

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

Gian Carlos Poletto

**CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DOS NUTRIENTES EM UM
POVOAMENTO DO HÍBRIDO *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* SUBMETIDO
A EXCLUSÃO PARCIAL DA PRECIPITAÇÃO INTERNA**

Santa Maria, RS
2019

Gian Carlos Poletto

**CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DOS NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DO
HÍBRIDO *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* SUBMETIDO A EXCLUSÃO PARCIAL DA
PRECIPITAÇÃO INTERNA**

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

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

Santa Maria, RS
2019

Poleto, Gian Carlos
CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DOS NUTRIENTES EM UM
POVOAMENTO DO HÍBRIDO *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*
SUBMETIDO A EXCLUSÃO PARCIAL DA PRECIPITAÇÃO INTERNA /
Gian Carlos Poleto.- 2019.
84 f. ; 30 cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher
Coorientador: Solon Jonas Longhi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2019

1. Restrição Hídrica 2. Silvicultura 3. Nutrição
Florestal 4. Eucalipto I. Schumacher, Mauro Valdir II.
Longhi, Solon Jonas III. 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.

©2019

Todos os direitos autorais reservados a **Gian Carlos Poleto**. A reprodução de partes ou todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrita do autor.

E-mail: gianpoleto@gmail.com

Gian Carlos Poletto

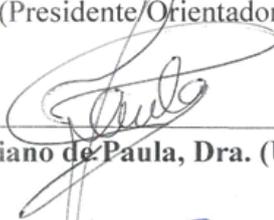
**CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DOS NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DO
HÍBRIDO DE *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* SUBMETIDO A EXCLUSÃO PARCIAL
DA PRECIPITAÇÃO INTERNA**

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

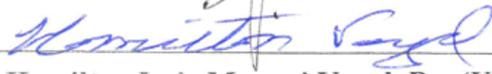
Aprovado em 28 de fevereiro de 2019:



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



Gizelli Moiano de Paula, Dra. (UFSM-FW)



Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

A minha querida vó Verônica Mafalda de Jesus (*in memoriam*), que na sua simplicidade me educou da melhor forma possível. És o meu maior exemplo de vida!

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre ao meu lado em todos os momentos;

Aos meus pais Gilmar Poletto e Jurema de Jesus Poletto e minha vó Verônica Mafalda de Jesus (*in memoriam*) pela educação, incentivo e apoio;

Ao Prof^o Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, pela confiança e apoio. Na qual, sua orientação sobre aspectos da silvicultura e da ecologia florestal contribuíram na minha formação. Obrigado pela sua contribuição em meu crescimento profissional e pessoal;

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Centro de Ciências Rurais da UFSM pelo conhecimento e formação;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, especialmente ao Coordenador Prof^o Dr. Jorge Farias e da secretária Sra. Marlene Rego;

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

À empresa Klabin S.A., na pessoa do Engenheiro Florestal James Stahl pela disponibilização da área experimental e pelos recursos financeiros, operacionais e logísticos para a realização deste trabalho;

A equipe da Pesquisa Florestal (Unidade Florestal Monte Alegre – PR) da empresa Klabin S.A., em especial ao Eng. Florestal Marco Aurélio Figura, ao supervisor Luis Carlos de Souza Lima e ao líder de equipe Nassier Inocência Teodoro. Agradeço também a equipe de campo que me auxiliou na instalação do experimento, coletas das amostras a campo e na realização da quantificação da biomassa: Anderson, Rivair, Alexandre, Oliveira e Tiago. A Rosângela Goreti pela secagem das amostras no laboratório da Klabin e a secretária Vanessa Romão de Lara pela ajuda logística nas minhas estadias em Telêmaco Borba;

À Prof^a Dr^a Gizelli Moiano de Paula e ao Prof^o Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel por aceitarem participar da banca examinadora e pelas contribuições na melhoria deste trabalho;

Ao Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) e ao programa cooperativo Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídricos, Térmicos e Bióticos (TECHS), em especial a Eng. Florestal Rafaela Carneiro e ao líder científico do programa Prof^o Dr. Otávio Campoe;

Ao Eng. Florestal Dr. Rudi Witschoreck funcionário do Laboratório de Ecologia Florestal, pelo apoio e amizade;

Aos colegas e amigos do Laboratório de Ecologia Florestal, em especial a Dione Richer Momolli, Claudinei Garlet e Bruno Nascimento Lopes por toda a ajuda no processamento das minhas amostras;

Um agradecimento especial a minha amiga Aline Aparecida Ludvichak que sempre esteve disposta a me ajudar e sanar minhas dúvidas;

As colegas que trabalharam no laboratório e me auxiliaram no processamento das amostras, em especial a Luéli Fabrine Stroher Ritter, Maria Eduarda do Nascimento Kowalski e Mariana Todeschini;

À Kristiana Fiorentin dos Santos e Camila Maydana pela amizade que a pós-graduação nos proporcionou;

À Prof^a Dra. Maristela Araújo que nos disponibilizou a câmara fria para que pudesse guardar minhas amostras de solo com raízes;

Ao Eng. Florestal Prof^o Dr. Felipe Turchetto pelo suporte nas análises estatísticas;

Aos amigos e colegas da Pós-graduação Janderson Silva, Adriana Griebeler, Luciana Samuel, Denise Gazana e Vanessa Alba da Silva que sempre estiveram prontos para ajudar, estudar e compartilhar bons momentos;

Aos meus familiares e todos os amigos, em especial aqueles que Santa Maria possibilitou conhecer;

Enfim, obrigado a todos que contribuíram para este trabalho e estiveram ao meu lado nessa etapa!

Tudo parece impossível até que seja feito.

(Nelson Mandela)

RESUMO

CICLAGEM BIOGEOQUÍMICA DOS NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DO HÍBRIDO *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* SUBMETIDO A EXCLUSÃO PARCIAL DA PRECIPITAÇÃO INTERNA

