantes e calcário poderão ser necessárias para reestabelecer o equilíbrio nutricional e garantir a produtividade florestal nos próximos ciclos de produção, o que aumentaria os custos operacionais.

Cabe ressaltar que a idade de corte exerce influência marcante na exportação de nutrientes. A colheita de povoamentos jovens tende a uma maior exportação de nutrientes por unidade de biomassa, sendo que com o aumento da idade há uma maior eficiência na utilização de nutrientes (VIERA et al., 2015).

Figura 2.8 - Estimativa da exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 43 meses de idade, estabelecidos em São Gabriel, RS



¹Total = Colheita de toda biomassa acima do solo; M + C = Colheita da madeira + casca do fuste; M = Colheita da madeira do fuste.

Fonte: Autora (2018).

2.4 CONCLUSÕES

A diferenciação entre os materiais genéticos ocorreu quanto a produção de biomassa, sendo que o acúmulo nos híbridos *E. uroglobulus* e *E. urograndis* foi superior aos demais clones. Em contrapartida, o *E. dunnii* apresentou a menor produção.

Ocorreu grande variação na concentração e na alocação da quantidade de nutrientes nos diferentes materiais genéticos, e nos diferentes componentes de um mesmo material genético.

O *E. urograndis* apresentou as maiores quantidades totais de macro e micronutrientes, com exceção do S que esteve presente em maior quantidade no *E. uroglobulus*.

No geral, a madeira do fuste foi o componente da biomassa que apresentou a maior eficiência na utilização de nutrientes. Já o componente folhas apresentou a menor eficiência nutricional.

O *E. saligna* destacou-se com a melhor eficiência na utilização de N, P, K, S e Mn, e o *E. uroglobulus* de Mg, B e Zn.

A colheita apenas da madeira do fuste apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema, independente do material genético.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTOSZECK, A. C. P. S. et al. Modelagem da relação hipsométrica para bracatingais da região metropolitana de Curitiba-PR. **Floresta**, v. 32, n. 2, p. 189-204, 2002.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J.L.M; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 2005. p. 105-133.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; ICERI, P. M. Crescimento do *Eucalyptus grandis* plantado em diferentes solos no Estado de São Paulo, Brasil. In: 1º CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 2009, Belo Horizonte. Documentos (Embrapa Florestas. CD-Rom). Colombo/PR: Embrapa Florestas, 2009.

BEULCH, L. S. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith submetido ao primeiro desbaste**. 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412 p.

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

GONÇALVES, J. L. M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, ago. 2013.

GONZÁLEZ-GARCÍA, M. et al. Nutritional, carbon and energy evaluation of *Eucalyptus nitens* short rotation bioenergy plantations in northwestern Spain. **iForest**, v. 9, p. 303-310, 2015.

GUIMARÃES, C.C. **Biomassa e Nutrientes em Plantios de Eucaliptos no Bioma Pampa**. 2014. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

GUIMARÃES, C. C. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 873-882, 2015.

IBÁ, **Indústria Brasileira de árvores**: ano base 2016/IBÁ. Brasília/DF, 2016. 100 p.

INDÁ JUNIOR, A. V. [**Sem título**]. 2017. Imagem formato png.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 5 de janeiro de 2017.

KUYAH, S. et al. Allometry and partitioning of above- and Bellow-ground biomass in farmed eucalyptus species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 55, n. 1, p. 276-284, 2013.

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

LELES, P. S. S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia forestalis**, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

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

LUDVICHAK, A. A. **Biomassa e nutrientes do híbrido *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em plantios monoespecíficos e mistos.** 2016. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de (Ed.). Atlas Climático: Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011.

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.

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. 265-302.

RIBEIRO, S. C. et al. Aboveground and belowground biomass and carbon estimates for clonal *Eucalyptus* trees in southeast Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 2, mar./apr. 2015.

SALVADOR, S. M. **Quantificação da biomassa e nutrientes em plantios de *Eucalyptus urograndis* em solos distintos.** 2015. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

SANQUETTA, C. R. et al. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução.** Curitiba, PR. Ed. Multi-Graphic, 2009, 316p.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Biomass and nutrient content of provenances of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* on different sites of São Paulo State. **Scientia forestalis**, 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, 2002.

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

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, 2004.

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

SCHUMACHER, M. V. et al. Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 27 anos de idade em Cambará do Sul - RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 321-332, abr./jun. 2013.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat statistical attendance. In: WORD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SOUSA, G. T. O. et al. Relações hipsométricas para *Eucalyptus urophylla* conduzidos sob regime de alto fuste e talhadia no Sudoeste da Bahia. **Scientia Plena**. v. 9, n. 4, p. 1-7, 2013.

SOUZA, H. P. **Caracterização nutricional do *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage em Área de Produção de Sementes**. 2015. 53 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TURNER, J.; LAMBERT, M. J. Nutrient cycling in age sequences of two *Eucalyptus* plantation species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 5–6, p. 1701–1712, apr. 2008.

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

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e exportação de nutrientes pela colheita do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 1 ed. Santa Maria: Editora UFSM, 2015, p. 245-272.

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

WITSCHORECK, R. **Recomendação de fertilizantes para *Eucalyptus saligna* SM. com base no balanço nutricional na região de Guaíba-RS**. 2014. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

ZEWDIE, M.; OLSSON, M.; VERWIJST, T. Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globulus* Labill. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, n. 3, p. 421-428, 2009.

3. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM ELDORADO DO SUL, RS, BRASIL

RESUMO

O *Eucalyptus* é um dos gêneros mais plantados no Brasil. Isto pode ser atribuído ao crescimento e elevada produção de biomassa de suas espécies. O objetivo deste trabalho foi estimar a biomassa, o estoque e a eficiência de utilização de nutrientes, além de simular a exportação de nutrientes em diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*. O experimento foi conduzido em Eldorado do Sul, RS, Brasil, em povoamentos com 49 meses de idade. No local foram implantados os seguintes clones: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus* e *E. urograndis*. A biomassa acima do solo foi estimada a partir de três árvores de diâmetro médio, para cada material genético. As árvores selecionadas foram fracionadas em folhas, galhos, casca do fuste e madeira do fuste. Após, coletou-se uma amostra de cada fração para análise dos macro e micronutrientes. O coeficiente de utilização biológica foi calculado através da razão entre a biomassa e a quantidade de nutrientes de cada componente da biomassa. A estimativa de exportação de nutrientes pela biomassa foi calculada para três cenários. A quantidade de biomassa total variou entre 68,40 e 117,52 Mg ha⁻¹, destacando-se os clones *E. dunnii* e *E. urolobulus*, com menor e maior produção de biomassa total. As maiores quantidades de biomassa foram verificadas nos componentes madeira e casca do fuste, exceto para o clone *E. urolobulus*, onde os maiores valores foram observados na madeira do fuste e nos galhos. A copa das árvores acumulou entre 17 a 52 % do total dos macronutrientes (*E. benthamii* (P1) e *E. urolobulus*) e de 24 a 34 % do total de micronutrientes (*E. dunnii* e *E. urolobulus*). Enquanto o fuste acumulou de 48 a 83 % e 66 a 76 % do total de macro e micronutrientes, respectivamente. Os maiores valores do coeficiente de utilização biológica foram verificados nos micronutrientes, com destaque para o cobre. Entre os macronutrientes, o fósforo foi o elemento mais eficientemente utilizado na produção de madeira do fuste. Para o mesmo componente, observou-se que o *E. benthamii* (P2) apresentou os maiores valores de eficiência nutricional para N, Ca, Cu e Fe, e o *E. urolobulus* para P, Mg e B. Em relação a simulação de exportação de nutrientes, no primeiro cenário (colheita da madeira) a maior quantidade de nutrientes exportados ocorreu no *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e no *E. urograndis* (Ca, B, Cu e Zn). No segundo cenário, (colheita da madeira do fuste com casca) a maior quantidade de nutrientes removidos ocorreu no *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e *E. benthamii* (P2) (P, Ca, B e Mn). E no terceiro cenário (fuste e copa), a maior quantidade de nutrientes exportados ocorreu no *E. benthamii* (P1) (P, Ca, B, Mn e Zn), *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e *E. urograndis* (Mg e Cu). Os diferentes materiais genéticos, nas mesmas condições edafoclimáticas, apresentaram produção de biomassa distinta. Foram constatadas variações nas concentrações e quantidades de nutrientes entre os materiais genéticos e nos seus diferentes componentes. No geral os maiores valores do coeficiente de utilização biológica foram encontrados na madeira, e os menores nas folhas. A colheita da madeira do fuste, apresentou os menores valores de remoção de nutrientes do sistema, independente do material genético.

Palavras-chave: Produtividade de *Eucalyptus*. Nutrição florestal. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Eucalyptus is one of the most planted genera in Brazil. This can be attributed to their growth and high biomass production of their species. The objective of this study was to estimate the biomass, nutrient stocks, and nutrient utilization efficiency, as well as to simulate the export of nutrients, in different genetic materials of *Eucalyptus*. The experiment was conducted in Eldorado do Sul, RS, Brazil, in 49-month-old stands. At the site, the following clones were implanted: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus* and *E. urograndis*. The above-ground biomass was estimated from three medium trees for each genetic material. The selected trees were fractionated into leaves, branches, stembark and stemwood. Subsequently, a sample of each fraction was collected for analysis of macro- and micronutrients. The coefficient of biological utilization was calculated by the ratio between the biomass and the amount of nutrients of each component of the biomass. An estimative of nutrient exports by biomass was calculated for three scenarios. The amount of total biomass ranged from 68.40 to 117.52 Mg ha⁻¹, with the highest levels in *E. dunnii* and *E. urolobulus*, with lower and higher total biomass production. The highest amounts of biomass were verified in the stemwood and stembark components, except for the clone *E. urolobulus*, where the highest values were observed in the stemwood and in the branches. The tree canopy accumulated between 17 % and 52 % of the total macronutrients (*E. benthamii* (P1) and *E. urolobulus*) and 24 % to 34 % of the total micronutrients (*E. dunnii* and *E. urolobulus*). While the stem accumulated from 48 to 83 % and 66 to 76 % of total macro and micronutrients, respectively. The highest values of the nutrient's coefficient of biological utilization of the nutrients were verified in micronutrients, with emphasis on the copper. Among the macronutrients, phosphorus was the most efficiently used element in production of stemwood. For the same component, it was observed that *E. benthamii* (P2) presented the highest values of nutritional efficiency for N, Ca, Cu and Fe, and *E. urolobulus* for P, Mg and B. In relation to the simulation of nutrient exports, in first scenario (stemwood harvesting) the highest amount of exported nutrients occurred in the *E. urolobulus* (N, K, S and Fe) and in *E. urograndis* (Ca, B, Cu and Zn). For the second scenario, (stemwood with bark harvesting) highest amount of nutrients removed occurred in *E. urolobulus* (N, K, S and Fe) and *E. benthamii* (P2) (P, Ca, B and Mn). Additionally, in the third scenario (stem and canopy), the highest nutrients exportation occurred for *E. benthamii* (P1) (P, Ca, B, Mn and Zn), *E. urolobulus* (N, K, S and Fe) and *E. urograndis* (Mg and Cu). The different genetic materials, under the same soil and climatic conditions, presented different biomass production. Variations in concentrations and amounts of nutrients were observed between genetic materials and their different components. In general, the highest coefficient of biological utilization values were found in the stemwood, and the lowest in the leaves. The harvest of the stemwood presented the lowest values of nutrient removal from the system, independent of the genetic material.

Keywords: *Eucalyptus* productivity. Forestry nutrition. Sustainability.

3.1 INTRODUÇÃO

A silvicultura do eucalipto tem expandido em todo o mundo, principalmente devido à crescente demanda por madeira e pelo elevado potencial da espécie para produção de biomassa (SILVA et al., 2013). No Brasil, a expansão da silvicultura teve impulso no final da década de 60, estimulada por uma política governamental que subsidiava os programas de reflorestamento de 1967 a 1989, com intuito de desenvolver uma indústria madeireira internacionalmente competitiva (GONÇALVES et al., 2013).

A possibilidade de usar madeira de eucalipto para diversas finalidades levou pequenas e grandes empresas a estabelecer plantios do gênero para múltiplos usos (GONÇALVES et al., 2013). Atualmente, os povoamentos de *Eucalyptus* ocupam 5,6 milhões de hectares da área de plantações florestais do País, tendo apresentado crescimento de 2,8 % ao ano (IBÁ, 2016). A taxa de aumento tem sido constante há mais de 40 anos, indicando um ganho de produtividade em larga escala através de uma melhora nos genótipos e na silvicultura brasileira. Deste modo, melhorar a eficiência do uso de recursos naturais através da criação de genótipos e utilizar práticas apropriadas de gerenciamento de sítios é um desafio fundamental para manter ou aumentar a produtividade de forma sustentável (GONÇALVES et al., 2013).

A produção de biomassa varia conforme a disponibilidade de recursos nos sítios, principalmente que influenciam nos processos de fotossíntese, respiração, compartimentalização do carbono, fluxo subterrâneo, produção de folhas, entre outros (RYAN et al., 2010). A quantificação da biomassa em povoamentos florestais permite determinar o potencial de produção ou adequação de uma determinada espécie para um fim específico, prever o rendimento da colheita, ajudando assim a avaliar a perda ou acúmulo de biomassa ao longo do tempo (KUYAH et al., 2013). Além de estudar a completa utilização da árvore, estimar a produtividade primária do sítio, a ciclagem de nutrientes, o estoque de carbono e a conversão em energia (SILVEIRA et al., 2008).

A quantificação dos nutrientes nos componentes da biomassa de um povoamento permite avaliar a magnitude dos reflexos que seriam causados pela intervenção do ser humano ou por fenômenos naturais (VIERA et al., 2015). Logo, estudos de produção de biomassa e ciclagem de nutrientes são ferramentas importantes que auxiliam nas tomadas de decisões sobre o manejo dos recursos

florestais, a fim de manter a capacidade produtiva do sítio, e conseqüentemente a sustentabilidade do mesmo (CALDATO, 2011).

A distribuição de biomassa e de nutrientes nos diferentes componentes arbóreos, segundo Reis e Barros (1990), é de grande importância na determinação da idade de corte e do componente da árvore a ser explorado, de modo a minimizar a exploração de nutrientes. Portanto, o conhecimento da alocação de nutrientes nos componentes das árvores permite ao silvicultor optar por técnicas de colheita que reduzam a exportação de nutrientes do sítio (SANTANA et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi estimar a biomassa, o estoque e a eficiência de utilização de nutrientes, além de simular a exportação de nutrientes em diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* estabelecidos em Eldorado do Sul, RS.

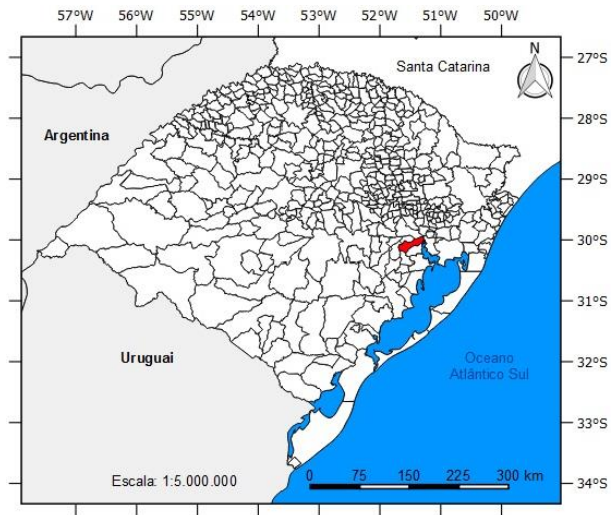
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do sítio

O experimento foi realizado no município de Eldorado do Sul, RS (Figura 3.1), no Horto Florestal Terra Dura, pertencente à Empresa Celulose Riograndense – CMPC. A área está localizada sob as coordenadas geográficas de 30° 11'30,3" de latitude Sul e 51° 37'47,7" de longitude Oeste, à aproximadamente 110 km do Oceano Atlântico Sul. A altitude do local é em torno de 158 m.

O tipo de clima fundamental predominante, segundo a classificação climática de Köppen, 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 (MALUF, 2000).

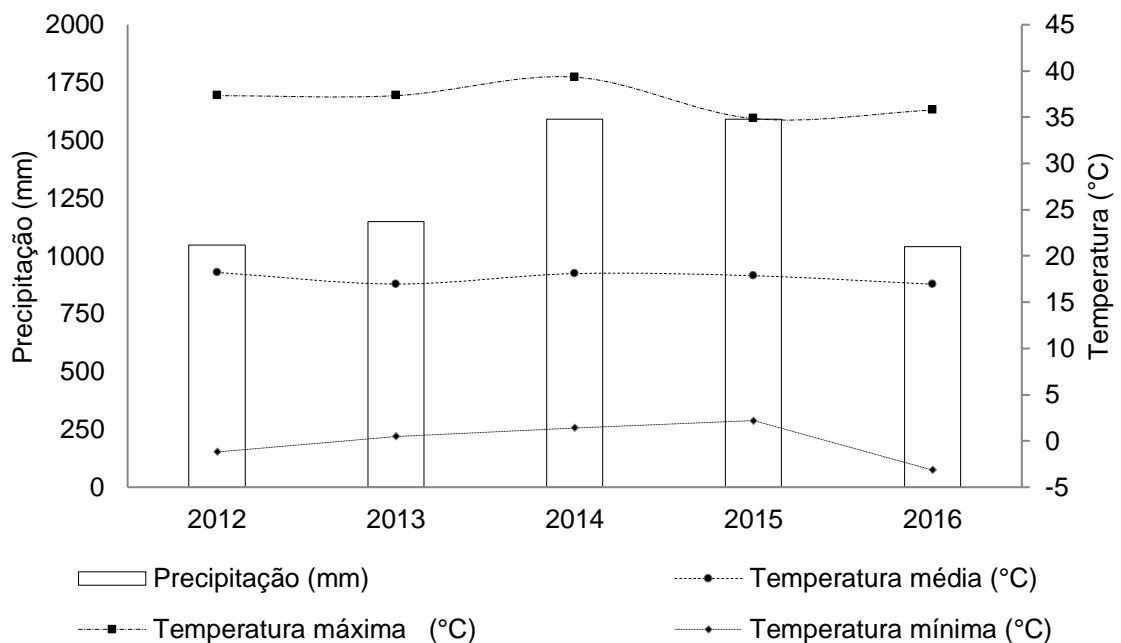
Figura 3.1 - Localização do município de Eldorado do Sul, RS



Fonte: Autora (2018).

Na Figura 3.2 pode-se observar o diagrama climático do município de Eldorado do Sul, RS durante o ano de plantio (2012) até o ano da coleta de dados (2016). A média da precipitação nesse período foi de 1.286,3 mm.

Figura 3.2 - Diagrama climático do município de Eldorado do Sul, RS durante o período de estudo



Fonte de dados: CMPC, 2017.

O solo da área experimental caracteriza-se como Argissolo Vermelho-Amarelo (Figura 3.3). Os Argissolos compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alítico (EMBRAPA, 2009).

Figura 3.3 - Aspecto de um Argissolo Vermelho-Amarelo



Fonte: Indá Junior, 2017.

A Tabela 3.1 apresenta os atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0 a 100 cm, para os diferentes materiais genéticos.

Tabela 3.1 – Atributos físicos e químicos do solo da área implantada com diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 49 meses de idade, em Eldorado do Sul, RS

Material genético	Prof. (cm)	pH	Ds	Argila	MO	m	t	Al	Ca	Mg	P	K	S	B	Cu	Zn
			g cm ⁻³	-----%-----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	-----mg dm ⁻³ -----										
<i>E. benthamii</i> (P1)	0-10	4,5	1,37	31	2,4	52,6	4,2	2,2	1,0	0,8	1,8	72,0	9,9	0,3	0,7	0,7
	10-20	4,3	1,40	33	2,4	86,0	4,1	3,5	0,2	0,2	1,9	44,0	16,3	0,4	0,8	0,4
	20-40	4,4	1,20	65	2,7	91,8	6,2	5,7	0,2	0,2	1,0	63,0	31,2	0,4	1,4	0,6
	40-60	4,5	1,22	71	1,9	88,2	6,2	5,5	0,4	0,2	0,8	69,0	44,7	0,2	1,0	0,4
	60-80	4,6	1,35	51	1,4	88,5	3,7	3,3	0,1	0,2	0,6	58,0	51,5	0,1	0,8	0,3
	80-100	4,9	1,38	27	0,3	87,9	3,4	3,0	0,1	0,2	0,5	51,0	52,3	0,2	0,6	0,3
<i>E. benthamii</i> (P2)	0-10	5,4	1,19	27	3,5	0,0	3,9	0,0	2,5	1,0	1,9	84,0	19,3	0,6	0,3	4,1
	10-20	4,9	1,36	31	3,4	15,3	5,2	0,8	0,8	1,6	2,2	64,0	16,7	0,4	1,0	0,9
	20-40	4,5	1,35	33	3,6	58,7	6,0	3,5	1,3	1,0	1,1	58,0	6,5	0,3	0,8	0,8
	40-60	4,6	1,66	41	0,9	68,5	2,9	2,0	0,6	0,2	3,9	46,0	68,2	0,4	0,5	0,3
	60-80	4,8	1,61	25	0,6	55,4	1,4	0,8	0,4	0,1	0,6	41,0	85,9	0,3	0,2	0,2
	80-100	4,6	1,53	31	0,3	73,9	1,9	1,4	0,3	0,1	0,5	31,0	53,5	0,3	0,4	0,2
<i>E. saligna</i>	0-10	4,7	1,31	27	3,0	22,0	4,5	1,0	2,3	1,0	1,8	78,0	14,1	0,7	1,4	0,6
	10-20	4,5	1,49	25	2,5	53,9	2,6	1,4	0,7	0,3	1,8	75,0	23,2	0,8	1,6	0,5
	20-40	4,6	1,16	53	2,1	65,8	3,3	2,2	0,5	0,4	0,7	65,0	42,8	0,5	2,2	0,5
	40-60	5,0	1,26	61	0,9	60,1	3,3	2,0	0,5	0,7	0,9	60,0	43,5	0,4	1,5	0,3
	60-80	5,2	1,33	55	0,4	29,3	2,7	0,8	0,4	1,4	0,8	60,0	50,2	0,2	1,4	0,3
	80-100	5,3	1,41	51	0,3	16,3	2,5	0,4	0,4	1,5	1,0	49,0	51,1	0,2	1,0	0,3
<i>E. dunnii</i>	0-10	4,7	1,50	19	1,7	40,9	2,4	1,0	0,9	0,5	1,9	44,0	8,3	0,5	1,0	0,5
	10-20	4,7	1,55	21	1,8	74,7	3,2	2,4	0,5	0,3	1,5	33,0	8,6	0,4	1,2	0,4
	20-40	4,7	1,59	25	1,4	61,8	2,3	1,4	0,6	0,2	1,2	34,0	10,9	0,3	1,7	0,4
	40-60	4,7	1,51	27	1,1	61,2	2,3	1,4	0,5	0,2	1,4	38,0	9,3	0,5	1,7	0,5
	60-80	4,8	1,46	33	1,0	54,2	3,7	2,0	0,8	0,8	1,3	38,0	9,1	0,4	1,6	0,5
	80-100	5,0	1,41	45	1,1	52,0	4,2	2,2	0,8	1,2	0,8	36,0	12,0	0,2	1,8	0,5
<i>E. uroglobulus</i>	0-10	4,9	1,34	29	2,4	18,3	4,4	0,8	2,2	1,3	1,8	57,0	17,4	0,4	0,9	0,6
	10-20	4,6	1,33	31	2,4	65,3	4,3	2,8	0,8	0,6	1,6	40,0	20,3	0,4	1,0	0,7
	20-40	4,4	1,29	45	2,3	82,6	5,2	4,3	0,5	0,3	1,4	38,0	35,9	0,6	1,2	0,6
	40-60	4,5	1,00	65	1,5	83,4	5,2	4,3	0,5	0,2	0,6	44,0	57,0	0,4	0,9	0,3
	60-80	4,6	1,28	61	0,8	85,0	4,4	3,7	0,4	0,2	0,7	44,0	51,8	0,4	0,7	0,2
	80-100	4,6	1,53	45	0,5	83,6	3,9	3,3	0,4	0,2	0,7	39,0	52,5	0,2	0,6	0,4
<i>E. urograndis</i>	0-10	4,9	1,41	19	2,8	24,8	4,0	1,0	1,5	1,4	2,0	56,0	4,0	0,9	1,0	0,6
	10-20	4,7	1,43	19	1,8	55,1	3,3	1,8	0,6	0,8	1,8	42,0	4,9	0,7	1,3	0,7
	20-40	4,6	1,36	25	1,6	85,8	3,6	3,1	0,2	0,2	1,2	33,0	14,7	0,7	1,8	0,5
	40-60	4,5	1,36	41	1,2	89,6	3,9	3,5	0,2	0,2	0,8	33,0	37,3	0,5	2,0	0,3
	60-80	4,9	1,33	51	0,8	85,6	4,1	3,5	0,2	0,3	1,4	32,0	39,9	0,4	2,3	0,5
	80-100	5,0	1,38	45	0,7	72,2	4,3	3,1	0,2	0,9	1,8	34,0	58,0	0,2	1,7	0,4

Onde: Ds: Densidade do solo; M.O: Matéria orgânica, digestão por combustão úmida (K₂Cr₂O₇ + H₂SO₄); pH em água (1:1); Al, Ca e Mg trocáveis, extração por solução de KCl (1 mol L⁻¹); P disponível e K trocável, extração do solo com solução Mehlich⁻¹; t: CTC efetiva; m = Saturação por alumínio. S, por solução de Ca (H₂ PO₄)₂ a 500 mg de P L⁻¹.

Fonte: Autora (2018).

Implantação da área experimental

O plantio dos materiais genéticos foi realizado em abril de 2012, com espaçamento de 3 m x 3 m. Para a implantação foi realizada subsolagem a 60 cm, através de um subsolador com três hastes, calagem à lanço com 2 Mg ha⁻¹ de calcário, e 200 kg ha⁻¹ de superfosfato simples. Foram realizadas três adubações; adubação de plantio, cobertura e manutenção. Como adubação de plantio foram aplicados 110 g planta⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (06:30:06) + 0,3 % de Zn e 0,2 % de Cu. Como cobertura aplicou-se 200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (12:00:20) + 0,7 % de B. E como manutenção foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (24:00:26) + 0,5 % B.

Antes do período de implantação das árvores realizou-se capina química com 2,5 kg ha⁻¹ de glifosato. Após o plantio essas capinas foram feitas aos 120 e 300 dias, com 1,7 kg ha⁻¹ de Scout (glifosato) na entrelinha. Também foi realizado o combate às formigas cortadeiras.

Materiais genéticos implantados

Foram implantados seis clones do gênero *Eucalyptus*, sendo eles: *E. benthamii* (P1); *E. benthamii* (P2); *E. saligna*; *E. dunnii*; híbrido de *E. urophylla* x *E. globulus* (*E. uroglobulus*) e híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* (*E. urograndis*). O *E. benthamii* (P1) é de uma procedência de testes realizados em Guarapuava-PR, e o *E. benthamii* (P2) é uma procedência oriunda de Telêmaco Borba- PR. Na época da coleta dos dados, os povoamentos estavam com 49 meses de idade.

Caracterização dendrométrica dos materiais genéticos

A fim de caracterizar a área quanto às variáveis dendrométricas, para cada material genético foi demarcada uma parcela de 8 linhas por 10 plantas, onde aferiu-se o DAP (diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m do nível do solo) de todos os indivíduos, com fita diamétrica, e 20 % das alturas com auxílio de um hipsômetro Vertex.

As alturas não aferidas a campo foram estimadas através de modelos hipsométricos citados na literatura, sendo também utilizado o procedimento Stepwise do SAS, (um com variável independente H e o outro com variável independente Ln de H) para verificar o ajuste de novos modelos. A Tabela 3.2 apresenta os parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da altura total dos diferentes materiais genéticos em Eldorado do Sul, RS.

Tabela 3.2 - Parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da altura total dos diferentes materiais genéticos, aos 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS

Material genético	Modelo	b0	b1	b2	Sy.x (m)	S.yx (%)	R ² aj (%)
<i>E. benthamii</i> (P1)	Stepwise H DAP	31,50676	-148,87998	-	0,5436	2,43	92,30
<i>E. benthamii</i> (P2)	Stepwise Ln H DAP ⁻³	3,36369	-902,87294	-	1,4449	6,15	84,4
<i>E. saligna</i>	Stepwise H DAP ⁻³	24,27250	-10353,00000	-	0,1307	0,59	69,2
<i>E. dunnii</i>	Parabólico	-2,80506	2,03583	-0,03639	2,3716	12,42	77,1
<i>E. uroglobulus</i>	Stepwise H DAP ⁻³	26,88147	-0,00025	-10849,0	0,2983	1,30	85,8
<i>E. urograndis</i>	Linha Reta	15,34913	0,39576	-	0,3856	1,61	63,9

Em que: β_i = coeficientes dos modelos; Sy.x = erro padrão da estimativa (m); S.yx (%) = erro padrão da estimativa em porcentagem; R²aj (%) = coeficiente de determinação ajustado.

Fonte: Autora (2018).

As principais características descritivas dos dados de DAP e altura total estão resumidas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Caracterização dendrométrica de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, aos 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS

Material genético	N° ind ha ⁻¹	DAP (cm)	H (m)	FF	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha ⁻¹)
<i>E. benthamii</i> (P1)	986 (192)*	17,4a (3,5)	22,5a (2,4)	0,44	24,4ab (8,8)	105,19a (51,1)
<i>E. benthamii</i> (P2)	1.000 (216)	16,8a (2,5)	23,4a (2,9)	0,47	22,7b (6,3)	114,99a (48,0)
<i>E. saligna</i>	972 (206)	17,6a (1,3)	22,3a (0,6)	0,47	23,7ab (3,5)	103,63a (29,8)
<i>E. dunnii</i>	875 (195)	15,1b (3,6)	19,2b (4,2)	0,49	16,7c (6,9)	73,96b (40,62)
<i>E. uroglobulus</i>	903 (183)	17,5a (2,7)	23,0a (1,1)	0,43	22,2b (7,3)	100,27a (43,56)
<i>E. urograndis</i>	1.111 (229)	17,3a (1,7)	22,9a (1,8)	0,47	26,4a (4,9)	111,93a (43,24)

Onde: FF = Fator de forma. Média de cada variável nos diferentes tratamentos (materiais genéticos) seguidas por letras iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de erro.

*Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão da média.

Fonte: Autora (2018).

Biomassa e estoque de nutrientes

A partir das informações dendrométricas coletadas, foram amostradas três árvores de diâmetro médio, para cada material genético. As árvores selecionadas

foram seccionadas ao nível do solo, separando-se nos seguintes componentes: folhas, galhos, casca do fuste e madeira do fuste.

A amostragem da madeira e casca do fuste procedeu-se a partir da divisão do fuste em três seções de partes iguais, com a amostragem de três pontos nas posições medianas de cada seção. Todas as amostras de biomassa foram pesadas no campo com balança de precisão e acondicionadas em sacos de papel. Posteriormente foram encaminhadas ao laboratório e secas em estufa com circulação e renovação de ar a 70°C, até a estabilização do peso, para determinação do teor de umidade. Com base na biomassa seca de cada componente e no número de árvores por hectare de cada material genético, estimou-se a biomassa total por hectare.

Para determinação dos nutrientes, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Wiley, com peneira de 30 mesh e submetidas a análise química para determinação dos teores de N pelo método de Kjeldahl; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica; P e B por espectrometria; K por fotometria de chama e S por turbidimetria. Os nutrientes foram analisados conforme a metodologia de Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999). A quantidade de nutrientes nos componentes do eucalipto foi obtida por meio do produto da biomassa seca pela concentração média de nutrientes.

Coeficiente de utilização biológica (CUB)

O Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) foi obtido pela divisão entre a quantidade de biomassa de cada componente e a quantidade de nutriente de cada componente da biomassa, conforme a equação:

$$CUB = \frac{\text{(Quantidade de biomassa)}}{\text{(Quantidade de nutrientes)}}$$

Estimativa da remoção de nutrientes pela colheita

A simulação da remoção dos nutrientes através da colheita da biomassa foi realizada para três cenários, com base no estoque de nutrientes de cada componente da biomassa:

1º cenário - Colheita da madeira do fuste;

2º cenário - Colheita da madeira e casca do fuste;

3º cenário - Colheita de toda a biomassa acima do solo.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software estatístico Assistat 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2009), ao nível de 5 % de probabilidade de erro. Os dados foram submetidos à análise da variância e ao teste de Tukey para comparação das médias entre os diferentes materiais genéticos.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Biomassa acima do solo

Na Tabela 3.4, é possível verificar a distribuição de biomassa em Mg ha^{-1} e kg árvore^{-1} para os diferentes componentes dos materiais genéticos estudados. A produção de biomassa por árvore e sua distribuição para cada componente variaram com o material genético. Observa-se que o *E. uroglobulus* proporcionou a maior produção de biomassa total ($130,15 \text{ kg árvore}^{-1}$) e de madeira ($107,24 \text{ kg árvore}^{-1}$). Já a menor produção foi constatada no *E. dunnii* ($78,17 \text{ kg árvore}^{-1}$), o qual apresentou uma produção de madeira de $62,49 \text{ kg árvore}^{-1}$. A produção de biomassa na madeira, segundo Leles et al. (2001), é de grande importância na tomada de decisões, quanto a escolha de materiais genéticos e de técnicas de manejo a serem adotadas na condução de um povoamento.

Resultados similares de biomassa total foram encontrados por: Ludvichak (2016) avaliando o híbrido *E. urograndis* aos 9 anos de idade ($129,52 \text{ kg árvore}^{-1}$); por Guimarães (2014) estudando a biomassa acima do solo de *E. dunnii* aos 4,6 anos

No que se refere à biomassa da madeira do fuste em Mg ha^{-1} , o híbrido *E. urolobulus* teve uma produção de 25 % e 44 % superior aos clones *E. saligna* e *E. dunnii*, respectivamente. Porém, para o mesmo componente em kg árvore^{-1} , o *E. urolobulus* acumulou 31 % e 42 % a mais de biomassa que o *E. benthamii* (P1) e *E. dunnii*, respectivamente. De acordo com Guimarães et al. (2015), fatores genéticos (melhoramento e procedências), edafoclimáticos e de manejo estão diretamente relacionados a capacidade de produção das espécies.

A maior contribuição para a biomassa total foi da madeira do fuste, seguida da casca do fuste, dos galhos e das folhas, exceto no clone *E. urolobulus*, o qual obteve maior quantidade de galhos a casca do fuste. Considerando-se os mesmos componentes, a distribuição relativa de biomassa foi a mesma encontrada por: Viera et al. (2013), estudando *E. urophylla* x *E. globulus* aos 10 anos de idade, em Eldorado do Sul, RS; por Beulch (2013), avaliando *E. saligna* aos quatro anos de idade, em São Francisco de Assis, RS; por Salvador et al. (2016) avaliando *E. saligna* com 6,7 anos, em Telêmaco Borba, PR; e por Gatto et al. (2011), estudando a biomassa de plantações de eucalipto, com diferentes idades, na Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais.

Ao somar o valor da casca com a madeira, a biomassa do fuste passa a representar de 88 % a 91 %, sendo o menor valor encontrado no *E. benthamii* (P1) e o maior no *E. benthamii* (P2), enquanto a copa (folhas e galhos) representa de 9 % a 12 % do total da biomassa acima do solo. Valores similares foram encontrados por: Schumacher et al. (2011), em povoamentos de *Eucalyptus* spp. nos Hortos Francisquinho e Barba Negra, ambos com sete anos, onde 92 % da biomassa encontrava-se nos componentes madeira e casca; e por Freitas et al. (2004), os quais constataram que os mesmos componentes representavam 92,4 % da biomassa, em povoamentos de *E. grandis*. Entretanto, alguns autores encontraram resultados distintos: Guimarães et al. (2015) avaliando *E. dunnii*, aos quatro anos, identificaram que 81 % da biomassa aérea encontrava-se nos componentes madeira e casca; e Schumacher e Caldeira (2001) estimando a biomassa de *E. globulus* também aos quatro anos observaram que 77 % da biomassa encontrava-se nos mesmos componentes.