AUTOR: Gian Carlos Poletto
ORIENTADOR: Mauro Valdir Schumacher

O híbrido *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake é um dos clones mais produtivos cultivados no Brasil. A fertilização mineral via adubação química é uma operação silvicultural que gera bons resultados de produtividade, entretanto, existem outras formas de entrada de nutrientes no sítio, entre eles, a deposição atmosférica e a decomposição da matéria orgânica presente no solo. Diante disso, o presente estudo teve por objetivo avaliar a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, submetido a exclusão parcial da precipitação interna, em Telêmaco Borba, PR. Para tanto, foram estabelecidos dois tratamentos experimentais: um com 100% da precipitação interna (SE), e outro com 70% da precipitação interna (CE). Para quantificar a precipitação pluviométrica interna foram instalados três coletores por tratamento, os quais foram distribuídos em três posições distintas, sendo elas: na linha, na entrelinha e na diagonal entre quatro árvores. Também foram instalados três conjuntos de coletores de escoamento pelo tronco por tratamento. A produção de serapilheira foi estimada através da instalação de nove coletores por tratamento, também em posições distintas, na linha, entre linha e diagonal entre quatro árvores. Para a avaliação da serapilheira acumulada, foram coletadas 30 amostras aleatórias em cada tratamento. O material foi separado em frações (folhas, galhos e miscelânea). Para a determinação da biomassa e densidade de raízes finas foram coletadas 36 amostras de solo por tratamento, nas profundidades de 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm; 40-50 cm e 50-60 cm. Para a determinação da biomassa acima do solo foram amostradas nove árvores por tratamento, seccionadas ao nível do solo e fracionada em madeira, casca, galho vivo, galho morto e folhas. A precipitação pluviométrica anual foi de 1.627,25 mm, sendo que 12,29% e 17,18 % foi interceptada pela copa das árvores no tratamento sem e com exclusão parcial da precipitação interna, respectivamente. A entrada de nutrientes pela precipitação pluviométrica foi de 44,01 kg ha⁻¹. No tratamento SE, a precipitação interna e o escoamento pelo tronco, apresentaram um aporte de nutrientes de 46,9 kg ha⁻¹ e 3,11 kg ha⁻¹, respectivamente. No tratamento CE parcial da precipitação interna, ocorreu um aporte de 28,61 kg ha⁻¹ na precipitação interna e 2,87 kg ha⁻¹ no escoamento pelo tronco. A interação da precipitação pluviométrica com o dossel enriquece a precipitação pluviométrica com nutrientes em ambos os tratamentos. A quantidade anual de serapilheira produzida foi de 6.991,40 kg ha⁻¹ no tratamento CE parcial da precipitação interna e 8.168,73 kg ha⁻¹ no tratamento SE. O total da serapilheira acumulada sobre o solo foi de 16.288,91 kg ha⁻¹ para o tratamento CE e 18.081,60 kg ha⁻¹ para o tratamento SE. A biomassa de raízes finas no tratamento CE parcial da precipitação interna apresentou 2.930,55 kg ha⁻¹ e 1.726,05 kg ha⁻¹ no tratamento SE. A média da densidade de raízes finas do tratamento CE resultou em 0,44 cm cm⁻³, sendo 54,55% superior ao tratamento SE (0,20 cm cm⁻³). A biomassa total acima do solo foi de 208,26 Mg ha⁻¹ no tratamento CE parcial e 221,00 Mg ha⁻¹ para o tratamento SE, com sequência decrescente de alocação em madeira > casca > galhos vivo > folhas > galho morto, em ambos os tratamentos.

Palavras-chaves: Restrição Hídrica. Silvicultura. Nutrição Florestal. Eucalipto.

ABSTRACT

BIOGEOCHEMICAL CYCLE OF THE NUTRIENTS IN A POVOAMENTO OF THE HYBRID *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* SUMMITTING THE PARTIAL EXCLUSION OF THROUGHFALL

AUTHOR: Gian Carlos Poletto
ADVISER: Mauro Valdir Schumacher

The hybrid *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake is one of the most productive clones grown in Brazil. Although mineral fertilization through chemical fertilization is a silvicultural operation that generates good productivity results, there are other forms of nutrient entry, among them, the atmospheric deposition and the decomposition of the organic matter present in the soil. The objective of this study was to evaluate the biogeochemical nutrient cycling in a *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, subject to partial exclusion of throughfall, in Telêmaco Borba, PR. For that, two experimental treatments were established: one with 100% of the internal precipitation (SE), and the other with 70% of the internal precipitation (CE). In order to quantify the throughfall, three collectors were installed per treatment, which were distributed in three different positions, being: in the line, in the line and in the diagonal of four trees. Three sets of flow collectors were also installed by trunk per treatment. The litterfall was estimated through the installation of nine collectors per treatment, also in different positions, in the line, between line and diagonal between four trees. For the evaluation of accumulated litter, 30 random samples were collected in each treatment. The material was separated into three fractions (leaves, branches and miscellaneous). For the determination of biomass and fine root density, 36 soil samples were collected per treatment at depths of 0-10 cm; 10-20 cm; 20-30 cm; 30-40 cm; 40-50 cm and 50-60 cm along the soil profile. For the determination of above-ground biomass, nine trees were sampled per treatment, sectioned at ground level and fractionated in wood, bark, live branch, dead branch and leaves. The annual rainfall was 1.627,25 mm, with 12.29% and 17.18% being intercepted by the crown of the trees in the treatment CE and SE partial exclusion, respectively. The input of nutrients by rainfall was 44.01 kg ha⁻¹. In the treatment SE, the internal precipitation and the stemflow presented a nutrient intake of 46.9 kg ha⁻¹ and 3.11 kg ha⁻¹, respectively. In the treatment CE partial of the internal precipitation, a contribution of 28.61 kg ha⁻¹ occurred in the internal precipitation and 2.87 kg ha⁻¹ in stemflow. The interaction of rainfall with canopy enriches rainfall with nutrients in both treatments. The annual amount of litter produced was 6991.40 kg ha⁻¹ in treatment CE and 8168.73 kg ha⁻¹ in treatment SE. The total accumulated litter on the soil was 16.288,91 kg ha⁻¹ for treatment CE and 18081.60 kg ha⁻¹ for treatment SE. The fine root biomass in the treatment CE presented 2930.55 kg ha⁻¹ and 1726.05 kg ha⁻¹ in the treatment SE. The mean fine root density of the treatment CE resulted in 0.44 cm cm³, being 54.55% higher than the treatment SE (0.20 cm cm³). The total biomass above the soil was 208.26 Mg ha⁻¹ in treatment CE and 221.00 Mg ha⁻¹ for the treatment SE, with decreasing sequence of allocation in wood > bark > live branches > leaves > dead branch in both treatments.

Key-words: Water restriction. Forestry. Forest Nutrition. Eucalyptus.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Atributos físicos e químicos do solo da área experimental implantada com o híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , aos 76 meses de idade, no município de Telêmaco Borba, PR.....	26
Tabela 2 -	Caracterização das variáveis dendrométricas do povoamento híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , aos 62 meses de idade, estabelecido em Telêmaco Borba, PR.....	29
Tabela 3 -	Classes de diâmetro no povoamento híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , aos 75 meses de idade, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	35
Tabela 4 -	Valores referentes à precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et) e interceptação pela copa (Ic), coletados na área experimental do povoamento híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i>	38
Tabela 5 -	Concentração média mensal dos nutrientes da precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco no povoamento híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> estabelecidos em Telêmaco Borba, PR.....	42
Tabela 6 -	Relação da quantidade de nutrientes na precipitação pluviométrica (P) e na precipitação interna (Pi) com outros estudos.....	46
Tabela 7 -	Serapilheira produzida em área experimental do povoamento híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , no período de julho de 2017 a junho de 2018.....	48
Tabela 8 -	Serapilheira produzida em área experimental do povoamento híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> localizado no município de Telêmaco Borba, PR.....	49
Tabela 9 -	Correlação de Pearson, entre as frações da serapilheira e as variáveis climáticas, para os tratamentos com (CE) e sem exclusão (SE) parcial da precipitação interna em um povoamento do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , localizado no município de Telêmaco Borba, PR.....	53
Tabela 10 -	Quantidade de serapilheira acumulada no tratamento com e sem exclusão parcial da precipitação interna em junho de 2017 e maio de 2018 em um povoamento híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , estabelecido em Telêmaco Borba, PR.....	55
Tabela 11 -	Decomposição da serapilheira em um povoamento híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	56
Tabela 12 -	Valores de biomassa de raízes finas em diferentes profundidades para os tratamentos com (CE) e sem (SE) exclusão da precipitação interna (CE) em um povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	58
Tabela 13 -	Variáveis dendrométricas de um povoamento do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> aos 75 meses de idade, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	61
Tabela 14 -	Parâmetros estatísticos de ajuste do modelo de regressão utilizado para estimar a biomassa de um povoamento do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , aos 76 meses de idade, localizado no município de Telêmaco Borba, PR.....	63
Tabela 15 -	Produção de biomassa para os diferentes componentes das árvores de um povoamento híbrido de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , aos 76 meses de idade, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização e classificação climática dos 36 sítios experimentais do TECHS	24
Figura 2 -	Mapa de localização da área de estudo em Telêmaco Borba, PR.....	25
Figura 3 -	Diagrama climático do município de Telêmaco Borba, PR durante o período de julho de 2017 a junho de 2018.....	26
Figura 4 -	Esquema ilustrativo do sistema de exclusão da precipitação interna na área experimental em Telêmaco Borba, PR	28
Figura 5 -	Esquema de coleta das raízes finas na área experimental.....	33
Figura 6 -	Relação da precipitação interna (A); escoamento pelo tronco (B) e interceptação pela copa (C), em função da precipitação pluviométrica.....	40
Figura 7 -	Valores médios do pH da precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco no povoamento do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> em Telêmaco Borba, PR.....	42
Figura 8 -	Quantidade anual de nutrientes (kg ha ⁻¹) incorporado ao sistema pela precipitação pluviométrica (P), pela Precipitação interna (Pi) e pelo escoamento pelo tronco (Et) em um povoamento do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	45
Figura 9 -	Produção total de serapilheira para os tratamentos com exclusão parcial da precipitação interna (CE) e sem exclusão da precipitação interna (SE) em função de diferentes níveis de temperatura do ar (°C) (mínima, média e máxima).....	50
Figura 10 -	Produção total de serapilheira para os tratamentos com exclusão parcial da precipitação interna (CE) e sem exclusão da precipitação interna (SE) em função da precipitação pluviométrica (mm) mensal no período do estudo em Telêmaco Borba, PR.....	51
Figura 11 -	Influência da sazonalidade sobre as frações folhas, galhos e miscelânea na serapilheira produzida de um povoamento do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	52
Figura 12 -	Valores da densidade de raízes finas em diferentes profundidades para os tratamentos com (CE) e sem (SE) exclusão da precipitação interna em um povoamento de <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR.....	60
Figura 13 -	Relação entre o diâmetro à altura do peito (DAP) e os componentes da biomassa: madeira (A); casca (B); galho vivo (C); galho morto (D) e folhas (E) no povoamento do híbrido <i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>E. sp.</i> , localizado no município de Telêmaco Borba, PR.....	62

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A - Disposição dos coletores de precipitação. A) Coletores na área anexa ao povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*; B) Coletores no tratamento com exclusão parcial da precipitação interna; C) Coletores no tratamento sem exclusão da precipitação interna; D) conjunto de escoamento pelo tronco.....78
- Apêndice B - Disposição dos coletores de serapilheira produzida. A) coletor para o tratamento com exclusão parcial da precipitação interna. B) coletor de serapilheira para o tratamento sem exclusão.....79
- Apêndice C - Moldura utilizada para a coleta de serapilheira acumulada sobre o solo....80
- Apêndice D - Quantificação da biomassa no povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 76 meses de idade. A) seleção da árvore; B) discos retirados nas devidas posições; C) pesagem das folhas; D) pesagem dos galhos vivos.....81
- Apêndice E - Relação da produção de folhas da serapilheira produzida em ambos os tratamentos com a precipitação pluviométrica, temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa.....82
- Apêndice F - Relação da produção de galhos da serapilheira produzida com a precipitação pluviométrica, temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa.....83
- Apêndice G - Relação da produção de miscelânea na serapilheira produzida com a precipitação pluviométrica, temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa.....84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVOS	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	GÊNERO <i>Eucalyptus</i> sp.....	17
2.1.1	<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. Blake	17
1.2	CICLAGEM DE NUTRIENTES	18
1.3	DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA	19
1.4	SERAPILHEIRA	21
1.5	BIOMASSA DE RAÍZES	22
1.6	BIOMASSA ACIMA DO SOLO	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	24
3.1.2	Localização	24
3.1.3	Clima.....	25
3.1.4	Solo.....	26
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	27
3.2.1	Preparo da área.....	28
3.2.2	Caracterização dendrométrica do povoamento.....	29
3.3	COLETAS	29
3.3.1	Precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco.....	29
3.3.2	Coleta e processamento das amostras da serapilheira produzida.....	31
3.3.3	Coleta e processamento da serapilheira acumulada.....	32
3.3.4	Biomassa e densidade de raízes finas	33
3.3.5	Biomassa acima do solo	34
3.3.5.1	<i>Seleção das árvores</i>	34
3.3.5.2	<i>Biomassa.....</i>	35
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, PRECIPITAÇÃO INTERNA E ESCOAMENTO PELO TRONCO	38
4.1.1	Características químicas da precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco	41
4.1.2	Fluxo de nutrientes	44
4.2	SERAPILHEIRA	47
4.2.1	Serapilheira produzida.....	47
4.2.2	Serapilheira acumulada	54
4.2.2.1	<i>Decomposição da serapilheira</i>	56
4.3	RAÍZES FINAS	58
4.3.1	Biomassa de raízes finas.....	58
4.3.2	Densidade de raízes finas	60
4.4	BIOMASSA ACIMA DO SOLO	61
5	CONCLUSÕES.....	65
	RECOMENDAÇÕES.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
	APÊNDICE	77

1 INTRODUÇÃO

A vasta gama de espécies de *Eucalyptus* adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, as altas taxas de crescimento e múltiplos usos estimularam o plantio do gênero por pequenas e grandes empresas (GONÇALVES et al., 2013). Além de seu papel econômico, as espécies de *Eucalyptus* apresentam uma série de benefícios ambientais, como a redução da pressão sobre as florestas nativas, proteção e recuperação dos recursos hídricos e dos solos, além da minimização dos efeitos causados através das emissões dos gases de efeito estufa (COUTINHO et al., 2017; SCHUMACHER et al., 2013).