Em trabalho de Silva et al. (2004) avaliando a alocação de biomassa em *E. benthamii* aos 12, 24, 36 e 48 meses de idade, observaram que o acúmulo de

biomassa foi diferenciado para cada idade considerada. O compartimento madeira passou a assumir mais da metade da biomassa a partir dos 24 meses de idade. Conforme os autores, a variação da alocação de biomassa ao longo da idade acompanha a tendência geral observada para diversas espécies.

Em experimento de Viera et al. (2017), avaliando *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. grandis* aos 18 meses de idade observaram que mesmo em idade precoce, a biomassa da madeira apresentava a maior contribuição relativa à biomassa aérea total, enquanto a biomassa da casca apresentava a menor. As proporções médias foram de 41,5 % e 37,4 % para a madeira e 7,5 % e 7,1 % para a casca, para *E. saligna* e *E. urophylla* x *E. grandis*, respectivamente.

Segundo Schumacher et al. (2011), antes do fechamento das copas, ocorre um período de intenso crescimento no qual a maior parte dos fotoassimilados sintetizados pela planta é canalizada para a formação da copa e sistema radicular. Nessa fase, as raízes exploram parcialmente o volume de solo e as árvores não competem entre si por fatores de crescimento (luz, água e nutrientes). Após o fechamento das copas das árvores, o acúmulo de nutrientes ocorre com mais intensidade nos fustes, uma vez que a formação de copas atinge uma fase de relativa estabilidade, em razão do auto-sombreamento que impõe uma área foliar máxima limite.

Em pesquisa realizada por Zhang et al. (2012), no Delta do Rio das Pérolas no Sul da China, ao agruparem espécies de eucaliptos em três classes de idade: <6 anos, 6-15 anos e 16 anos, os autores encontraram um aumento acentuado no acúmulo de biomassa com o aumento da idade 54,63; 136,94 e 186,43 Mg ha⁻¹, respectivamente. De acordo com Witschorek (2008), a prioridade de alocação de fotoassimilados é condicionada pelo padrão da espécie, idade e condições de desenvolvimento.

3.3.2 Nutrientes na biomassa

3.3.2.1 Concentração de nutrientes

As concentrações de nutrientes variaram entre os materiais genéticos e nos diferentes componentes dentro de um mesmo material genético (Tabela 3.5). No geral, as folhas destacaram-se com as maiores concentrações de nutrientes e a madeira com as menores, já os galhos e a casca do fuste apresentaram valores intermediários.

Tabela 3.5 - Concentração de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS

Material genético	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹							mg kg ⁻¹			
<i>E. benthamii</i> (P1)	Folha	22,83a	1,38a	8,24ab	6,07a	2,85ab	1,35a	19,68bc	4,90a	133,63a	460,59a	16,10a
	Galho	1,91a	0,34a	3,34a	5,58a	1,83a	0,31a	6,20ab	3,72b	51,44a	307,19a	10,77a
	Casca	5,38a	0,58a	5,92a	15,94a	3,69ab	0,32a	13,97a	3,18a	32,33ab	508,08a	15,82a
	Madeira	0,89a	0,17a	1,97a	0,57ab	0,28bc	0,18a	2,90a	1,08ab	69,03a	20,51a	4,94a
<i>E. benthamii</i> (P2)	Folha	23,52a	1,27ab	6,63bc	5,19a	2,72ab	1,28a	24,48ab	5,74a	124,37ab	358,99a	13,13ab
	Galho	1,57a	0,26ab	2,90a	2,90a	1,31ab	0,29a	5,20b	2,84b	45,03a	162,36ab	9,42a
	Casca	5,32a	0,69a	4,91a	8,08b	3,68ab	0,35a	13,14a	2,56a	27,70b	285,22ab	13,29a
	Madeira	0,45a	0,11b	1,52bc	0,37b	0,20c	0,18a	1,86ab	0,73b	20,26a	14,66a	4,58ab
<i>E. saligna</i>	Folha	20,61a	1,26ab	8,31a	4,63a	3,11ab	1,26a	28,72a	5,45a	77,23b	179,76a	11,96ab
	Galho	1,57a	0,29ab	3,14a	5,56a	1,93a	0,34a	7,13a	6,55a	39,74a	107,19b	8,32a
	Casca	2,16bc	0,53a	4,19a	9,10b	3,72a	0,33a	11,25a	3,72a	32,32ab	238,13b	7,26a
	Madeira	0,74a	0,08b	1,32c	0,47b	0,36b	0,21a	1,81ab	1,10ab	27,69a	6,49a	4,25ab
<i>E. dunnii</i>	Folha	21,62a	1,23ab	6,08c	6,49a	3,55a	1,26a	19,52bc	6,38a	100,98ab	300,37a	15,17a
	Galho	1,89a	0,25ab	2,44a	4,21a	1,79a	0,31a	6,40ab	4,54ab	47,51a	165,63ab	7,71a
	Casca	4,08ab	0,42a	5,84a	9,17b	3,23ab	0,25a	12,83a	3,06a	32,14ab	288,47ab	9,61a
	Madeira	0,80a	0,09b	1,37c	0,70a	0,55a	0,19a	2,75a	0,92ab	23,34a	18,94a	2,84c
<i>E. uroglobulus</i>	Folha	18,46a	0,99b	6,27bc	4,18a	2,13b	1,01b	15,20c	4,27a	83,19ab	222,94a	10,32b
	Galho	1,54a	0,19b	3,34a	3,76a	0,99b	0,26a	6,20ab	3,15b	46,76a	95,45b	7,38a
	Casca	2,70bc	0,42a	6,45a	7,84b	2,92b	0,35a	14,21a	2,72a	29,16ab	231,58b	8,75a
	Madeira	0,91a	0,08b	1,60bc	0,44b	0,18c	0,23a	1,30b	1,06ab	65,58a	10,37a	3,41bc
<i>E. urograndis</i>	Folha	21,10a	1,21ab	7,67abc	5,35a	3,98a	1,29a	30,72a	6,49a	74,51b	196,63a	12,81ab
	Galho	0,81a	0,22ab	3,14a	5,08a	1,86a	0,26a	4,87b	4,58ab	48,48a	172,69ab	8,55a
	Casca	1,90c	0,59a	4,42a	9,33b	3,36ab	0,34a	8,49a	3,22a	56,56a	284,29ab	6,88a
	Madeira	0,87a	0,09b	1,71ab	0,55ab	0,27bc	0,18a	3,10a	1,47a	30,55a	10,20a	4,74a

Médias de cada componente da biomassa nos diferentes tratamentos (materiais genéticos) seguidas por letras iguais, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de erro.

Fonte: Autora (2018).

A tendência que a maioria dos nutrientes tem de se concentrar nas folhas, segundo Viera et al. (2013), ocorre em virtude desse componente possuir maior atividade metabólica, além do fato que nessa região é onde são encontradas a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e transpiração.

Essa mesma tendência, da maior concentração de nutrientes ser constatada nas folhas e a menor na madeira, também foi encontrada por Viera et al. (2013), avaliando povoamentos de *E. urograndis* com 18 meses de idade em Piratini, RS; por Guimarães et al. (2015) estudando povoamento de *E. dunnii* aos 4 anos em Alegrete, RS; e por Albaugh et al. (2017), avaliando *E. globulus* no Chile.

Em relação aos macronutrientes analisados, o N, P, K e S concentraram-se mais nas folhas do que nos demais componentes, exceto no *E. uroglobulus*, onde o K concentrou-se mais na casca. Já o Ca e Mg apresentaram maior concentração na casca, exceto no *E. dunnii* e *E. uroglobulus*, onde o maior teor de Mg ocorreu nas folhas.

Para os micronutrientes, a maior concentração ocorreu nas folhas, exceto para o Cu (*E. saligna*), onde a maior concentração foi constatada nos galhos; e para o Mn (*E. benthamii* (P1), *E. saligna*, *E. uroglobulus* e *E. urograndis*) e o Zn (*E. benthamii* (P2)), nos quais as maiores concentrações foram observadas na casca.

3.3.2.2 Quantidade de nutrientes

A distribuição do estoque de nutrientes na biomassa arbórea está apresentada na Tabela 3.6. A magnitude de armazenamento dos macronutrientes da biomassa total seguiu a seguinte ordem: $K > Ca > N > Mg > S > P$. No entanto, para o *E. benthamii* (P1) o estoque de P foi superior ao de S; para o *E. benthamii* (P2) e *E. uroglobulus* o estoque de N foi maior que o de Ca; e para o *E. dunnii* foi encontrada a seguinte magnitude de armazenamento: $N > K > Ca > Mg > S > P$. Em experimento de Santos et al. (2017), estudando *E. urograndis* aos 30 e 60 meses em Seropédica, RJ, foi observado a seguinte sequência $K > N > Ca > Mg > P$.

Tabela 3.6 - Quantidade de nutrientes nos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS

Material genético	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		-----kg ha ⁻¹ -----						-----g ha ⁻¹ -----				
<i>E. benthamii</i> (P1)	Folha	99,70	6,00	36,00	26,50	12,40	5,90	86,00	21,40	586,30	2.033,50	70,40
	Galho	13,40	2,40	23,50	39,30	12,80	2,20	43,60	26,30	362,90	2.173,40	76,20
	Casca	44,10	4,80	48,60	129,80	30,20	2,70	115,30	26,10	265,20	4.164,70	130,70
	Madeira	65,50	12,30	143,50	41,90	20,10	13,20	210,30	78,30	4.956,10	1.515,90	360,90
	Total	222,70	25,60	251,60	237,60	75,50	24,00	455,20	152,20	6.170,60	9.887,50	638,20
<i>E. benthamii</i> (P2)	Folha	92,50	5,00	26,00	20,20	10,70	5,00	95,60	22,40	490,40	1.400,70	51,30
	Galho	7,70	1,30	14,60	14,90	6,70	1,50	26,40	14,20	228,60	835,00	47,00
	Casca	45,60	6,00	42,30	70,40	31,80	3,00	113,20	21,90	240,50	2.452,30	113,30
	Madeira	37,90	9,60	127,60	31,40	16,70	15,50	155,20	61,40	1.688,90	1.230,00	383,60
	Total	183,70	21,80	210,50	136,90	65,80	25,00	390,40	119,70	2.648,50	5.918,00	595,20
<i>E. saligna</i>	Folha	66,50	4,00	26,70	14,90	10,00	4,00	92,50	17,60	248,40	574,90	38,60
	Galho	8,70	1,60	17,60	31,30	10,80	1,90	39,80	36,60	221,60	594,70	46,40
	Casca	17,00	4,20	33,10	72,10	29,50	2,60	89,20	29,50	255,20	1.882,40	57,50
	Madeira	53,60	5,90	95,70	34,50	25,90	15,10	131,20	80,00	1.993,90	466,70	309,80
	Total	145,70	15,70	173,10	152,80	76,10	23,70	352,80	163,80	2.719,10	3.518,70	452,30
<i>E. dunnii</i>	Folha	66,00	3,80	18,50	19,90	10,80	3,90	59,50	19,50	309,90	941,40	46,70
	Galho	8,20	1,10	10,90	19,30	8,10	1,40	29,30	20,40	217,20	791,90	34,80
	Casca	24,50	2,50	34,70	55,30	19,40	1,50	77,50	18,30	193,50	1.818,30	57,00
	Madeira	41,50	4,80	74,10	38,20	30,30	10,40	150,40	51,00	1.304,20	1.070,80	155,20
	Total	140,30	12,20	138,20	132,70	68,60	17,10	316,70	109,20	2.024,80	4.622,30	293,70
<i>E. urolobulus</i>	Folha	120,00	6,40	40,80	27,30	14,00	6,60	99,40	27,60	548,80	1.457,60	67,80
	Galho	11,40	1,40	25,40	28,20	7,40	1,90	46,80	23,50	349,40	729,80	55,40
	Casca	17,90	2,80	43,50	51,90	19,70	2,40	95,40	18,40	198,00	1.556,70	59,20
	Madeira	88,10	7,70	154,80	42,80	17,50	22,10	125,80	103,20	6.782,90	1.018,30	328,50
	Total	237,40	18,40	264,50	150,20	58,70	33,00	367,40	172,70	7.879,00	4.762,30	511,00
<i>E. urograndis</i>	Folha	64,30	3,70	23,40	16,30	12,10	3,90	93,60	19,80	227,10	599,40	39,10
	Galho	6,00	1,70	23,20	37,70	13,80	1,90	36,10	33,90	359,20	1.279,60	63,30
	Casca	14,80	4,60	34,30	72,40	26,10	2,70	65,90	25,00	438,90	2.206,10	53,40
	Madeira	73,00	7,30	143,00	46,10	22,90	14,80	259,50	122,50	2.553,30	852,30	396,40
	Total	158,00	17,20	223,90	172,50	74,90	23,40	455,00	201,10	3.578,50	4.937,40	552,10

Fonte: Autora (2018).

Para os micronutrientes, a ordem de distribuição foi: Mn > Fe > Zn > B > Cu, exceto para o *E. dunnii*, onde a quantidade de B foi superior à de Zn; e para o *E. urolobulus*, onde a quantidade Fe foi mais elevada que a de Mn.

As maiores quantidades totais de P, Ca, B, Mn e Zn foram constatadas no *E. benthamii* (P1); de N, K, S e Fe no *E. urolobulus*; de Mg no *E. saligna*; e de Cu no *E.*

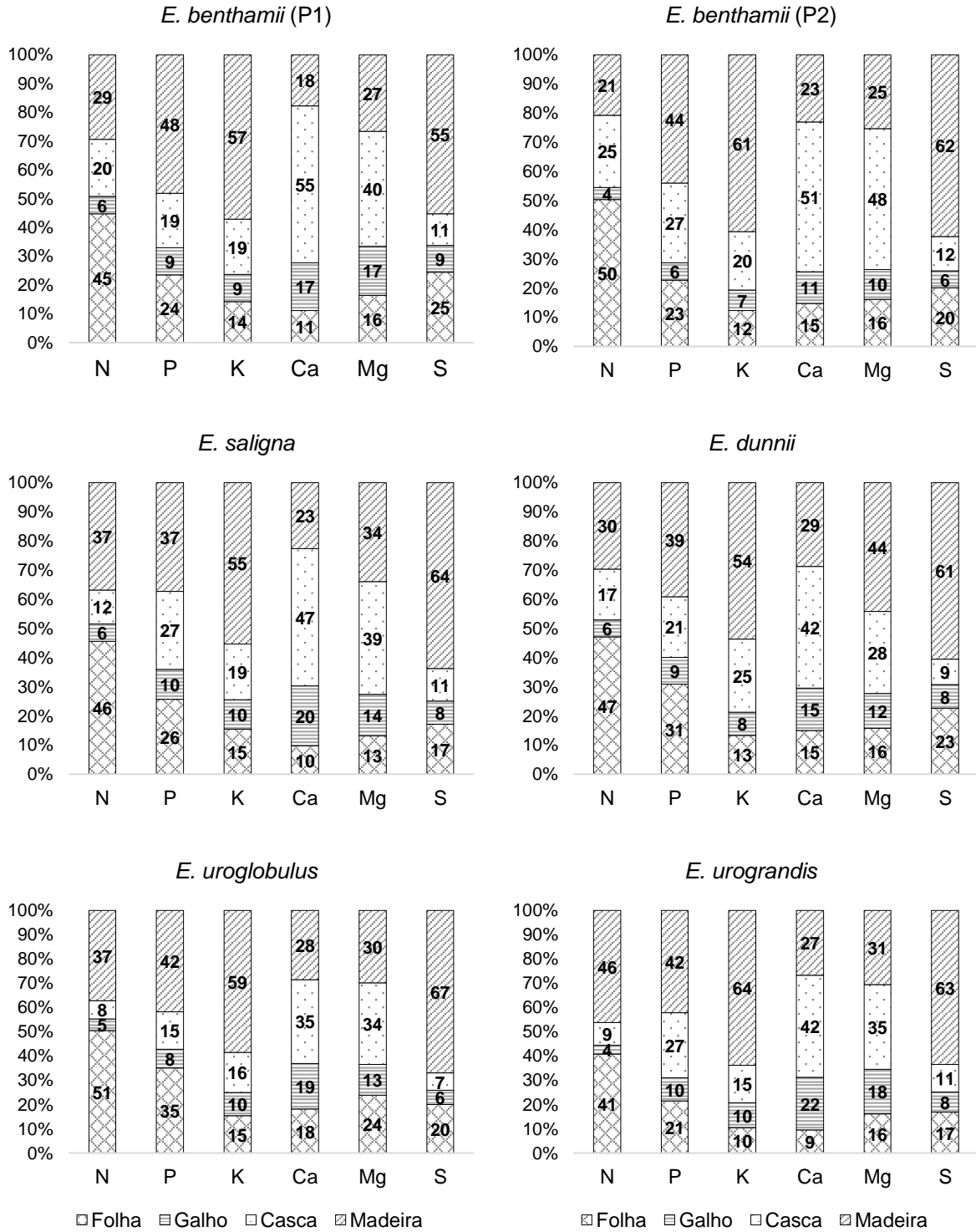
urograndis. Cabe ressaltar que no *E. uroglobulus* foi observado 39 e 41 % a mais de N e 35 e 48 % a mais de K em relação aos clones *E. saligna* e *E. dunnii*. Já no *E. benthamii* (P1) foi constatado 33, 39 e 52 % a mais de P em comparação com o *E. urograndis*, *E. saligna* e *E. dunnii*, respectivamente.

A copa (folhas e galhos) acumulou entre 17 a 52 % do total de macronutrientes (*E. benthamii* (P1) e *E. uroglobulus*) e de 24 a 34 % do total de micronutrientes (*E. dunnii* e *E. uroglobulus*). Já o fuste (madeira e casca) concentrou entre 48 a 83 % e 66 a 76 % do total de macro e micronutrientes, respectivamente. De acordo com Bellote e Silva (2004), a distribuição e o conteúdo total de nutrientes na copa das árvores são afetados principalmente por alterações na quantidade de biomassa e por diferenças que ocorrem com a idade, tanto da árvore como das folhas, em seus diferentes estágios fisiológicos.