A expansão da área plantada de *Eucalyptus* no Paraná passou de 161.422 ha⁻¹ em 2010 para 294.050 ha⁻¹ em 2016 (IBÁ, 2017), sendo que o Estado possui a sexta maior área plantada, cobrindo cerca de 1,71 % da superfície territorial paranaense (COUTINHO et al., 2017). A região Centro-Sul do Paraná concentra a maior área com plantios de *Eucalyptus* com aproximadamente 210.687 ha (62% da área plantada), na qual o município de Telêmaco Borba se destaca por ser o maior produtor, destinando a maior parte da matéria-prima oriunda destes plantios a empresas florestais regionais, principalmente de celulose e papel e de painéis de madeira.

Em razão dessas circunstâncias, para garantir a capacidade produtiva dos solos, é necessário compreender a dinâmica da ciclagem de nutrientes, bem como realizar estudos sobre a compartimentalização da biomassa, analisando a produção de serapilheira, sua decomposição e lixiviação (PEGADO et al., 2008; POGGIANI; SCHUMACHER, 2000; SCHUMACHER et al., 2013; VIERA, 2012). A liberação de nutrientes é regulada, entre outros fatores, pela composição da matéria orgânica, pelas variáveis climáticas e pelas condições químicas e físicas do ambiente (PAULA et al., 2009), aliada à atividade da comunidade de decompositores (CÉSAR, 1993). Estes nutrientes liberados no solo poderão ser reabsorvidos pelas raízes, dando continuidade à ciclagem de nutrientes (SCHUMACHER et al., 2003).

A entrada dos nutrientes em uma floresta, por processos naturais, não é realizada somente pela deposição de serapilheira, mas também pela precipitação interna, que ao atravessar o dossel florestal carrega aerossóis depositados sobre a copa das árvores e lixivia os componentes da biomassa aérea para o piso florestal (SCHRUMPF et al., 2006; VIERA, 2012). A água é fundamental no metabolismo das plantas, sendo que uma pequena redução em sua disponibilidade pode afetar o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das plantas (TATAGIBA et al., 2009). Em virtude disso, torna-se evidente a necessidade de avançar o

conhecimento sobre os processos fisiológicos que podem ser acionados pelas plantas de eucalipto em diferentes condições de disponibilidade hídrica (TATAGIBA et al., 2015).

O entendimento dos fatores que influenciam as respostas fisiológicas dos povoamentos de eucalipto pode ajudar no planejamento, na localização dos plantios e na seleção de genótipos, bem como na escolha do manejo adequado para povoamentos instalados em ambientes com restrições hídricas (OTTO et al., 2013). Nesse contexto, o Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF) em parceria com 26 empresas florestais e 9 universidades criaram um programa cooperativo intitulado TECHS (Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídricos, Térmicos e Bióticos) desenvolvido para estudar o comportamento de clones do gênero *Eucalyptus* sob diferentes níveis de estresses hídricos, térmicos e bióticos (pragas e doenças), e a interação entre eles. Para tal foram instalados experimentos ao longo de um gradiente de 3.500 km, dos Estados do Pará ao Rio Grande do Sul e Uruguai, abrangendo diversas tipologias climáticas e edáficas (BINKLEY et al., 2017; STAPE et al., 2014).

Atualmente, estão sendo realizadas pesquisas em várias partes do mundo sobre as mudanças climáticas e suas consequências para os ecossistemas do planeta. Em virtude disso, estão em andamento simulações e grandes ensaios nos mais variados tipos de ecossistemas. No presente trabalho, foi verificado como os níveis de precipitação pluviométrica afetam a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi avaliar a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em um povoamento do híbrido de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus* sp. submetido a exclusão parcial da precipitação interna.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a distribuição, o aporte de nutrientes pela precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco;
- Avaliar a sazonalidade da produção de serapilheira ao longo dos meses do ano, quantificar o acúmulo de serapilheira sobre o solo e simular a sua decomposição;
- Quantificar a biomassa e a densidade de raízes finas ao longo do perfil do solo;
- Estimar a biomassa acima do solo e a sua distribuição entre os componentes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GÊNERO *Eucalyptus* sp.

As plantas popularmente denominadas *Eucalyptus* constituem um grupo de espécies que juntas formam um dos maiores gêneros do planeta, no qual estão presentes mais de 800 espécies. Descrito em 1789 por L'Héritier, os *Eucalyptus* são angiospermas pertencentes a família Myrtaceae com ocorrência natural na Austrália, Papua-Nova Guiné, Timor-Leste, Indonésia e Filipinas, ocupando distintos nichos ecológicos após milhões de anos de evolução (FLORES et al., 2016).

O plantio de florestas no Brasil teve grande impulso com a publicação da Lei 5106/66, de 2 de setembro de 1966 que dispõe sobre os incentivos fiscais a empreendimentos florestais. Naquela ocasião, os plantios concentraram-se principalmente em espécies dos gêneros *Pinus*, com o objetivo de atender às indústrias de celulose e papel, e *Eucalyptus* visando o setor de energia, principalmente de carvão vegetal (PAIVA; LEITE, 2015). Em 1990 a produtividade nacional de eucalipto era de aproximadamente $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, porém atualmente já atinge valores próximos a $35,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, apresentando a maior produtividade do mundo, com 5,7 milhões de hectares no ano de 2016 dos 7,84 milhões de área com floresta plantada (IBÁ, 2017). Este aumento na produtividade pode estar relacionado ao crescente consumo de produtos e subprodutos florestais, onde o aprimoramento das técnicas busca, não somente o aumento das áreas plantadas, mas também os ganhos de produção (STORCK et al., 2016).

Entre as diversas espécies de *Eucalyptus* utilizadas em povoamentos destacam-se os híbridos, que tem por objetivo reunir características distintas de qualidade, adaptabilidade e resistência a doenças (ASSIS et al., 2015). Algumas espécies de eucaliptos podem se adaptar melhor em sítios com restrições edafoclimáticas, desde que se faça a seleção de espécies e procedências mais adaptadas às condições específicas de cada sítio (VIERA et al., 2015).

2.1.2 *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake

As árvores da espécie *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake são de grande porte, casca áspera, persistente, ligeiramente fibrosa, com pequenas fissuras longitudinais por todo o tronco e com coloração acinzentada (FLORES et al., 2016). Por ser uma espécie tropical, o *E. urophylla* tem uma distribuição natural nas latitudes 8°S a 10°S, especificamente em Timor-Leste, e nas ilhas Flores e Timor da Indonésia, desde o nível do mar até 2.500 m de altitude.