A Figura 3.4 e 3.5 expõe a distribuição relativa da quantidade de macro e micronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, alocados em Eldorado do Sul, RS. Analisando a quantidade de macronutrientes nos diferentes componentes da biomassa, observa-se que o N foi o nutriente que ocorreu em maior quantidade nas folhas, com exceção do *E. urograndis* onde o elemento foi verificado em maior quantidade na madeira. O P, K e S tiveram maior representação na madeira, e o Ca e Mg na casca, exceto no *E. dunnii*, onde a maior quantidade de Mg foi constatada na madeira. Já os micronutrientes armazenaram-se mais na madeira, exceto o Mn que apresentou maior quantidade na casca.

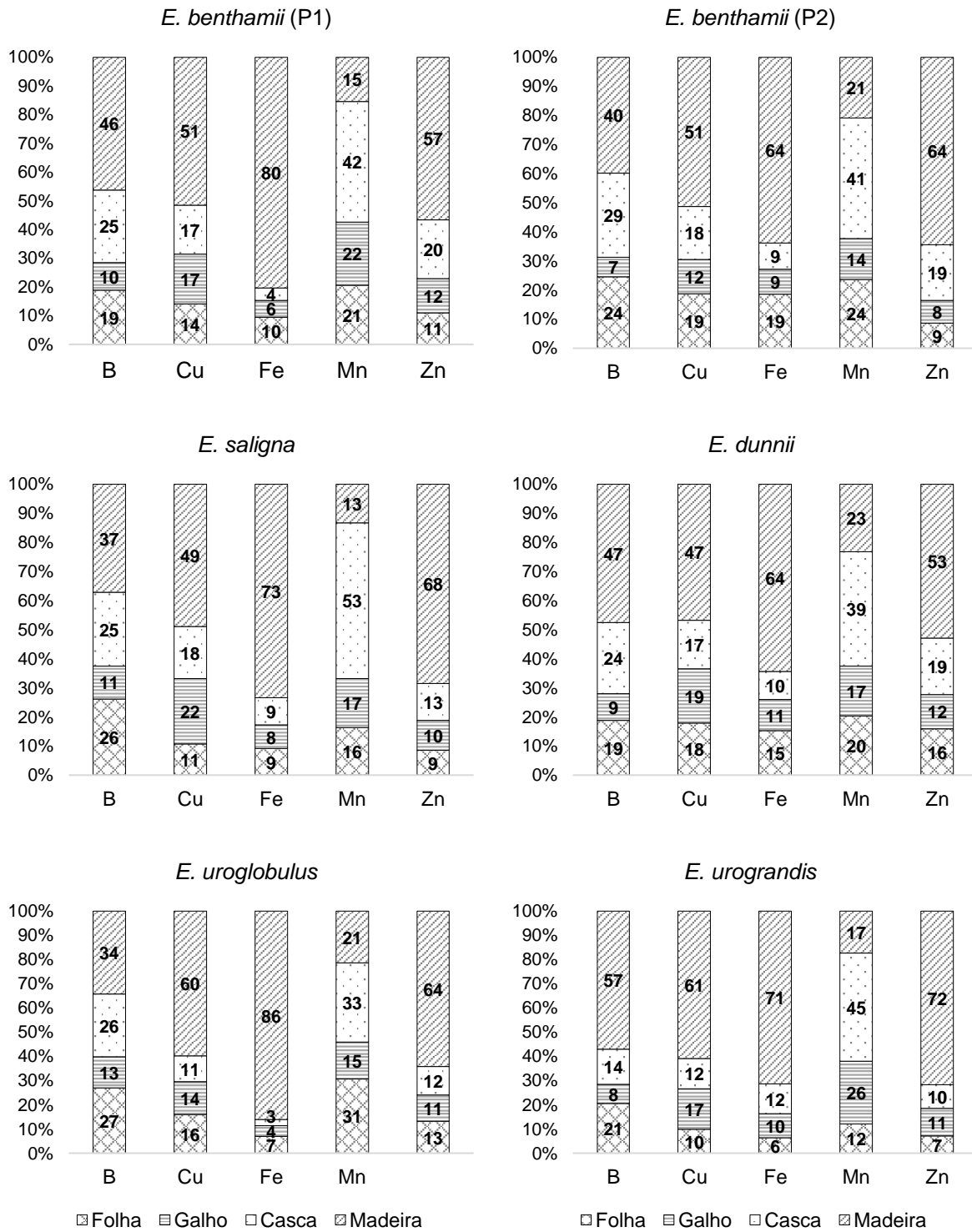
Cabe destacar que entre os macronutrientes foi observado que 64 % de K e 63% de S foram alocados na madeira do *E. urograndis*; e 61 e 62 % dos mesmos nutrientes foram constatados no *E. benthamii* (P2). Para os micronutrientes, o Fe apresentou altos valores no mesmo componente, chegando a 80 % e 86 % no *E. benthamii* (P1) e *E. uroglobulus*, respectivamente. O Zn também apresentou grandes quantidades na madeira do fuste, que variaram de 53 a 72 % nos clones *E. dunnii* e *E. urograndis*.

Figura 3.4 - Distribuição relativa da quantidade de macronutrientes por componente da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS



Fonte: Autora (2018).

Figura 3.5 - Distribuição relativa da quantidade de micronutrientes por componente da biomassa em diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS



Fonte: Autora (2018).

3.3.2.3 Eficiência de utilização de nutrientes

O Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) demonstra quantas unidades de biomassa é formada por unidade de nutriente, e quanto mais alto o valor, mais eficiente é a conversão dos nutrientes em biomassa. Nesse sentido, para ser exportado menor quantidade de nutriente por unidade de biomassa o CUB deve ser o mais alto possível (WITSCHORECK, 2008).

Observa-se na Tabela 3.7 que, com exceção do Fe (*E. benthamii* (P1) e *E. urolobulus*) onde o CUB foi maior na casca do fuste; e do N (*E. urograndis*) no qual os galhos tiveram o maior valor, a madeira do fuste foi o componente da biomassa que apresentou a maior eficiência na utilização de nutrientes, o que é considerado de extrema relevância para os empreendimentos florestais, em virtude desse componente ser o principal produto retirado dos povoamentos florestais.

No geral, os maiores valores de CUB foram constatados nos micronutrientes, onde o Cu destacou-se em todos os componentes, apresentando valores superiores na madeira do fuste. Para este componente, o coeficiente de utilização biológica seguiu a seguinte ordem decrescente: Cu > B > Zn > Mn > Fe, sendo esta mesma tendência encontrada por Guimarães (2014) avaliando povoamentos de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urograndis* de 4,6 anos de idade em Alegrete, RS.

Em relação aos macronutrientes, o P destacou-se como o elemento mais eficientemente utilizado na madeira do fuste. Em contrapartida, o macronutriente que apresentou a menor eficiência foi o N, nas folhas. O coeficiente de utilização biológica da madeira do fuste decresceu na seguinte ordem: P > S > Mg > Ca > N > K, exceto para o *E. urolobulus* onde o Mg foi superior ao S. Resultados similares, com inversão da distribuição de alguns nutrientes foram constatados por Santos et al. (2017) estudando *E. urograndis* aos 5 anos de idade em Seropédica, RS (P > Mg > Ca > N > K); por Guimarães (2014), avaliando povoamentos de *E. grandis*, *E. saligna* e *E. urograndis* de 4,6 anos de idade em Alegrete, RS, (P > Mg > Ca > S > N > K); e por Santana, Barros e Neves (2002), estudando procedências de *E. grandis* e *E. saligna* em sítios florestais de São Paulo (P > Mg > K > N > Ca).

De modo geral os menores valores de CUB foram encontrados nas folhas, com exceção de alguns elementos, nos quais os menores coeficientes foram constatados na casca do fuste, como foi o caso do Ca, Mg e Mn nos clones *E. benthamii* (P1) e *E.*

saligna; do K, Ca, Mg e Mn no *E. uroglubulus*; do Ca e Mg no *E. benthamii* (P2); do Ca e Mn no *E. urograndis*; e do Ca no *E. dunnii*. Nesse sentido, é com a colheita das folhas que ocorrerá a maior exportação de nutrientes, especialmente N e K. Em contrapartida, considerando apenas a colheita da madeira do fuste com casca, o Ca e Mg são os nutrientes que mais poderão limitar a produtividade do próximo ciclo, mas esta limitação poderá ser reduzida caso seja realizada apenas a colheita do lenho.

Em relação aos demais componentes da biomassa, o P apresentou a maior taxa de conversão para as folhas e galhos, exceto para o *E. benthamii* (P1) onde o S obteve eficiência nutricional superior. Já para a casca do fuste, o S apresentou a maior taxa de conversão.

Tabela 3.7 - Eficiência de utilização de nutrientes dos componentes da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS

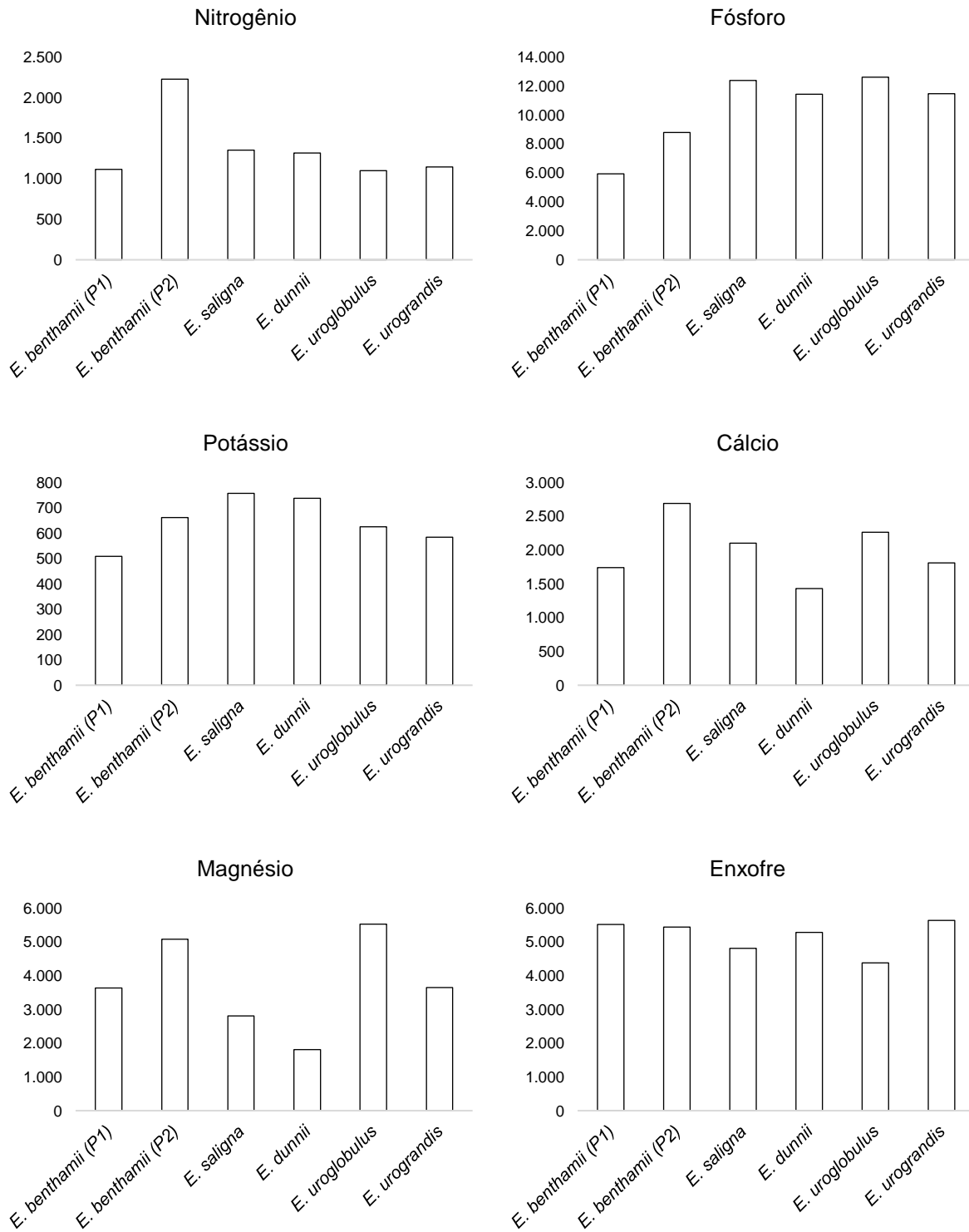
Material genético	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>E. benthamii</i> (P1)	Folha	44	723	121	164	351	740	50.706	203.368	7.437	2.144	61.975
	Galho	526	2.907	300	179	549	3.176	161.441	267.639	19.407	3.241	92.390
	Casca	185	1.699	168	63	271	3.070	70.875	312.609	30.799	1.961	62.494
	Madeira	1.116	5.939	509	1.742	3.634	5.514	347.279	933.091	14.737	48.182	202.399
<i>E. benthamii</i> (P2)	Folha	42	791	151	194	368	784	40.987	175.244	7.992	2.798	76.460
	Galho	660	3.878	347	341	757	3.473	192.308	358.293	22.212	6.080	108.033
	Casca	189	1.441	203	122	271	2.907	75.968	393.553	35.754	3.507	75.873
	Madeira	2.228	8.795	662	2.692	5.071	5.437	544.211	1.376.084	49.995	68.651	220.141
<i>E. saligna</i>	Folha	49	798	121	216	322	797	34.868	182.763	12.979	5.608	83.607
	Galho	645	3.482	319	179	520	2.981	140.612	152.949	25.284	9.421	120.734
	Casca	466	1.891	239	110	269	2.989	88.700	268.164	31.023	4.206	137.632
	Madeira	1.353	12.391	758	2.103	2.803	4.807	552.606	905.966	36.364	155.370	234.061
<i>E. dunnii</i>	Folha	47	817	167	155	285	798	51.850	158.141	9.962	3.279	66.107
	Galho	556	4.047	419	237	564	3.307	156.571	224.899	21.106	5.790	131.794
	Casca	247	2.379	174	109	312	4.018	78.002	330.696	31.254	3.326	106.134
	Madeira	1.317	11.439	738	1.431	1.807	5.279	363.615	1.071.303	41.925	51.065	352.245
<i>E. uroglubulus</i>	Folha	54	1.014	160	239	465	988	65.593	236.128	11.878	4.472	96.073
	Galho	657	5.269	294	265	1.009	3.892	159.548	317.854	21.379	10.236	134.777
	Casca	374	2.356	154	129	339	2.823	70.113	363.003	33.799	4.299	112.953
	Madeira	1.100	12.617	626	2.265	5.519	4.376	770.081	938.682	14.277	95.103	294.774
<i>E. urograndis</i>	Folha	47	825	130	187	252	776	32.552	154.162	13.421	5.086	78.057
	Galho	1.241	4.467	319	197	538	3.803	205.480	218.341	20.629	5.791	117.012
	Casca	525	1.684	227	107	297	2.914	117.801	310.776	17.681	3.518	145.423
	Madeira	1.145	11.475	584	1.811	3.645	5.634	322.119	682.490	32.734	98.058	210.872

Fonte: Autora (2018).

Considerando o CUB da madeira do fuste, em virtude de seu maior interesse comercial, observou-se que as maiores produtividades de biomassa foram acompanhadas com os maiores valores de CUB para alguns elementos, ou seja, os maiores valores do coeficiente para *E. urolobulus* (P, Mg, B) e *E. benthamii* (P2) (N, Ca, Cu, Fe). Em relação aos demais materiais genéticos, o *E. saligna* apresentou maior eficiência para o K e Mn; o *E. urograndis* para o S; e o *E. dunnii* para o Zn (Figura 3.6 e 3.7).

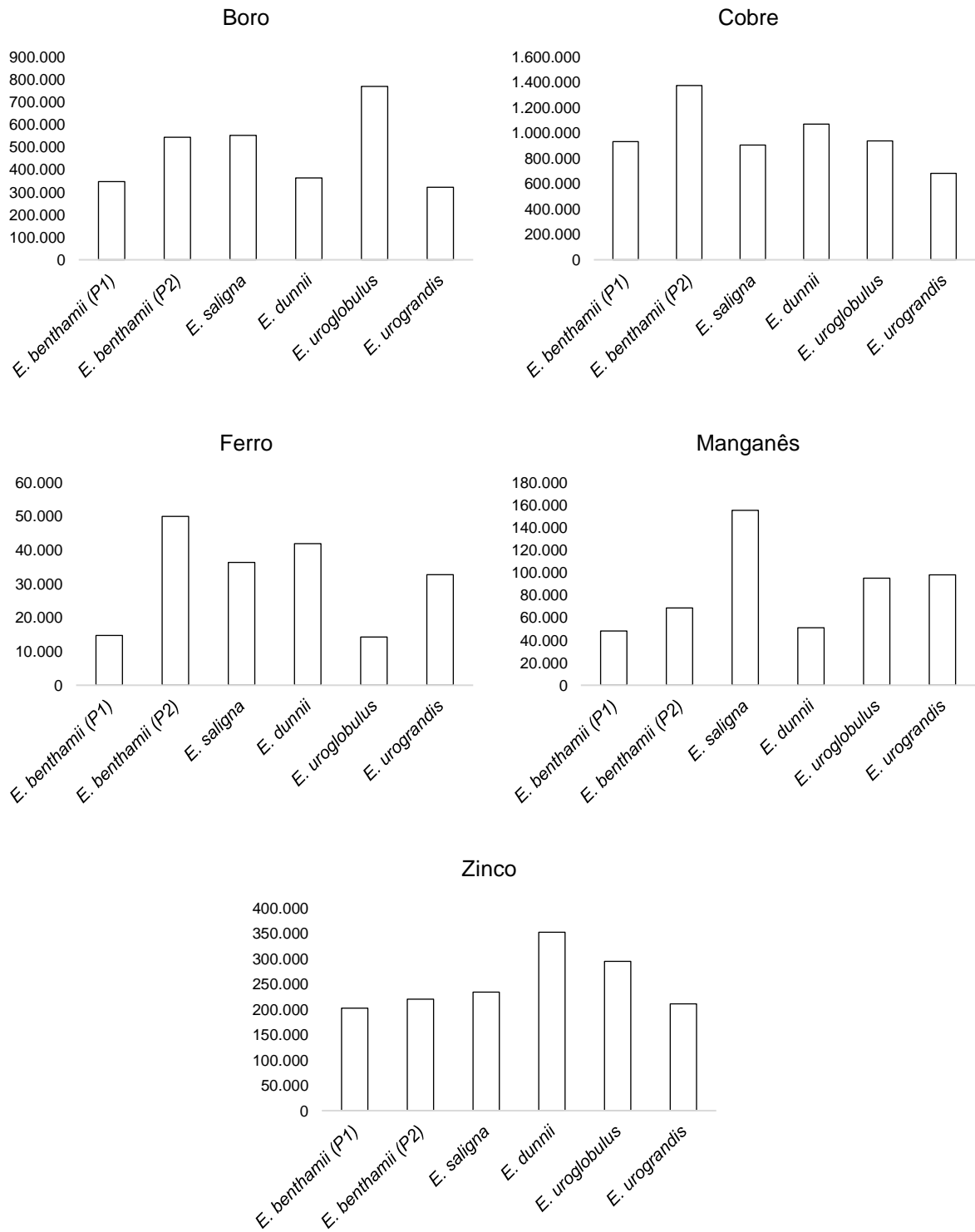
A variação na eficiência de utilização dos nutrientes, segundo Santana, Barros e Neves et al. (2002), pode ocorrer por vários fatores, como: as características intrínsecas do material genético; a não obtenção do equilíbrio nutricional ótimo ou crítico entre solo, planta e todos os nutrientes; e as relações hídricas.