Ocorre predominantemente no tipo climático tropical com estação seca e chuvas de verão (Aw), e em menor proporção nos tipos tropical equatorial (Af), tropical de monção (Am), subtropical úmido com verão quente e chuvoso (Cwa) e subtropical temperado com chuvas de verão (Cwb) (FLORES et al., 2016).

Devido à adaptação às mais diversas regiões edafoclimáticas e a ampla gama de utilização o *E. urophylla* é uma das espécies mais plantadas no Brasil (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2003). As suas principais exigências climáticas são: temperatura média do ar anual entre 16 e 27°C e precipitação pluviométrica anual entre 1.000 e 2.000 mm (FLORES et al., 2016).

O potencial de utilização do *E. urophylla* é amplo: celulose e papel, chapas duras, serraria e carvão, além de ser uma espécie tolerante ao fungo causador do cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*) (SCANAVACA JUNIOR e GARCIA, 2003).

2.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES

O desafio da silvicultura é a produção sustentável de madeira, uma vez que a rápida taxa de crescimento dessas espécies eleva a demanda sobre os recursos do solo, principalmente água e nutrientes (BELLOTE et al., 2008). Estudos sobre a ciclagem de nutrientes em povoamentos de eucalipto permitem avaliar possíveis alterações decorrentes de técnicas de manejo e silviculturais, possibilitando inferir sobre a sustentabilidade da produção (CUNHA et al., 2005; LEITE et al.; 2010; ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004). Assim, o manejo eficiente de uma plantação com espécies arbóreas está ligado à ciclagem de nutrientes, para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo, com a queda do folheto, e o que é assimilado novamente pelas raízes (LA TORRACA et al., 1984).

A compreensão do ciclo de nutrientes, envolvendo velocidade de fluxo, entradas e saídas, interação solo-planta, distribuição nos componentes da parte aérea e do sistema radicular ao longo do tempo, é fundamental para a definição de tecnologias de manejo florestal, particularmente na definição de dose, método e época de aplicação de fertilizantes (GONÇALVES et al., 2000). O entendimento desse processo cíclico dos nutrientes também possibilita estabelecer balanços nutricionais das plantações com espécies arbóreas durante as diferentes fases do seu crescimento (SCHUMACHER; VIERA, 2015).

A ciclagem geoquímica pode ser avaliada por meio do monitoramento dos fluxos nutricionais da deposição atmosférica e intemperismo da rocha matriz (VIERA et al., 2015). A ciclagem bioquímica, por sua vez, pode ser verificada pela avaliação de componentes da

biomassa da planta (folhas – jovens, maduras e senescentes; lenho do fuste – cerne, alburno; casca; galhos vivos e mortos, raízes finas e grossas) (VIERA et al., 2015).

A ciclagem biogeoquímica leva em consideração o processo de circulação dos nutrientes no sistema solo - planta - solo. Sua avaliação está relacionada ao processo de aporte de material senescente (folhas, galhos, casca e materiais reprodutivos), acúmulo na superfície do solo e posterior decomposição. Nesse processo, a morte e a decomposição de raízes também são responsáveis pela ciclagem (SCHUMACHER; VIERA, 2015; VIERA et al., 2015).

As plantações de eucalipto, quando manejadas de forma adequada, contribuem para a manutenção de características químicas do solo, bem como para a manutenção ou aumento dos teores e estoques de carbono orgânico do solo, principalmente solos de baixa fertilidade (CARVALHO, 2014). Nesse contexto, a técnica de fertilização e o processo de ciclagem de nutrientes são fundamentais para manter e elevar a produção florestal desses plantios (GAMA-RODRIGUES et al., 2005), a qual deve estar alicerçada no manejo sustentável, preponderando os aspectos econômicos, ambientais e sociais. As questões nutricionais são bases importantes para estabelecer procedimentos estratégicos no setor produtivo florestal, levando em consideração a manutenção do sítio para sucessivas rotações (SCHUMACHER; VIERA, 2015).

2.3 DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA

A deposição atmosférica constitui um dos principais mecanismos da ciclagem biogeoquímica e redistribuição dos nutrientes em ecossistemas florestais (VALENTE et al., 2016). O processo de ciclagem de nutrientes em um ecossistema envolve a entrada de elementos presentes na atmosfera por meio da precipitação pluviométrica, tendo a contribuição da vegetação que retém nas folhas partículas trazidas pelo vento. Posteriormente os nutrientes contidos nessas partículas, ou até mesmo os depositados na superfície da vegetação, serão retirados por meio da chuva (DINIZ et al., 2013).

Em um ecossistema florestal, a precipitação pluviométrica se apresenta como a principal via de entrada de água e o seu comportamento pode ser subdividida em interceptação, evaporação das superfícies úmidas, transpiração das plantas, evaporação do solo e o deflúvio da bacia hidrográfica através de algum canal ou rio que a possuir (SCHUMACHER; VIERA, 2015). A principal função desse mecanismo está relacionada com a superfícies dos galhos e folhas que agem como eficientes filtros, retendo partículas e gases atmosféricos que são absorvidos pelas folhas ou aportados ao solo por meio da pluviosidade (VALENTE et al., 2016).

A precipitação pluviométrica é uma importante fonte de entrada de elementos químicos no sistema devido a quantidade anual de aporte de nutrientes pela água (CALIL et al., 2010). A água da chuva ao incidir sobre a cobertura florestal traz consigo elementos de constituição mineral e orgânica que se encontram suspensos na atmosfera (VALENTE et al., 2016). Através da precipitação pluviométrica, partículas de poeiras, spray marinho, fuligens e outros particulados (DICK, 2018) que ao atravessar o dossel florestal podem ser absorvidos, resultando numa importante fonte de reposição de nutrientes ao solo (VALENTE et al., 2016).

Neste processo, as copas das árvores fracionam a água da chuva, onde uma parte fica temporariamente retida e evapora, e outra parte atravessa a copa como precipitação interna e escoamento pelo tronco (ARCOVA et al., 2003). A precipitação interna em uma floresta pode ser definida como a fração da precipitação pluviométrica que atravessa o dossel e atinge a superfície do solo (GASPAROTO et al., 2014). Partindo deste princípio, a cobertura vegetal nos ecossistemas florestais desempenha um importante papel no balanço hídrico, sendo que a entrada de água e nutrientes é influenciada pelo tipo da vegetação (DINIZ et al., 2013).

Em um evento de precipitação pluviométrica toda a água que não é convertida em forma de precipitação efetiva fica retida nas copas, caracterizando o processo de interceptação (TONELLO et al., 2014). O processo de interceptação redistribui a água da chuva e parte do volume incidente não chega ao solo (GIGLIO; KOBAYAMA, 2013). Os estudos sobre a interceptação da precipitação em povoamentos florestais têm uma importância na compreensão do papel das árvores nos processos hidrológicos e sua aplicação no manejo florestal (RODRIGUES et al., 2016). Assim, as copas das árvores são responsáveis por interceptar parte da precipitação pluviométrica, devolvendo para a atmosfera e reduzindo a entrada de água no solo (MOMOLLI et al., 2018). O conhecimento da dinâmica biogeoquímica que ocorre em povoamentos com espécies de crescimento rápido permite avaliar os processos que são responsáveis pela manutenção da fertilidade do solo e da sustentabilidade da produção (VALENTE et al., 2016).

A proporção da chuva interceptada depende principalmente do tipo da floresta e das características dos diferentes tipos de precipitação pluviométrica, variando consideravelmente entre espécies (CADALTO; SCHUMACHER, 2013). Dessa forma, considerando esses diferentes regimes de precipitação pluviométrica, torna-se necessário a ampliação dos conhecimentos acerca dos processos fisiológicos que podem ser acionados pelas plantas em diferentes condições de déficit hídrico (TATAGIBA et al., 2015).

O escoamento pelo tronco das árvores corresponde a uma fração da precipitação pluviométrica. Dessa forma, após retenção pela copa e saturação, ou seja, quando a capacidade

máxima de retenção de água for alcançada, inicia-se o processo de escoamento da água pelo tronco e galhos em direção ao solo, processo este importante na redistribuição da água de chuva (SHINZATO et al., 2011; TONELLO et al., 2014). Uma das formas de estimar o escoamento pelo tronco é através da instalação de uma canaleta bem vedada ao redor do tronco da árvore, de forma que toda a água que escoar por essa região seja direcionada para um reservatório para posteriormente ser coletada e mensurada (SHINZATO et al., 2011).

Os vários regimes de chuva afetam diretamente a decomposição da serapilheira, através da mudança na umidade do solo e da atividade microbiana, acelerando ou retardando este processo, atuando na qualidade da matéria orgânica e no crescimento das plantas (SCHUSTER, 2015). A cobertura florestal possui importância dentro do contexto do balanço hídrico de determinado local, podendo alterar o mecanismo de entrada de água e nutrientes na superfície do solo (DINIZ et al., 2013).

2.4 SERAPILHEIRA

A serapilheira acumulada sobre o solo das florestas tem importante papel na dinâmica dos ecossistemas (TURCHETTO; FORTES, 2014), pois além de proporcionar um habitat adequado para microrganismos e fauna do solo, a serapilheira é o principal meio de transferência de nutrientes nos ecossistemas florestais (GUO; SIMS, 1999). A quantidade e composição da serapilheira dependem das características do ecossistema, sendo as folhas a fração que mais contribui na transferência dos nutrientes da planta para o solo (CHAVE et al., 2010).

As variações climáticas anuais e sazonais (SKORUPA et al., 2015), influenciam nas quantidades de serapilheira produzida, bem como na sua decomposição, resultando em um maior ou menor acúmulo sobre o solo (VIERA et al., 2013). A precipitação pluviométrica e a temperatura do ar estão entre os elementos meteorológicos que mais influenciam na deposição de serapilheira. Dessa forma, locais com precipitação pluviométrica alta, normalmente apresentam maior produção de serapilheira do que em regiões mais secas (INKOTTE et al., 2015).

Em plantações com espécies florestais arbóreas, a atividade microbiana tem grande relevância para a ciclagem de nutrientes e a fertilidade do solo. Esses ecossistemas, devido às suas características e longos períodos de rotação, proporcionam um contínuo aporte de serapilheira e morte de raízes, que contribuem para a manutenção e elevação do teor de matéria orgânica do solo (BARRETO et al., 2008). A elevada produção de serapilheira aliada ao alto

teor de nutrientes deste material, quando mantido no sítio, podem melhorar as características do solo, principalmente em solos degradados ou de baixa fertilidade natural (LUDVICHAK et al., 2016).

A realização de trabalhos em regiões subtropicais é de fundamental importância para se obter conhecimento acerca da dinâmica da produção de serapilheira e do teor de nutrientes contidos nas suas diferentes frações (folhas, galhos, cascas e outras partes das plantas). Além de ser relevante para garantir o manejo efetivamente sustentável dos solos e recursos minerais, garantindo a capacidade de suporte nutricional dos povoamentos florestais (URBANO et al., 2018; BRUN et al., 2013).

2.5 BIOMASSA DE RAÍZES

O sistema radicular exerce importante função no desenvolvimento das plantas, o qual pode ser dividido em raízes grossas responsáveis pela sustentação da planta no solo, e raízes finas, que absorvem água e nutrientes (McCOMARCK et al., 2015). A compreensão do funcionamento, distribuição e quantidade de raízes é fundamental para o entendimento total da fisiologia de uma planta, uma vez que o sistema radicular constitui sua sustentação, seu meio para absorção de água e nutrientes, e também podem apresentar mecanismos para proteção em condições adversas, afetando diretamente suas funções (NAVROSKI et al., 2010). A síntese de metabólitos, durante a fotossíntese, promove o desenvolvimento radicular das plantas, entretanto, este processo depende de condições físicas, químicas e biológicas do solo que garantam o suprimento de água e nutrientes à planta (SCHUMACHER et al., 2003).

O desenvolvimento das raízes pode ser alterado, dependendo das características do solo, como por exemplo, a existência de um impedimento, profundidade, diferença hídrica ou nutricional, entre outros (GONÇALVES; MELLO, 2000). No entanto, conhecer as características do sistema radicular das diferentes espécies é de suma importância para o planejamento das atividades práticas do solo, como preparo do solo, subsolagem, entre outros (DANSO et al., 2016), assim como planejar de forma consistente as técnicas de aplicação de fertilizantes, otimizando o aproveitamento do adubo através da distribuição (DICK et al., 2016).

O desenvolvimento radicular é considerado um processo complexo, controlado por características inerentes à própria planta e seu habitat (LOPES et al., 2013). Pesquisas envolvendo a dinâmica das raízes no solo são de fundamental importância para o entendimento de todo o processo ecológico de florestas nativas e plantadas. Informações sobre a distribuição do sistema radicular servem como subsídio para esclarecer os processos ecofisiológicos

básicos, principalmente os relacionados com a nutrição e o balanço hídrico das árvores, fornecendo informações para a manutenção da capacidade produtiva desses sítios, sendo relevantes no planejamento da atividade florestal (NAVROSKI et al., 2010).