Figura 3.6 - Eficiência de utilização de macronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS



Fonte: Autora (2018).

Figura 3.7 - Eficiência de utilização de micronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS



Fonte: Autora (2018).

3.3.2.4 Exportação de nutrientes pela colheita da biomassa

A Tabela 3.8 apresenta a estimativa de exportação de nutrientes para três cenários de colheita propostos. A colheita de toda a biomassa acima do solo apresentou-se como o cenário mais agressivo de exportação dos nutrientes. Em contrapartida a colheita apenas da madeira do fuste apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema, independente do material genético. Este cenário proporcionou a manutenção dos macro e micronutrientes acumulados nos demais componentes da biomassa, que variaram de: 54 a 79 % do N (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2)); 52 a 63 % do P (*E. benthamii* (P1) e *E. saligna*); 36 a 46 % do K (*E. urograndis* e *E. dunnii*); 71 a 82 % do Ca (*E. dunnii* e *E. benthamii* (P1)); 56 a 75 % do Mg (*E. dunnii* e *E. benthamii* (P2)); 33 a 45 % do S (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P1)); 43 a 66 % do B (*E. urograndis* e *E. uroglobulus*); 39 a 53 % do Cu (*E. urograndis* e *E. dunnii*); 14 a 36% do Fe (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2)); 77 a 87 % de Mn (*E. dunnii* e *E. saligna*); e 28 a 47 % do Zn (*E. urograndis* e *E. dunnii*).

Considerando a colheita da madeira com a casca do fuste, a permanência dos nutrientes na área reduz para 44 a 55 % do N (*E. urograndis* e *E. uroglobulus*); 29 a 43 % do P (*E. benthamii* (P2) e *E. uroglobulus*); 19 a 26 % do K (*E. benthamii* (P2) e *E. saligna*); 26 a 37 % do Ca (*E. benthamii* (P2) e *E. uroglobulus*); 26 a 36 % do Mg (*E. benthamii* (P2) e *E. uroglobulus*); 25 a 34 % do S (*E. saligna* e *E. benthamii* (P1)); 28 a 40 % do B (*E. dunnii* e *E. uroglobulus*); 27 a 37 % do Cu (*E. urograndis* e *E. dunnii*); 11 a 27 % do Fe (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2)); 33 a 46 % do Mn (*E. saligna* e *E. uroglobulus*); 17 a 28 % do Zn (*E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*). De acordo com Bellote e Silva (2004), a biomassa da casca é significativamente menor do que a biomassa do tronco, todavia apresenta-se como um importante sítio de armazenamento de nutrientes, especialmente o Ca. Nesse contexto, torna-se mais sustentavelmente viável colher somente a madeira do fuste.

Em relação aos macronutrientes, observa-se que, com exceção do terceiro cenário (fuste e copa) no *E. dunnii* onde o N foi o elemento removido em maior quantidade, nos demais cenários e materiais genéticos o K foi o macronutriente com maior exportação. No caso dos micronutrientes, o Fe foi o elemento removido em maior quantidade no primeiro cenário (colheita da madeira do fuste). Já, no segundo (colheita da madeira e casca do fuste) e terceiro cenário (fuste e copa) o Mn foi o micronutriente exportado em maior quantidade, com exceção do *E. uroglobulus*, onde

o elemento removido em maior quantidade foi o Fe. Em contrapartida, o micronutriente exportado em menor quantidade, em todos os cenários e materiais genéticos foi o Cu.

Tabela 3.8 - Estimativa de exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, com 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS

Material genético	Intensidade	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg ha ⁻¹							g ha ⁻¹			
<i>E. benthamii</i> (P1)	1*	65,47	12,30	143,54	41,94	20,10	13,25	210,31	78,28	4.956,14	1.515,88	360,86
	2	109,60	17,10	192,20	171,70	50,30	15,90	325,60	104,40	5.221,40	5.680,60	491,60
	3	222,70	25,56	251,61	237,58	75,51	24,02	455,19	152,16	6.170,60	9.887,51	638,16
<i>E. benthamii</i> (P2)	1	37,89	9,60	127,56	31,37	16,65	15,53	155,16	61,36	1.688,94	1.229,97	383,57
	2	83,48	15,57	169,90	101,73	48,42	18,49	268,36	83,21	1.929,48	3.682,31	496,92
	3	183,73	21,84	210,53	136,86	65,79	24,95	390,39	119,75	2.648,48	5.917,96	595,17
<i>E. saligna</i>	1	53,59	5,85	95,71	34,47	25,87	15,08	131,21	80,03	1.993,89	466,66	309,77
	2	70,60	10,00	128,80	106,60	55,30	17,70	220,50	109,60	2.249,10	2.349,10	367,30
	3	145,74	15,69	173,14	152,78	76,13	23,66	352,77	163,83	2.719,08	3.518,72	452,26
<i>E. dunnii</i>	1	41,51	4,78	74,08	38,20	30,26	10,36	150,38	51,04	1.304,24	1.070,80	155,23
	2	66,00	7,30	108,80	93,50	49,60	11,90	227,90	69,30	1.497,70	2.889,10	212,20
	3	140,28	12,24	138,23	132,67	68,59	17,12	316,73	109,24	2.024,84	4.622,35	293,70
<i>E. urolobulus</i>	1	88,07	7,68	154,82	42,76	17,55	22,13	125,75	103,17	6.782,85	1.018,28	328,53
	2	105,98	10,52	198,30	94,70	37,28	24,50	221,20	121,60	6.980,84	2.574,95	387,77
	3	237,39	18,36	264,46	150,18	58,71	33,02	367,39	172,71	7.879,01	4.762,32	511,04
<i>E. urograndis</i>	1	72,98	7,28	143,01	46,15	22,93	14,84	259,47	122,46	2.553,26	852,34	396,35
	2	81,65	11,86	167,09	121,32	50,45	16,98	322,06	141,04	2.973,02	3.225,62	448,77
	3	151,93	17,21	213,70	175,29	76,33	22,86	451,77	194,75	3.559,35	5.104,62	551,15

1* - Colheita da madeira do fuste; 2 - Colheita da madeira do fuste com casca; 3 - Colheita de toda biomassa acima do solo.

Fonte: Autora (2018).

Cabe destacar que no primeiro cenário a maior quantidade de nutrientes exportados com a colheita da biomassa ocorreu com o *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e *E. urograndis* (Ca, B, Cu e Zn). Para o segundo cenário, a maior remoção de nutrientes ocorreu no *E. benthamii* (P1) (N, P, Ca, Mn e B) e no *E. urolobulus* (K, S e Fe). E no terceiro cenário a maior exportação de nutrientes ocorreu no *E. benthamii* (P1) (P, Ca, B, Mn e Zn), *E. urolobulus* (N, K, S e Fe) e *E. grandis* (Mg e Cu). Em contrapartida, para o primeiro cenário o *E. dunnii* (P, K, S, Cu, Fe e Zn) e *E. benthamii* (P2) (N, Ca e Mg) tiveram as menores quantidades de nutrientes exportados. No

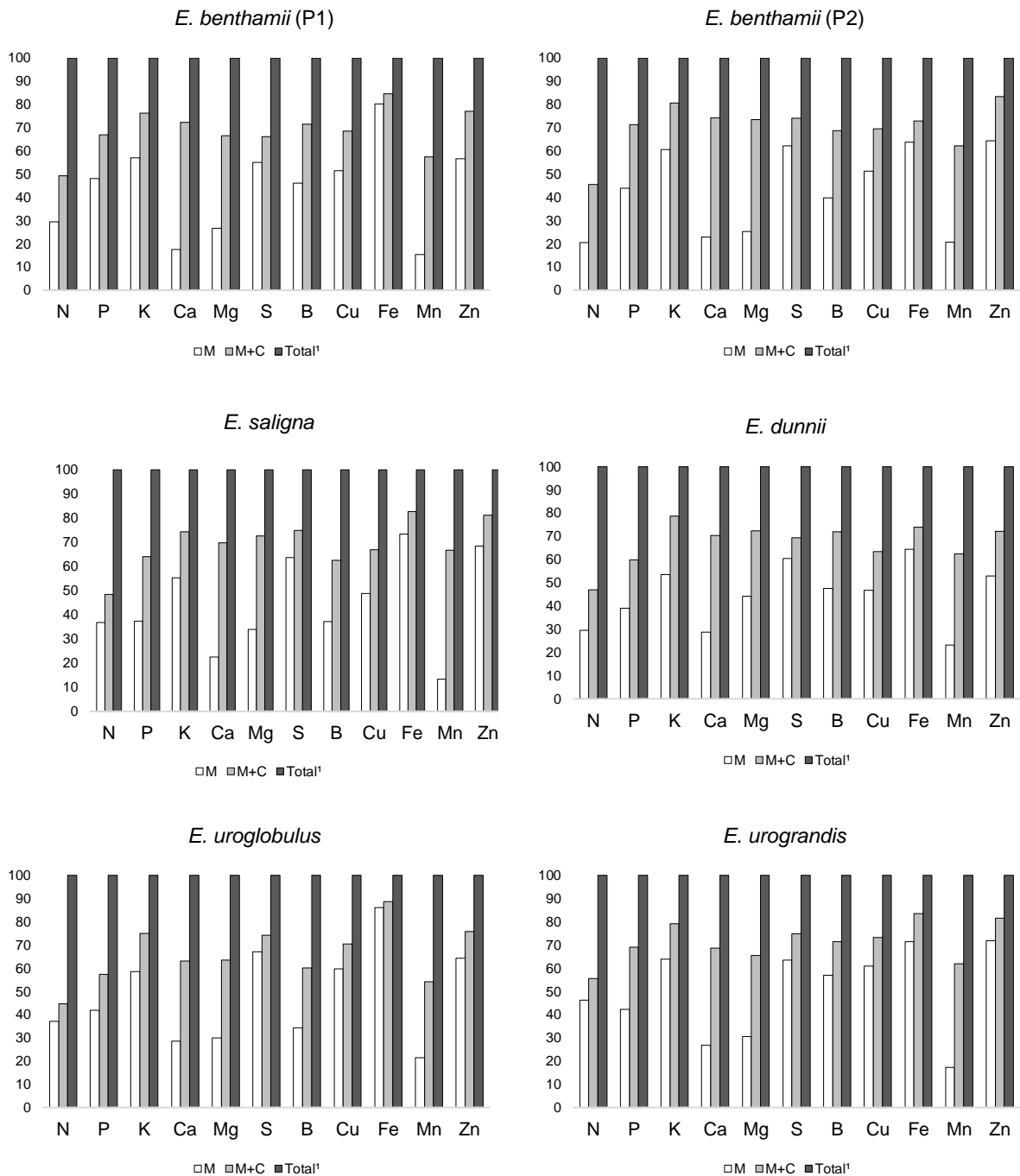
segundo cenário, o *E. dunnii* destacou-se com as menores quantidades de N, P, Ca, S, Cu, Fe e Zn removidos.

Na Figura 3.8 pode-se observar a estimativa da remoção de nutrientes (%) para os diferentes materiais genéticos em função das diferentes intensidades de colheita. Neste contexto, quando a madeira é colhida com a casca do fuste aumenta-se consideravelmente a exportação de nutrientes, chegando a 63 % e 74 % do Ca e de 64 % a 74 % do Mg removidos do *E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2), respectivamente. Nessa perspectiva, para a maior sustentabilidade dos povoamentos florestais, antes da remoção do tronco do sistema, deveria ser realizado o descasque das árvores, fato que seria de suma importância para diminuir a exportação desses elementos.

De acordo com Witschoreck (2008), parte dos nutrientes extraídos pela colheita florestal podem ser repostos através da aplicação de fertilizantes, no entanto, além dos aspectos econômicos e ecológicos da utilização desse tipo de insumo, dificilmente esse processo se dá em termos quantitativos e qualitativos, restringindo-se na maioria dos casos à tríade de elementos NPK.

A colheita florestal, do ponto de vista nutricional, não deve ser realizada em povoamentos muitos jovens devido à maior exportação de nutrientes por unidade de biomassa produzida. Além disso, para a rotação seguinte, práticas sustentáveis de produção deverão ser realizadas, de forma que o balanço nutricional do sítio seja equilibrado, visando não causar impactos no solo (VIERA et al., 2015).

Figura 3.8 - Estimativa da exportação de nutrientes em três cenários de colheita da biomassa de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* aos 49 meses de idade, estabelecidos em Eldorado do Sul, RS



¹Total = Colheita de toda biomassa acima do solo; M + C = Colheita da madeira + casca do fuste; M = Colheita da madeira do fuste.

Fonte: Autora (2018).

3.4 CONCLUSÕES

Os diferentes materiais genéticos, nas mesmas condições edafoclimáticas, apresentaram produção de biomassa distinta, destacando-se o clone *E. urolobulus* com a maior produção e o *E. dunnii* com a menor.

Ocorreu variação nas concentrações e quantidades de nutrientes entre os materiais genéticos e nos seus diferentes componentes.

As maiores produtividades de biomassa foram acompanhadas com os maiores valores do coeficiente de utilização biológica para alguns elementos, ou seja, os maiores valores do coeficiente para P, Mg e B no *E. urolobulus* e de N, Ca, Cu e Fe no *E. benthamii* (P2).

A colheita de toda a biomassa acima do solo apresentou-se como o cenário mais agressivo, com maior exportação de nutrientes. No entanto, visando a redução do impacto nutricional desta atividade, a colheita apenas da madeira do fuste se caracteriza como o melhor cenário de colheita de biomassa.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBAUGH, T. J. et al. Biomass and nutrient mass of *Acacia dealbata* and *Eucalyptus globulus* bioenergy plantations. **Biomass and Bioenergy**, v. 97, p. 162-171, feb. 2017.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (eds.) **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004, cap.5, p.113-139.

BEULCH, L. S. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith submetido ao primeiro desbaste**. 2013. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CALDATO, S. L. **Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste Argentino**. 106 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. 412 p.

FREITAS, R. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização, no município de Alegrete-RS. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.

GATTO, A. et al. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 4 jul./aug. 2011.

GONÇALVES, J. L. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, ago. 2013.

GUIMARÃES, C. C. **Biomassa e nutrientes em plantios de eucaliptos no Bioma Pampa**. 2014. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GUIMARÃES, C. C. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa Gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 873-882, 2015.

IBÁ, **Indústria Brasileira de árvores**: ano base 2016/IBÁ. Brasília/DF, 2016. 100 p.

INDÁ JUNIOR, A. V. [**Sem título**]. 2017. Imagem formato png.

KUYAH, S. et al. Allometry and partitioning of above- and Bellow-ground biomass in farmed eucalyptus species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 55, n. 1, p. 276-284, 2013.

LELES, P.S.S. et al. Crescimento, produção e alocação de matéria seca de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado, MG. **Scientia forestalis**, n. 59, p. 77-87, jun. 2001.

LONDERO, E. K. calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* smith na região de Guaíba – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 293-305, abr./jun. 2015.

LUDVICHAK, A. A. **Biomassa e nutrientes do híbrido *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em plantios monoespecíficos e mistos**. 2016. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 141-150, jun. 2000.

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.

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. 265-302.

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, 2010.

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

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

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

SANTOS, F. M. et al. Nutrient cycling over five years of mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 384, p. 110-121, jan. 2017.

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, 2001.

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.

SILVA, H. D. et al. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 49, p. 83-95, jul./dez. 2004.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat statistical attendance. In: WORD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, P. H. M. et al. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 67-78, ago. 2013.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, p. 185-206, 2008.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

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

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e exportação de nutrientes pela colheita do eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Santa Maria: Editora UFSM, 2015, p. 245-272.

VIERA, M. et al. Biomass and nutrient allocation to aboveground components in fertilized *Eucalyptus saligna* and *E. urograndis* plantations. **New Forests**, v. 47, p. 1-18, 2017.

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

ZHANG, H.; GUAN, D.; SONG, M. Biomass and carbon storage of *Eucalyptus* and *Acacia* plantations in the Pearl River Delta, South China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 277, p. 90-97, 2012.

4. BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM SEIS MATERIAIS GENÉTICOS DE *Eucalyptus* EM DIFERENTES SÍTIOS FLORESTAIS DO RIO GRANDE DO SUL

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estimar a produção de biomassa e o estoque de nutrientes de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* em duas regiões do Rio Grande do Sul, Brasil. A pesquisa foi realizada em áreas experimentais situadas em São Gabriel, no Horto Florestal Batovi (HFB) e em Eldorado do Sul, no Horto Florestal Terra Dura (HFTD), em povoamentos com 43 e 49 meses de idade, respectivamente. Nos locais foram implantados os seguintes clones: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus* e *E. urograndis*. Os materiais genéticos alocados no HFTD apresentaram valores médios superiores de diâmetro, altura e volume, quando comparado ao HFB. No geral, os maiores valores de biomassa de folhas e galhos foram constatados no HFB. Em contrapartida acúmulos superiores de casca e madeira do fuste foram observados no HFTD. Neste horto a biomassa do fuste variou de 88 a 91 % (*E. benthamii* (P1) e *E. benthamii* (P2)), e acumulou de 48 a 83 % do total de macronutrientes (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P1)) e de 66 a 76 % (*E. dunnii* e *E. urolobulus*) do total de micronutrientes. Enquanto no HFB a biomassa do fuste variou entre 63 a 79 % (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2)), apontando um acúmulo de 35 a 53 % de macronutrientes e de 33 a 54 % de micronutrientes (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2)), respectivamente. Comparando a eficiência da utilização de nutrientes dos diferentes sítios, nota-se que o HFTD teve destaque para a maioria dos elementos, apresentando altos valores de eficiência nutricional quando comparado ao HFB. A maior exportação de nutrientes também foi constatada no HFTD, em todas as intensidades de colheita e para todos os materiais genéticos. Embora o solo do HFB apresente maior fertilidade, ocorreu menor produção de biomassa neste sítio, fato que pode estar atribuído às características físicas do solo menos favoráveis nesta área. O *E. dunnii*, independente do sítio e da idade, apresentou menor volume e produção de biomassa. No HFTD, onde a fertilidade do solo é menor, algumas espécies destacaram-se quanto a eficiência da utilização de nutrientes, quando comparado ao HFB.