2.6 BIOMASSA ACIMA DO SOLO

A biomassa compreende toda a matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal, sendo que o termo biomassa florestal é a biomassa existente em um fragmento florestal ou apenas na fração arbórea avaliada (SANQUETA, 2002). Na floresta, a produção de biomassa é influenciada pela quantidade de radiação solar interceptada pela copa e pela eficiência de conversão dessa radiação em biomassa (SANTANA et al., 2008).

O conhecimento da alocação de biomassa florestal é importante para o entendimento dos processos de ciclagem de nutrientes e é essencial para as definições das estratégias de manejo a serem adotadas, como a aplicação de fertilizantes e a intervenção por meio de desbaste (SANTANA et al., 2008). Nesse contexto, a realização periódica de medições do acúmulo de biomassa em povoamentos florestais pode determinar o potencial de produção de uma espécie, contribuindo também em projeções para prever o rendimento da colheita, avaliando as perdas ou acumulação de biomassa ao longo do tempo (KUYAH et al., 2013).

A saída de nutrientes do sítio florestal via colheita da biomassa deve ser um componente levado em consideração por parte dos empreendedores. A colheita do tronco com casca, por exemplo, implica em uma exportação elevada de nutrientes, com consequente custo de reposição via adubação corretiva e de manutenção, a fim de manter a capacidade produtiva do solo (VIERA et al., 2015). Quanto maior a remoção de biomassa de um povoamento, maiores implicações da colheita sobre determinado sítio, entre eles uma maior exportação de nutrientes e diminuição do material orgânico sobre o solo (LUDVICHAK, 2016). Tais cuidados podem evitar que haja diminuição de produtividade com as rotações futuras e também contribui para o manejo sustentável, visto que a exportação de nutrientes, principalmente cálcio, é elevada na colheita da madeira com casca (VIERA et al., 2015).

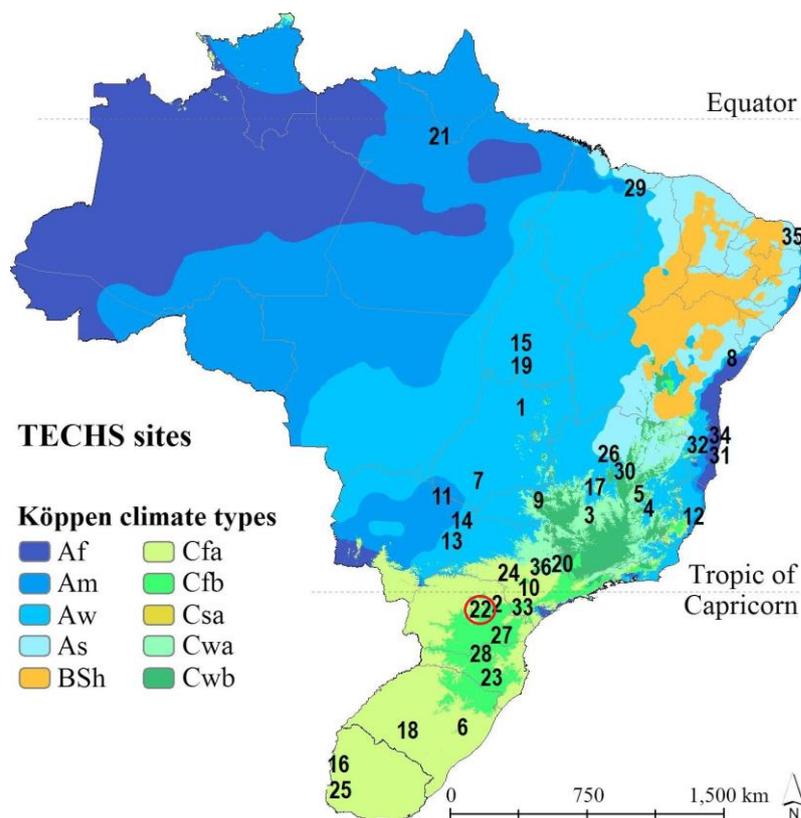
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1.1 Localização

O programa cooperativo Tolerância de *Eucalyptus* Clonais aos Estresses Hídricos, Térmicos e Bióticos (TECHS) está distribuído entre o Estado do Pará no Brasil até o Uruguai, possuindo 36 sítios experimentais. O presente trabalho foi realizado no período de julho de 2017 a junho de 2018 em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus* sp., com 66 meses de idade, no sítio experimental número 22 (Figura 1).

Figura 1 - Localização e classificação climática dos 36 sítios experimentais do TECHS



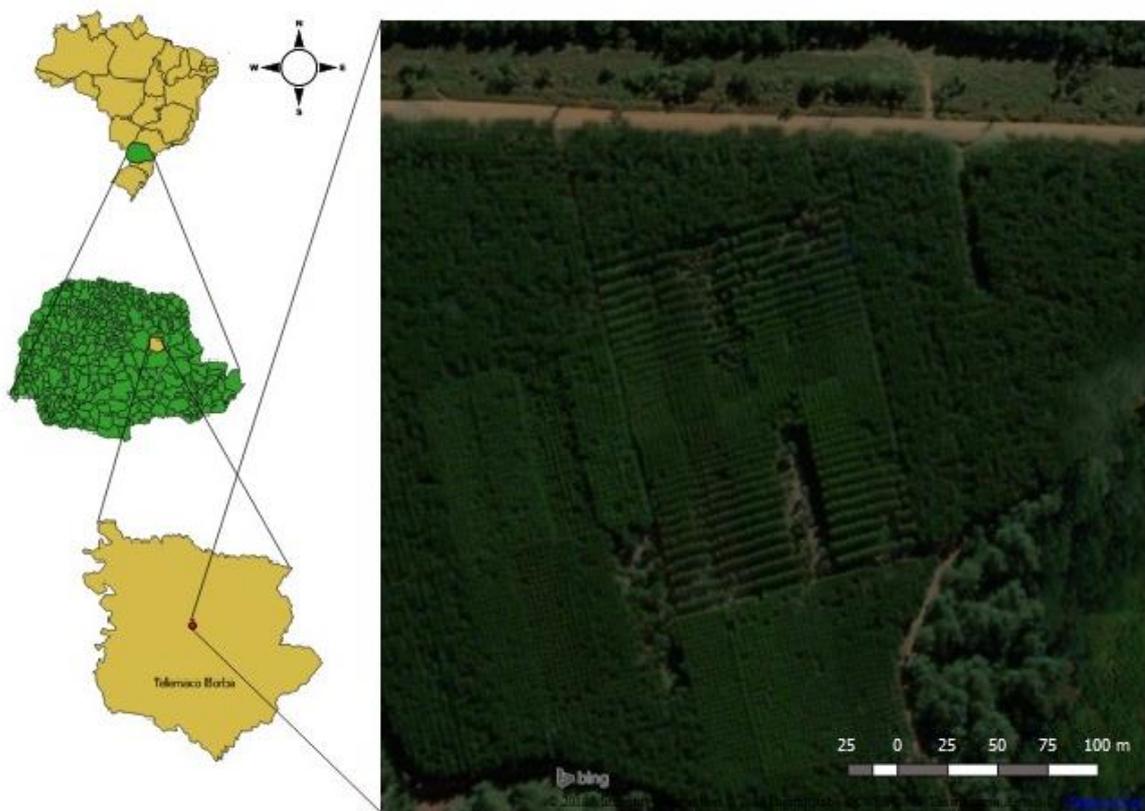
*Detalhe no sítio 22, referente ao sítio experimental em Telêmaco Borba, PR, área do presente estudo.