Palavras-chave: Produtividade de *Eucalyptus*. Sítios florestais. Nutrição florestal. Silvicultura.

ABSTRACT

The objective of this work was to estimate the biomass and nutrient stock of different genetic materials of *Eucalyptus* in two regions of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The research was conducted in experimental areas located in São Gabriel, Horto Florestal Batovi (HFB) and Eldorado do Sul, in Horto Florestal Terra Dura (HFTD), in 43- and 49-month-old stands, respectively. In the sites the following *Eucalyptus* clones were implanted: *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2), *E. saligna*, *E. dunnii*, *E. urolobulus* and *E. urograndis*. The genetic material allocated to the HFTD presented higher mean values of diameter, height and volume when compared to HFB. In general, the highest biomass values of leaves and branches were observed in HFB. In

contrast, superior accumulations of bark and wood stemwood were observed in the HFTD. In this orchard, the biomass of the stem varied from 88 % to 91% (*E. benthamii* (P1) and *E. benthamii* (P2)), accumulating from 48 % to 83 % of the total macronutrients (*E. urograndis* and *E. benthamii* (P1)) and 66 to 76 % (*E. dunnii* and *E. uroglobulus*) of total micronutrients. While in HFB stem biomass ranged from 63 to 79% (*E. urograndis* and *E. benthamii* (P2)), indicating an accumulation of 35 to 53 % of macronutrients and 33 % to 54 % of micronutrients (*E. urograndis* and *E. benthamii* (P2)), respectively. Comparing the nutrient utilization efficiency of the different sites, it was observed that the HFTD had, for most of the elements, high values of nutritional efficiency when compared to HFB. The highest export of nutrients was also observed in the HFTD, at all harvest intensities and for all genetic material. Although HFB soil presents higher fertility, less biomass production occurred in this area, a fact that can be attributed to the less favorable soil physical characteristics in this area. *E. dunnii*, regardless of site and age, presented lower volume and biomass production. In HFTD, where soil fertility is lower, some species stand out as to nutrient utilization efficiency when compared to HFB.

Keywords: *Eucalyptus* productivity. Forest sites. Forest nutrition. ForestrySilviculture.

4.1 INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus* tornou-se economicamente importante para o Brasil devido à multiplicidade de aplicações, alta produtividade e precocidade no ciclo de produção de madeira (BELLOTE; DEDECEK; ICERI, 2009).

Existem centenas de espécies de eucaliptos com uma grande diversidade de propriedades. A seleção de espécies para plantio é realizada de acordo com as condições de clima e solo, sendo mais recomendadas quanto maior a semelhança das condições do local de plantio com as do local de origem (MORA e GARCIA, 2000). Sendo o efeito do local mais importante para a produção do que o efeito do material genético. Em virtude disso, há necessidade de um melhor entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, particularmente naquilo que diz respeito às características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal (SANTANA et al., 2008).

Desta forma, a quantificação do acúmulo de biomassa pode determinar o potencial de produção ou adequação de uma determinada espécie para um fim específico; prever o rendimento da colheita, ajudando assim a avaliar a perda ou estoque de biomassa ao longo do tempo, entre outros (KUYAH et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi estimar a biomassa e o estoque de nutrientes de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* estabelecidos em Eldorado do Sul e São Gabriel, RS.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Na Tabela 4.1 verificam-se as principais características da área experimental de São Gabriel (Horto Florestal Batovi), e de Eldorado do Sul (Horto Florestal Terra Dura). As demais características das áreas experimentais podem ser observadas no item materiais e métodos dos capítulos 2 e 3.

Tabela 4.1 – Características gerais da área experimental de São Gabriel e Eldorado do Sul, RS

Local	Idade	Espaçamento	Tipo de solo
São Gabriel Horto Florestal Batovi (HFB)	43 meses	3,50 m x 2,14 m	Luvisolo Háplico Órtico típico
Eldorado do Sul Horto Florestal Terra Dura (HFTD)	49 meses	3,00 m x 3,00 m	Argissolo Vermelho-Amarelo

Fonte: Autora (2018).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Caracterização das variáveis dendrométricas

A Tabela 4.2 apresenta os dados da caracterização dendrométrica de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel, no Horto Florestal Batovi (HFB) e em Eldorado do Sul, no Horto Florestal Terra Dura (HFTD). No HFB os clones *E. urograndis*, *E. uroglobulus* e *E. saligna* apresentaram a maior sobrevivência, ou seja, 98, 96 e 95 %, respectivamente. Já no HFTD, os clones que se destacaram foram o *E. urograndis*, *E. benthamii* (P2) e *E. benthamii* (P1), com 100, 90 e 89 %, respectivamente.

Tabela 4.2 - Caracterização dendrométrica de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel (HFB) e Eldorado do Sul (HFTD), RS

Material genético	N° ind ha ⁻¹	DAP (cm)	H (m)	FF	G (m ² ha ⁻¹)	V (m ³ ha ⁻¹)
São Gabriel - Horto Florestal Batovi						
<i>E. benthamii</i> (P1)	1.168	13,7	15,2	0,47	17,5	48,18
<i>E. benthamii</i> (P2)	768	13,9	16,1	0,50	12,1	36,01
<i>E. saligna</i>	1.268	13,9	15,7	0,45	19,3	57,85
<i>E. dunnii</i>	1.135	10,9	12,2	0,49	10,9	26,83
<i>E. urolobulus</i>	1.285	12,7	16,5	0,46	16,3	69,56
<i>E. urograndis</i>	1.302	14,1	16,0	0,44	20,4	66,54
Eldorado do Sul - Horto Florestal Terra Dura						
<i>E. benthamii</i> (P1)	986	17,4	22,5	0,44	24,4	105,19
<i>E. benthamii</i> (P2)	1.000	16,8	23,4	0,47	22,7	114,99
<i>E. saligna</i>	972	17,6	22,3	0,47	23,7	103,63
<i>E. dunnii</i>	875	15,1	19,2	0,49	16,7	73,96
<i>E. urolobulus</i>	903	17,5	23,0	0,43	22,2	100,27
<i>E. urograndis</i>	1.111	17,3	22,9	0,47	26,4	111,93

Onde: FF = Fator de forma.

Fonte: Autora (2018).

Os materiais genéticos alocados no HFTD apresentaram valores médios superiores de diâmetro, altura e volume, quando comparados ao HFB. Para exemplificar, o *E. urolobulus*, *E. urograndis*, *E. saligna*, *E. benthamii* (P1), *E. dunnii* e *E. benthamii* (P2) do HFTD apresentaram 30, 41, 44, 54, 64 e 69 % a mais de volume em relação aos mesmos clones plantados no HFB. Fato que pode ter ocorrido por vários fatores, tais como: diferença de idade, espaçamento de plantio e tipo de solo.

A densidade adotada no plantio, segundo Reiner; Silveira e Sbazo (2011), influencia diretamente no desenvolvimento da planta, resultando em diferença de DAP, volume individual, refletindo no volume por área. Arranjos maiores permitem maior área útil disponível para cada planta, resultando em maior volume individual, arranjos menores resultam em menor ganho individual, porém pelo maior número de plantas, o volume por área é compensado.

A classe de solo agrega importantes informações, destacando-se a profundidade do solo, a classe de textura, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a atividade química da fração coloidal e a presença de camadas compactadas que podem restringir o crescimento das raízes e a percolação de água (CARVALHO et al., 1999).

4.3.2 Biomassa

A produção de biomassa em Mg ha^{-1} e kg árvore^{-1} para os componentes dos diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* no HFB e HFTD podem ser observadas na Tabela 4.3. No geral, os maiores valores de biomassa de folhas e galhos foram constatados no HFB. Em contrapartida, os maiores acúmulos para os componentes casca e madeira do fuste foram observados no HFTD. De acordo com Viera et al. (2013), indivíduos com diâmetros inferiores apresentam maior proporção de biomassa de copa em relação à de fuste, diminuindo com o aumento do diâmetro.

Em ambas as áreas a maior produção de biomassa total foi constatada no *E. urograndis* e a menor no *E. dunnii*. Comparando os diferentes sítios florestais, em kg árvore^{-1} , o HFTD apresentou um acúmulo de madeira do fuste de 48 a 73 % superior ao HFB (*E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*). Analisando os valores de biomassa da madeira do fuste em Mg ha^{-1} observa-se uma alteração na produção, circunstância que está atribuída ao diferente número de indivíduos por hectare de cada povoamento. Nesse caso, comparando as áreas experimentais, o HFTD apresentou um acúmulo de 40, 45, 47, 55, 60 e 66 % superior aos clones *E. saligna*, *E. uroglobulus*, *E. urograndis*, *E. benthamii* (P1), *E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*, respectivamente.

Os principais fatores que podem ter influenciado a maior produtividade no HFTD podem estar relacionados com a idade, capacidade produtiva do sítio e espaçamento. Pois, embora o HFB tenha apresentado melhores características químicas do solo, este horto apresentou características físicas do solo pouco favoráveis ao crescimento dos materiais genéticos (má drenagem, baixa aeração, entre outras).

O conjunto de características climáticas, físicas e químicas dos solos, de acordo com Santana, Barros e Neves (1999), influenciam o suprimento de água e a retenção de umidade no solo, favorecendo o transporte e absorção de água e nutrientes. Sendo o efeito do local mais importante para a produção do que o efeito do material genético.

Tabela 4.3 - Produção e partição de biomassa para os componentes dos diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS

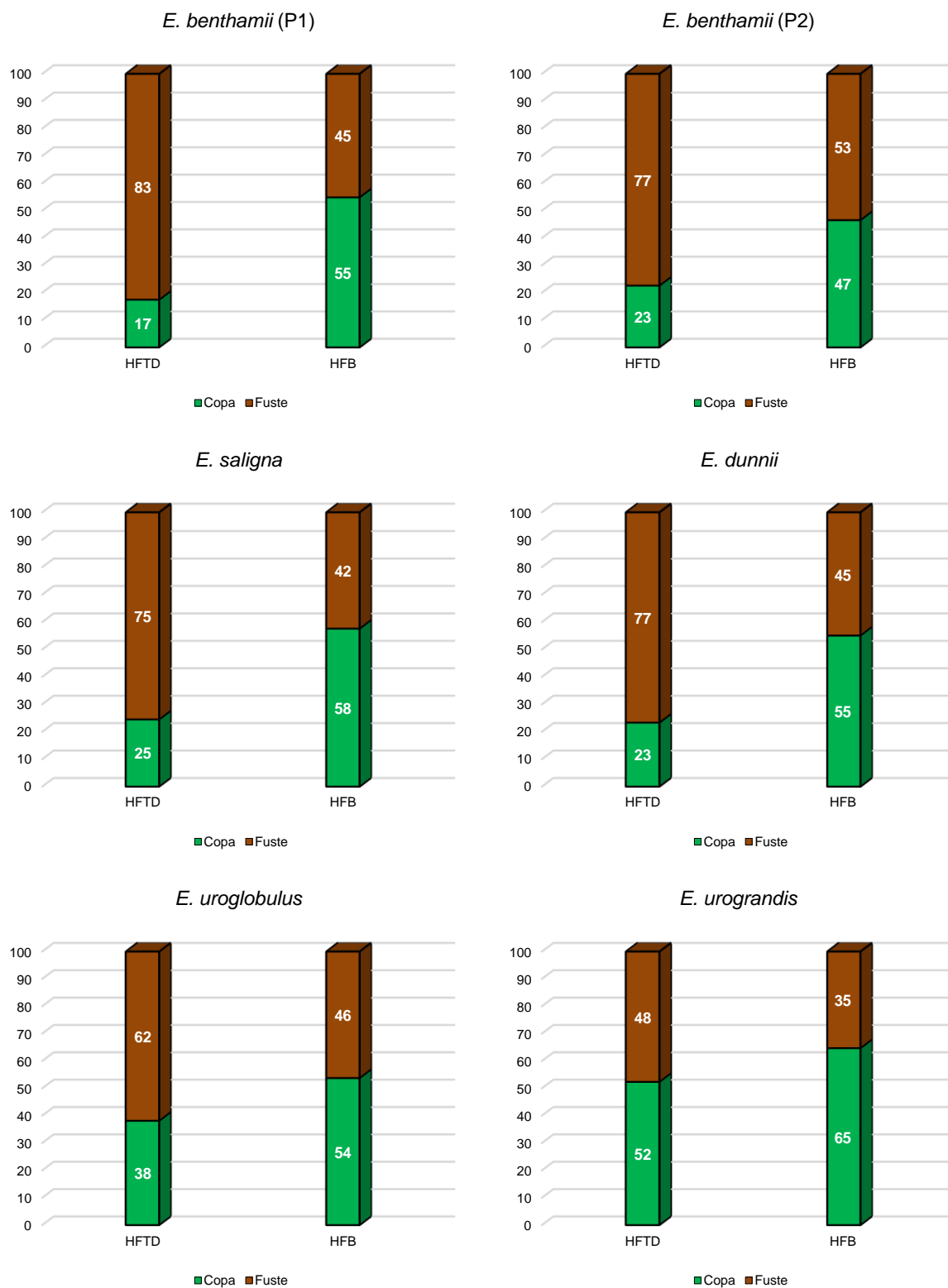
Material genético	Folha	Galho	Casca	Madeira	Total	Folha	Galho	Casca	Madeira	Total
	-----kg árvore ⁻¹ -----					-----Mg ha ⁻¹ -----				
São Gabriel - Horto Florestal Batovi										
<i>E. benthamii</i> (P1)	5,22	8,70	5,08	28,39	47,38	6,09	10,16	5,93	33,16	55,34
<i>E. benthamii</i> (P2)	4,82	7,97	5,75	43,75	62,29	3,70	6,12	4,42	33,60	47,84
<i>E. saligna</i>	4,61	10,01	4,88	34,37	53,88	5,85	12,70	6,19	43,58	68,32
<i>E. dunnii</i>	2,51	7,28	3,31	16,58	29,67	2,85	8,26	3,76	18,81	33,68
<i>E. urolobulus</i>	8,09	8,97	5,23	43,08	65,37	10,39	11,53	6,72	55,36	84,00
<i>E. urograndis</i>	6,94	15,94	5,12	34,05	62,05	9,04	20,75	6,67	44,33	80,79
Eldorado do Sul - Horto Florestal Terra Dura										
<i>E. benthamii</i> (P1)	4,42	7,14	8,28	74,07	93,50	4,36	7,04	8,17	73,04	92,19
<i>E. benthamii</i> (P2)	3,92	5,08	8,60	84,44	102,04	3,92	5,08	8,60	84,44	102,04
<i>E. saligna</i>	3,32	5,76	8,14	74,59	91,82	3,22	5,60	7,92	72,50	89,25
<i>E. dunnii</i>	3,53	5,24	6,91	62,49	78,17	3,09	4,59	6,05	54,68	68,40
<i>E. urolobulus</i>	7,22	8,27	7,41	107,24	130,15	6,52	7,47	6,69	96,84	117,52
<i>E. urograndis</i>	2,74	6,67	6,98	75,23	91,63	3,05	7,41	7,76	83,58	101,80

Fonte: Autora (2018).

4.3.3 Quantidade de nutrientes

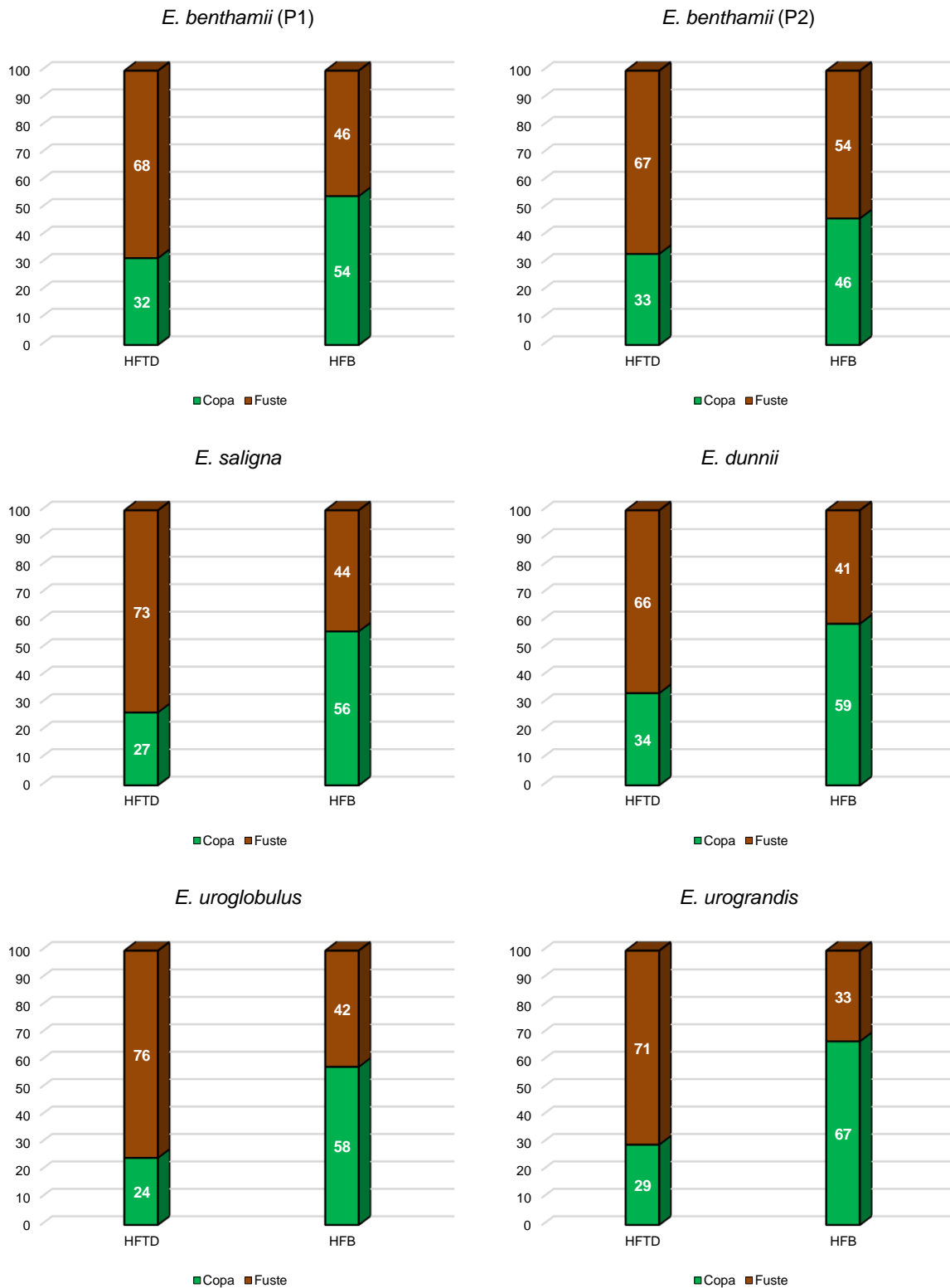
A Figura 4.1 e 4.2 apresenta a partição relativa de macro e micronutrientes da biomassa da copa (folhas e galhos) e do fuste (casca e madeira). Observa-se que ocorreu variação na alocação da quantidade de nutrientes da copa e do fuste nos diferentes materiais genéticos, e nos mesmos materiais genéticos implantados em diferentes sítios. No HFTD a biomassa da copa (folhas e galhos) variou de 9 a 12 % (*E. benthamii* (P2) e *E. benthamii* (P1)) e acumulou de 17 a 52 % do total de macronutrientes (*E. benthamii* (P1) e *E. urograndis*) e de 24 a 34 % do total de micronutrientes (*E. urolobulus* e *E. dunnii*). Enquanto no HFB a biomassa da copa variou entre 21 a 37 % (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*), apresentando um acúmulo de 47 a 65 % de macronutrientes e de 46 a 67 % de micronutrientes (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*).

Figura 4.1 - Distribuição relativa de macronutrientes da biomassa da copa e do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel (HFB) e Eldorado do Sul (HFTD), RS



Fonte: Autora (2018).

Figura 4.2- Distribuição relativa de micronutrientes da biomassa da copa e do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel (HFB) e Eldorado do Sul (HFTD), RS



Fonte: Autora (2018).

Para o HFTD, a soma dos componentes casca e madeira do fuste representou de 88 a 91 % (*E. benthamii* (P1) e *E. benthamii* (P2)), acumulando de 48 a 83 % do total de macronutrientes (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P1)) e de 66 a 76 % (*E. dunnii* e *E. uroglobulus*) do total de micronutrientes. Enquanto que no HFB a biomassa do fuste variou entre 63 a 79 % (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2)), apontando um acúmulo de 35 a 53 % de macronutrientes e de 33 a 54 % de micronutrientes (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2)), respectivamente.

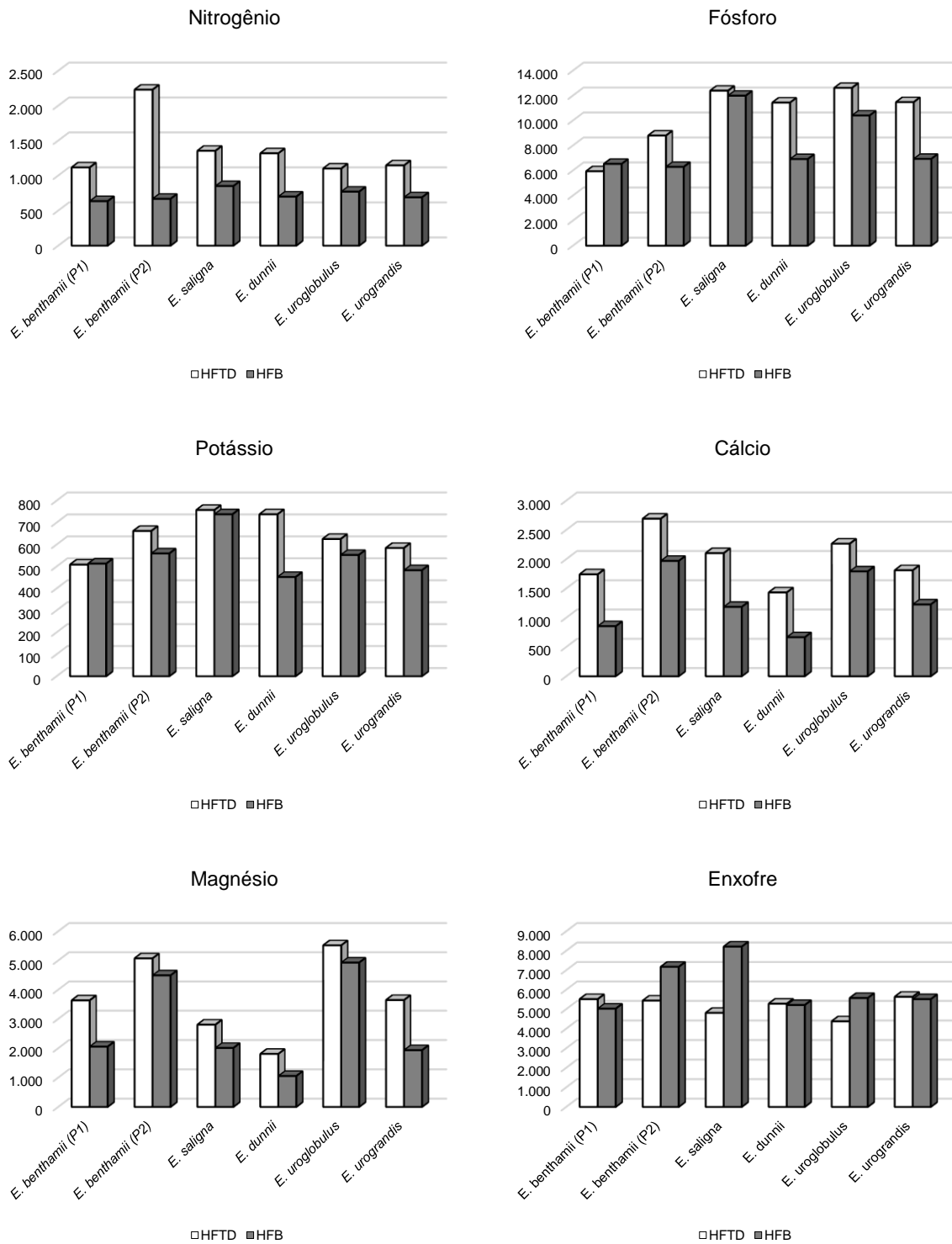
De acordo com Schumacher et al. (2011), antes do fechamento das copas ocorre um período de intenso crescimento no qual a maior parte dos fotoassimilados sintetizados pela planta é canalizada para a formação da copa e do sistema radicular. A segunda fase se dá a partir do fechamento das copas das árvores, onde o acúmulo de nutrientes ocorre com mais intensidade nos troncos, uma vez que a formação de copas atinge uma fase de relativa estabilidade, em razão do auto-sombreamento que impõe uma área foliar máxima limite.

4.3.4 Eficiência na utilização de nutrientes

No geral, em ambas as áreas experimentais, a madeira do fuste foi o componente que apresentou os maiores valores do coeficiente de utilização biológica para os elementos analisados. Fato de suma importância no setor florestal, em virtude desse componente ser o produto mais retirado dos povoamentos. Já as folhas foi o componente da biomassa com a menor eficiência de utilização de nutrientes, sendo com a colheita deste componente que poderá ocorrer a maior exportação dos nutrientes. Todavia, considerando apenas a colheita da madeira do fuste com casca, o Ca e Mg são os nutrientes que mais poderão limitar a produtividade para o próximo ciclo, podendo reduzir esta limitação caso opte apenas pela colheita da madeira do fuste.

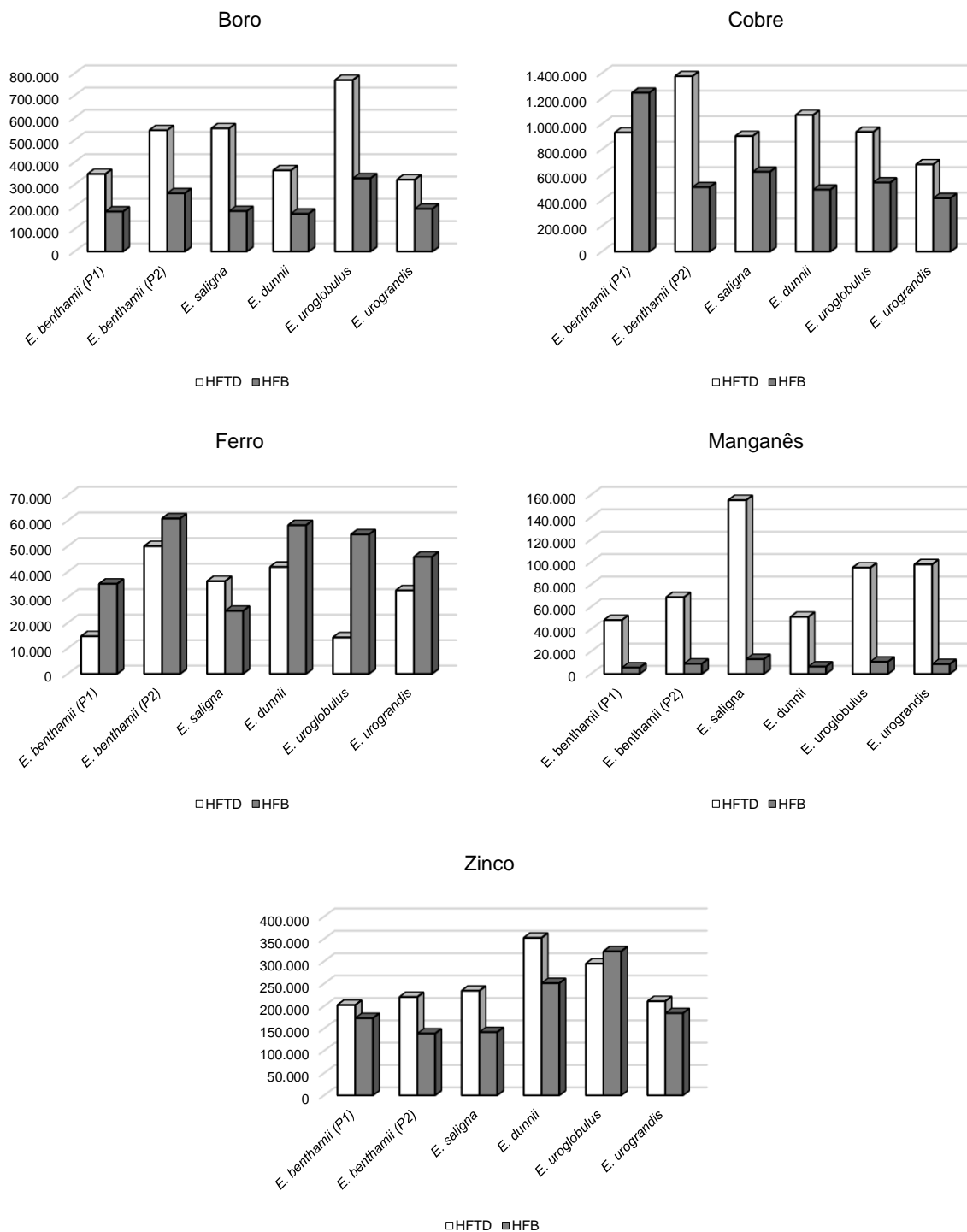
Em relação aos macronutrientes, o P apresentou a maior taxa de conversão na madeira do fuste para todos os materiais genéticos. E o Cu foi o micronutriente com maior valor do coeficiente de utilização biológica. Comparando a eficiência da utilização de nutrientes dos dois sítios, nota-se que o HFTD teve grande destaque, apresentando altos valores quando comparado com o HFB (Figura 4.3 e 4.4).

Figura 4.3 - Eficiência de utilização de macronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS



Fonte: Autora (2018).

Figura 4.4 - Eficiência de utilização de micronutrientes da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS



Fonte: Autora (2018).

Para exemplificar, a eficiência da utilização de nutrientes no HFTD aumentou de 30 a 70 % para o N (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2)); de 21 a 53 % para o Ca (*E. uroglobulus* e *E. dunnii*); de 41 a 67 % para B (*E. uroglobulus* e *E. saligna*); e de 87 a 92 % para Mn (*E. benthamii* (P2) e *E. saligna*). Resultado que pode estar atribuído ao fato desta área apresentar características químicas do solo menos favoráveis. Pois, segundo Barros et al. (1986), a eficiência de utilização de nutrientes geralmente aumenta com a redução da disponibilidade destes elementos no solo.

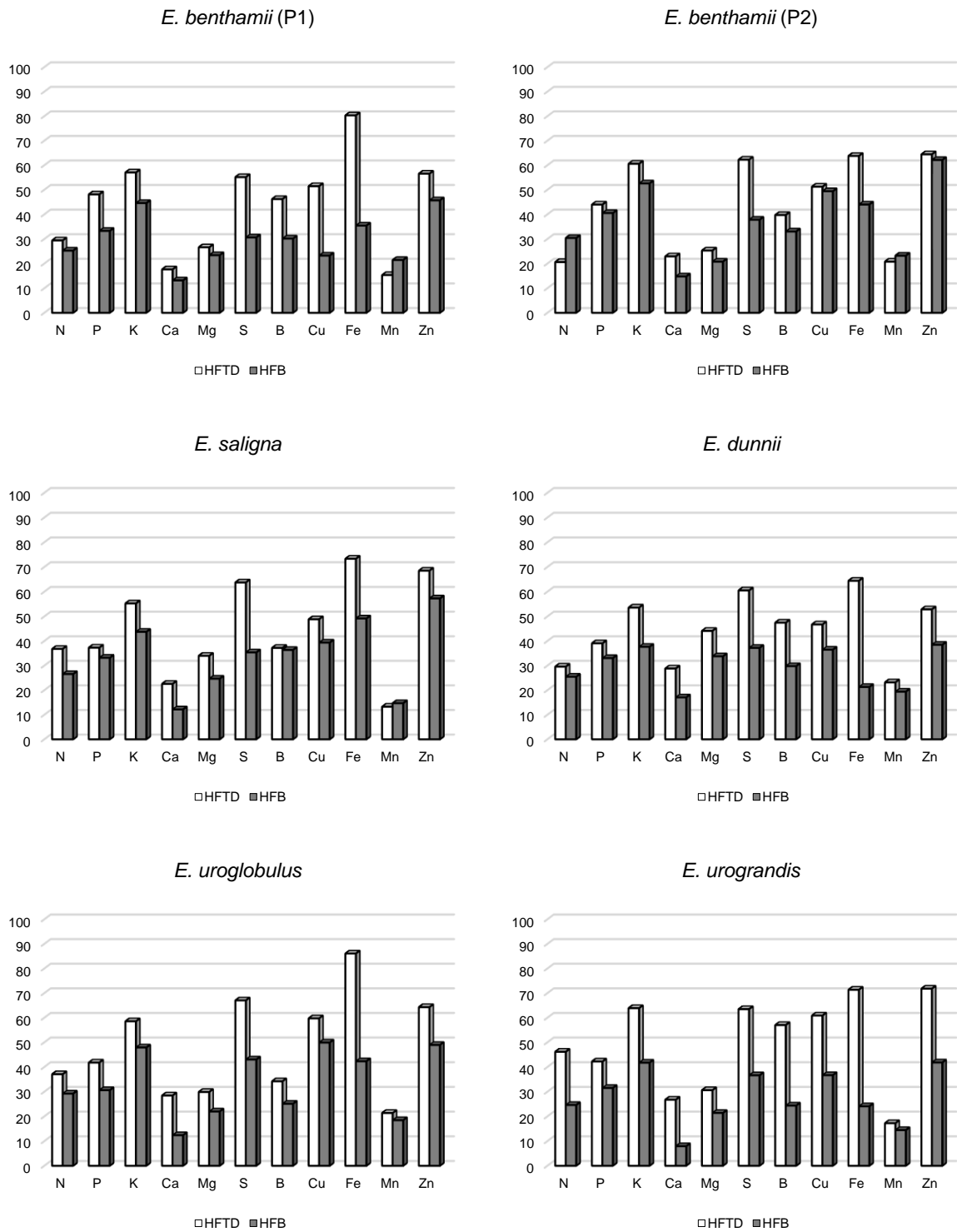
Em contrapartida, com exceção do *E. saligna* que utilizou 32 % mais eficientemente o Fe no HFTD, para os demais materiais genéticos este micronutriente foi mais eficientemente utilizado no HFB, apresentando uma eficiência entre 18 a 58 % (*E. benthamii* (P2) e *E. benthamii* (P1)) superior a outra área. Logo, segundo Barros et al. (1990), a alta eficiência para um nutriente não está associada à alta eficiência para os demais elementos.

4.3.5 Exportação de nutrientes pela colheita da biomassa

Para ambas os sítios e materiais genéticos, a colheita de toda a biomassa acima do solo foi o cenário com maior exportação de macro e micronutrientes. Em contrapartida, a colheita apenas da madeira apresentou a menor remoção de nutrientes.

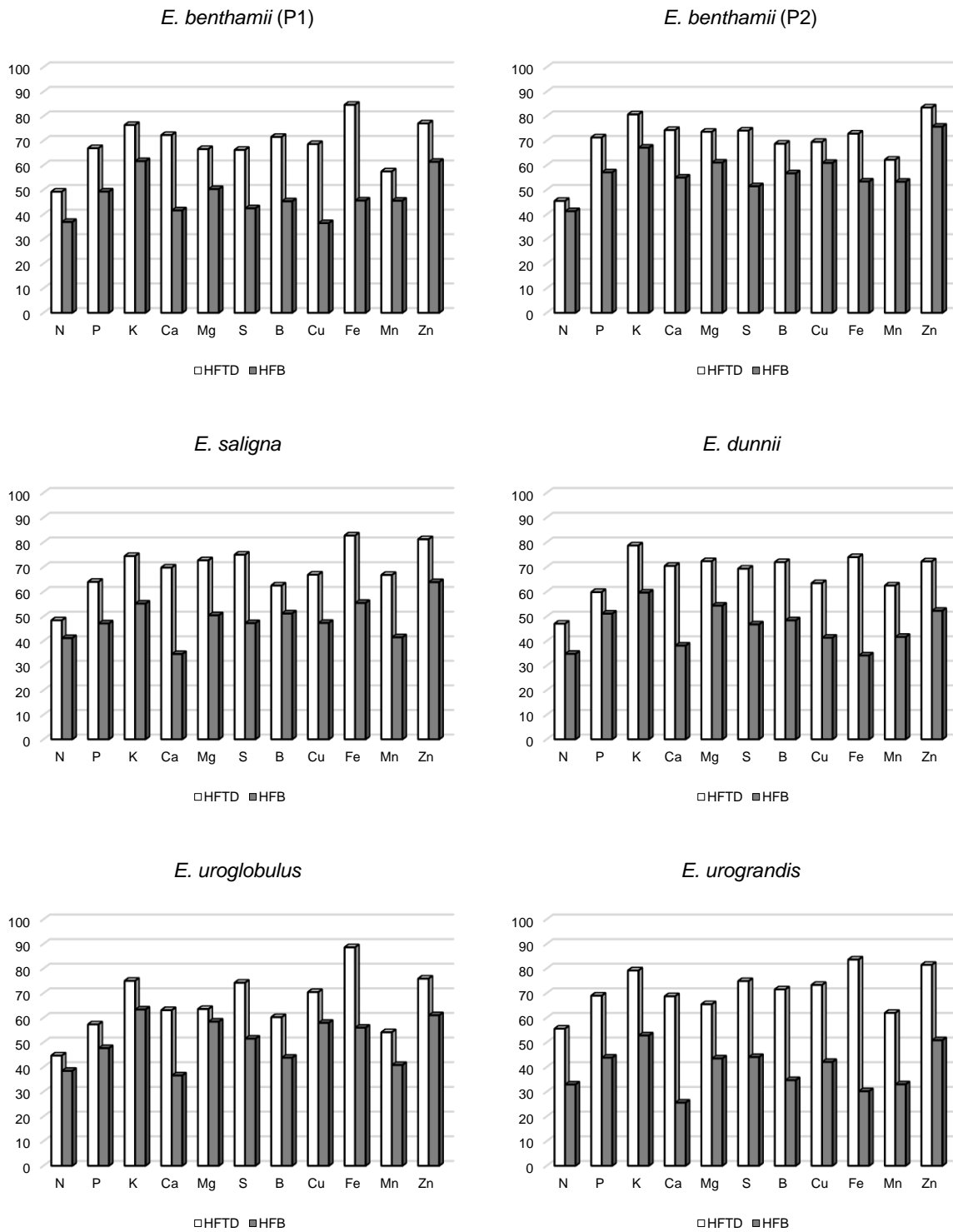
Comparando as duas áreas, observa-se na Figura 4.5 e 4.6 que a maior estimativa na exportação de nutrientes (%) ocorreu no HFTD, em todas as intensidades de colheita e para todos os materiais genéticos. Com a colheita somente da madeira do fuste, no HFB, a exportação variou entre 25 a 30 % de N (*E. benthamii* (P1) e *E. benthamii* (P2)), 31 a 41 % de P (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2)), e de 38 a 53 % de K (*E. dunnii* e *E. benthamii* (P2)). Já no HFTD a variação de N, P, K foi de 21 a 46 % (*E. benthamii* (P2) e *E. urograndis*), 37 a 48 % (*E. saligna* e *E. benthamii* (P1)) e de 54 a 64 % (*E. dunnii* e *E. urograndis*), respectivamente. No HFB a remoção de Ca e Mg variou entre 8 e 17 % e 21 a 34 % (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2)). Já no HFTD a exportação passou de 18 a 29 % do Ca (*E. benthamii* (P1) e *E. dunnii*) e 25 a 44 % do Mg exportados (*E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*). Em relação aos micronutrientes, a remoção de Fe no HFB, variou de 21 a 49 % (*E. dunnii* e *E. saligna*), enquanto no HFTD esta exportação foi de 64 a 86 % (*E. benthamii* (P2) e *E. dunnii*).

Figura 4.5 – Estimativa da exportação de nutrientes em função da colheita da madeira do fuste de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS



Fonte: Autora (2018).

Figura 4.6 – Estimativa da exportação de nutrientes em função da colheita da madeira do fuste com casca de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus*, implantados em São Gabriel (HFB) e em Eldorado do Sul (HFTD), RS



Fonte: Autora (2018).

Com a colheita da madeira do fuste com casca a exportação de N variou de 33 a 41 % no HFB (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2), *E. saligna*) e de 45 a 56 % no HFTD (*E. uroglobulus* e *E. urograndis*). Para o P essa variação foi de 44 a 57 % no HFB (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2)) e de 57 a 71 % no HFTD (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2)), e para o K de 53 a 67 % para o HFB (*E. urograndis* e *E. benthamii* (P2)) e de 74 a 81 % para o HFTD (*E. saligna* e *E. benthamii* (P2)). Cabe destacar que no HFB a remoção de Ca e Mg variou de 63 a 74 % e de 64 a 74 % (*E. uroglobulus* e *E. benthamii* (P2)). Já no HFTD a exportação passou 42 e 55 % do Ca e 50 a 61 % do Mg exportados do *E. benthamii* (P1) e *E. benthamii* (P2). No caso do Fe, o *E. urograndis* implantado no HFB exportaria 30 % deste elemento com a colheita enquanto no HFTD a exportação, para a mesma espécie, seria de 84 %. De acordo com Freitas et al. (2004) a variação na quantidade de nutrientes exportados pelas espécies florestais pode ser resultante da quantidade de biomassa produzida e de sua capacidade de absorção, distribuição e utilização de nutrientes.

4.4 CONCLUSÕES

Embora o solo do Horto Florestal Batovi apresente maior fertilidade, ocorreu menor produção de biomassa nesta área, fato que pode estar atribuído a menor idade e espaçamento, além de características físicas do solo menos favoráveis nesta área.

No Horto Florestal Batovi a biomassa de copa (folhas e galhos) variou de 21 a 37 % e acumulou de 47 a 65 % do total dos macronutrientes. Já no Horto Florestal Terra Dura, a biomassa de copa variou de 9 a 12 % e acumulou de 17 a 52 % do total de macronutrientes.

O *Eucalyptus dunnii*, independente do sítio e da idade, apresentou menor volume de madeira do fuste e produção de biomassa.

No Horto Florestal Terra dura, onde a fertilidade do solo é menor, algumas espécies destacaram-se quanto a eficiência de utilização de nutrientes, quando comparado com o Horto Florestal Batovi.

A colheita apenas da madeira do fuste apresentou a menor remoção de nutrientes do sistema, independente da área e do material genético.

A escolha de materiais genéticos eficientes na utilização de nutrientes é de suma importância para a sustentabilidade da produção florestal.

4.5 RECOMENDAÇÕES

Evitar a colheita em idades muito jovens para minimizar a exportação de nutrientes.

Na hipótese da colheita por uma demanda energética, o ideal é colher a madeira do fuste sem casca, deixando os demais resíduos no solo. Assim a exportação de nutrientes ocorrerá em menores quantidades, mantendo um maior equilíbrio nutricional, além de melhorar os atributos físicos e biológicos do solo.

A escolha dos materiais genéticos a serem implantados deve levar em consideração não apenas a produtividade, mas também a maior eficiência nutricional e as menores taxas de exportação de nutrientes.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; ICERI, P. M. Crescimento do *Eucalyptus grandis* plantado em diferentes solos no Estado de São Paulo, Brasil. In: 1º CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 2009, Belo Horizonte. Documentos (Embrapa Florestas. CD-Rom). Colombo/PR: Embrapa Florestas, 2009.

CARVALHO, A.P. et al. Efeitos de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 51-66, jul./dez. 1999.

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

KUYAH, S. et al. Allometry and partitioning of above- and Bellow-ground biomass in farmed eucalyptus species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**, United Kingdom, v. 55, n. 1, p. 276-284, 2013.

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

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Synergismus scyentifica**, Pato Branco, v. 6, n. 1, 2011.

SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Biomass and nutrient content of provenances of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* on different sites of São Paulo State. **Scientia forestalis**, n. 56, p. 155-169, dez. 1999.

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

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.

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

APÊNDICES

APÊNDICE A – Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Batovi em São Gabriel, RS

Material genético	Modelo	β_0	β_1	β_2	Sy.x (m)	Sy.x (%)	R ² aj (%)	VP
<i>E. benthamii</i> (P1)	1	10,34115	0,35756	-	0,7888	5,131	32,51	16
	2	12,79248	0,012873	-	0,8049	5,236	29,72	18
	3	2,608439	4,839619	-	0,7738	5,033	35,06	13
	4	17,53238	-408,881	-	0,7496	4,876	39,06	8
	5	-5,38623	2,764953	-0,09055	0,7458	4,851	39,68	5
	6	3,046888	-4,38811	-	0,7679	4,995	38,90	10
	7	1,854513	0,332171	-	0,7821	5,087	36,40	13
	8	16,71475	-3402,09626	-	0,5495	3,574	42,10	3
	9	2,82347	-235,4234	-	0,7464	4,855	44,32	4
<i>E. benthamii</i> (P2)	1	9,00847	0,51044	-	0,8721	5,452	71,50	16
	2	12,52175	0,01785	-	1,0118	6,325	61,64	18
	3	-0,89424	6,51033	-	0,7479	4,675	79,04	10
	4	18,24244	-356,82900	-	0,7296	4,561	80,05	8
	5	2,74850	1,50749	-0,03797	0,7496	4,686	78,94	12
	6	3,16629	-5,21219	-	0,7141	4,464	82,59	5
	7	1,57351	0,45976	-	0,8101	5,064	77,06	14
	8	21,56777	-72,60439	-	0,4837	3,024	82,39	4
	9	2,92982	-25,97439	-	0,7081	4,426	83,59	3
<i>E. saligna</i>	1	10,94203	0,342767	-	0,5494	3,506	31,81	8
	2	13,05624	0,013648	-	0,5461	3,485	32,61	6
	3	4,66950	4,197978	-	0,5542	3,537	30,60	14
	4	17,25079	-292,937000	-	0,5672	3,620	27,31	18
	5	16,46889	-0,543860	0,035	0,5524	3,525	31,06	11
	6	2,98890	-3,256870	-	0,5577	3,559	29,41	16
	7	2,03722	0,272337	-	0,5519	3,522	30,92	11
	8	13,77937	0,000707	-	0,2967	1,894	34,88	3
	9	2,62848	0,000046	-	0,5448	3,477	35,05	3

Fonte: Autora (2018).

APÊNDICE B – Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Batovi em São Gabriel, RS

Material genético	Modelo	β_0	β_1	β_2	Sy.x (m)	Sy.x (%)	R ² aj (%)	VP
<i>E. dunnii</i>	1	6,975542	0,481614	-	1,0372	8,558	31,60	8
	2	9,520511	0,022349	-	1,0371	8,557	31,62	6
	3	0,221199	5,044697	-	1,0401	8,582	31,23	12
	4	14,46692	-252,097	-	1,0545	8,701	29,31	17
	5	8,347065	0,22125	0,012119	1,0523	8,683	29,6	15
	6	2,90372	-4,33618	-	1,0440	8,615	31,66	10
	7	1,486733	0,425184	-	1,0400	8,582	32,17	7
	8	9,52051	0,02235	-	1,0756	8,875	33,58	11
	9	1,48673	-0,14173	-	1,0400	8,582	34,11	4
<i>E. uroglobulus</i>	1	9,314211	0,568885	-	0,6894	4,227	51,90	13
	2	12,84705	0,022662	-	0,7098	4,352	49,02	16
	3	-1,13782	6,96799	-	0,6731	4,127	54,15	9
	4	19,62419	-484,66	-	0,6571	4,029	56,30	4
	5	-4,65327	2,887099	-0,09516	0,6599	4,046	55,93	6
	6	3,227853	-5,32773	-	0,6711	4,379	53,80	14
	7	1,67486	0,445276	-	0,6851	4,967	52,17	16
	8	19,62419	-484,66003	-	0,4318	2,648	57,55	2
	9	3,00231	-31,07321	-	0,6627	4,342	55,91	10
<i>E. urograndis</i>	1	7,183384	0,625957	-	1,3295	8,187	19,83	10
	2	11,59761	0,022049	-	1,3354	8,223	19,11	12
	3	-6,989	8,703593	-	1,3262	8,167	20,22	5
	4	20,07617	-787,304	-	1,3291	8,185	19,88	8
	5	-6,23043	2,565418	-0,06957	1,3414	8,260	18,39	16
	6	3,432487	-9,3539	-	1,3399	8,251	20,23	9
	7	0,958143	0,68332	-	1,3423	8,266	19,91	13
	8	24,47551	-118,39915	-	1,7583	10,828	22,53	10
	9	3,43249	-9,3539	-	1,3399	8,251	22,51	7

Fonte: Autora (2018).

APÊNDICE C – Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Terra Dura em Eldorado do Sul, RS

Material genético	Modelo	β_0	β_1	β_2	Sy.x (m)	Sy.x (%)	R ² aj (%)	VP
<i>E. benthamii</i> (P1)	1	10,39326	0,698144	-	1,0926	4,893	82,59	16
	2	15,94464	0,021025	-	1,3405	6,003	73,78	18
	3	-7,80745	10,70427	-	0,8556	3,832	89,32	12
	4	26,12596	-931,075	-	0,8329	3,730	89,88	10
	5	-4,47693	2,717001	-0,0647	0,6605	2,958	93,64	3
	6	3,571172	-7,67914	-	0,7757	3,474	91,41	7
	7	1,55808	0,546894	-	0,9932	4,448	86,96	14
	8	31,50676	-148,87998	-	0,5436	2,435	92,30	3
	9	3,57117	-7,67914	-	0,7757	3,474	91,66	7
<i>E. benthamii</i> (P2)	1	7,394291	0,93759	-	1,8335	7,802	67,59	15
	2	15,27871	0,27139	-	1,9969	8,497	61,56	18
	3	-20,575	15,57946	-	1,6795	7,147	72,81	12
	4	30,62073	-1909,64	-	1,4561	6,196	79,56	7
	5	-30,1986	5,653227	-0,1433	1,3962	5,941	81,21	4
	6	3,856958	-11,8358	-	1,6573	7,052	78,60	9
	7	1,056813	0,738679	-	1,8105	7,704	73,92	12
	8	28,03221	-18846	-	1,9793	8,423	81,46	10
	9	3,36369	-902,87294	-	1,4449	6,148	84,39	3
<i>E. saligna</i>	1	15,34913	0,395764	-	0,3856	1,735	63,91	16
	2	18,7539	0,011437	-	0,3963	1,783	61,89	18
	3	2,933183	6,764062	-	0,3763	1,693	65,64	13
	4	25,42271	-948,157	-	0,3638	1,637	67,88	5
	5	0,444257	2,158869	-0,05182	0,3686	1,659	67,03	9
	6	3,403415	-5,2269	-	0,3742	1,684	67,78	9
	7	2,218014	0,309524	-	0,3825	1,721	66,23	13
	8	24,2725	-10353	-	0,1307	0,588	69,18	3
	9	3,1949	-475,76336	-	0,3647	1,641	70,36	4

Fonte: Autora (2018).

APÊNDICE D – Parâmetros estatísticos das equações ajustadas para estimativa da altura total dos materiais genéticos estabelecidos no Horto Florestal Terra Dura em Eldorado do Sul, RS

Material genético	Modelo	β_0	β_1	β_2	Sy.x (m)	Sy.x (%)	R ² aj (%)	VP
<i>E. dunnii</i>	1	2,928422	1,067872	-	2,4424	12,795	75,68	7
	2	9,83433	0,037775	-	2,7622	14,470	68,90	12
	3	-14,0673	12,42596	-	2,4385	12,774	75,76	5
	4	21,62256	-367,32	-	3,4939	18,303	50,24	17
	5	-2,80506	2,035834	-0,03639	2,3716	12,424	77,07	2
	6	3,49783	-8,08629	-	2,5371	13,291	58,50	14
	7	0,494068	0,899516	-	2,4599	12,887	64,77	12
	8	-14,06728	12,42596	-	5,9463	31,150	76,45	11
	9	0,49407	-0,29984	-	2,4599	12,887	65,78	10
<i>E. uroglobulus</i>	1	17,33922	0,325222	-	1,1064	4,819	38,35	16
	2	20,35629	0,008508	-	1,1831	5,153	29,50	18
	3	6,162378	5,921938	-	1,0098	4,398	48,64	12
	4	25,89855	-804,581	-	0,7770	3,384	69,59	8
	5	-8,56973	3,484337	-0,09375	0,6081	2,649	81,37	6
	6	3,426389	-4,9555	-	0,9434	4,109	59,05	10
	7	2,315401	0,287754	-	1,0470	4,560	47,57	14
	8	26,88147	-0,00025272	-10849	0,2983	1,299	85,83	3
	9	3,39055	-0,00040285	-583,41473	0,5409	2,356	89,14	3
<i>E. urograndis</i>	1	15,34913	0,395764	-	0,3856	1,613	63,91	2
	2	23,26838	0,002092	-	2,2691	9,491	-2,68	9
	3	24,55973	-0,22828	-	2,2719	9,503	-2,93	13
	4	23,02549	260,8368	-	2,2640	9,470	-2,22	7
	5	75,31278	-6,14621	0,181974	2,1609	9,038	6,88	5
	6	3,183972	-0,2564	-	2,2771	9,524	-2,92	13
	7	3,02538	0,050375	-	2,2786	9,531	-2,74	13
	8	45,93026	-17586	187516	4,0603	16,983	23,66	10
	9	-	-	-	-	-	-	0

Fonte: Autora (2018).