Af: Tropical equatorial; Am: Tropical de monção; Aw: Tropical com estação seca e chuvas de verão; As: Tropical com estação seca de verão e chuvas de inverno; Cfa: Subtropical marítimo de verão quente; Cfb: Subtropical oceânico de verão temperado; Cwa: Subtropical úmido com verão quente e chuvoso; Cwb: Subtropical temperado e chuvas de verão; BSh: Semiárido seco e quente.

Fonte: Adaptado de Binkley et al. (2017).

A área experimental está localizada na Fazenda Monte Alegre pertencente à empresa Klabin S.A., no município de Telêmaco Borba, Paraná, cuja localização se dá: 24° 13' 41,0''S e 50° 31' 40,0''O (Figura 2). O experimento do TECHS deste sítio conta com 12 diferentes genótipos do gênero *Eucalyptus* sp. Porém, no presente estudo trabalhou-se somente com o híbrido *E. urophylla* x *E. sp.*

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo em Telêmaco Borba, PR



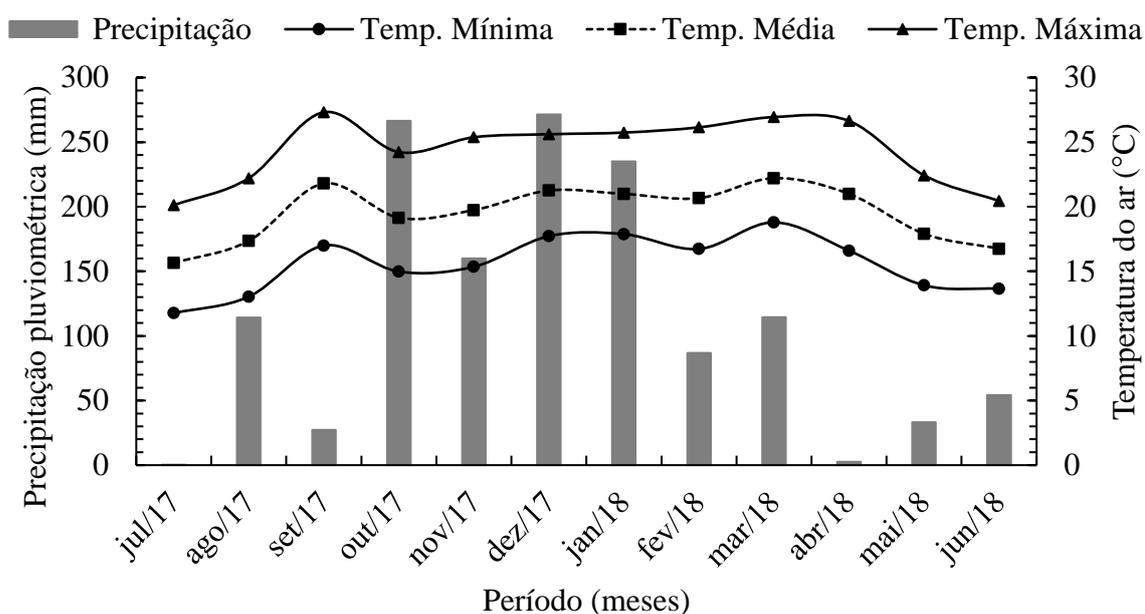
Fonte: Autor (2019).

3.1.2 Clima

O tipo de clima predominante é o Cfb (clima temperado), com temperatura média anual de 18,8 °C e precipitação pluviométrica média anual de 1.646 mm, conforme a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2014). Segundo Flores et al. (2016), a espécie *E. urophylla* é classificada com uma aptidão climática baixa para a região de Telêmaco Borba – PR.

Na Figura 3, são apresentados os dados meteorológicos para o período de julho de 2017 a junho de 2018, obtidos da estação meteorológica localizada na empresa Klabin S.A., a 880 m de altitude, 24°12'40,59'' S e 50°33'29,15'' O. A distância entre a área experimental e a estação meteorológica é de aproximadamente 3,4 km em linha reta.

Figura 3 - Diagrama climático durante o período de julho de 2017 a junho de 2018 no município de Telêmaco Borba, PR



Fonte de dados: Klabin S.A., (2018).

3.1.3 Solo

O solo da área experimental foi classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico típico de textura argilosa. A Tabela 1 apresenta a caracterização química do solo na profundidade de 0 a 60 cm.

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos do solo da área experimental implantada com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 76 meses de idade, no município de Telêmaco Borba, PR

(Continua)

Atributo	Unidade	Profundidade (cm)					
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Argila	%	43,00	47,00	47,00	50,00	59,00	62,00
MO*	%	4,80	3,60	2,80	3,00	2,60	2,60
pH	1:1, água	4,10	4,10	4,20	4,30	4,30	4,30

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos do solo da área experimental implantada com o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 76 meses de idade, no município de Telêmaco Borba, PR

(Conclusão)

Atributo	Unidade	Profundidade (cm)					
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Al	cmol _c dm ³	2,90	2,70	2,30	2,00	1,70	1,60
Ca		0,50	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30
Mg		0,30	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10
P		2,10	1,50	1,10	1,00	1,50	1,50
K	mg dm ³	44,00	32,00	24,00	20,00	20,00	16,00
H+Al		17,30	19,40	17,30	17,30	15,40	12,30
t	cmol _c dm ³	3,80	3,30	2,80	2,40	2,00	2,10
T		18,20	20,00	17,80	17,70	15,70	12,80
V		5,00	2,80	2,60	2,40	2,10	3,70
m	%	76,30	81,80	82,10	83,30	85,30	76,20
S		11,60	7,90	12,50	13,00	3,20	6,90
B		0,20	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20
Cu	mg dm ³	3,26	3,73	3,65	3,22	3,88	2,96
Zn		1,59	1,18	0,83	0,76	1,42	1,17

*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; T: CTC pH7; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; S, por solução de Ca (H_2PO_4)₂ a 500 mg de P L⁻¹.

Fonte: Autor (2019).

Conforme dados observados na Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2016), a área experimental possui baixa fertilidade, pois o teor de matéria orgânica no solo é médio, o pH é muito baixo, teores de Ca, Mg e P são baixos e de K é de baixo a médio. O valor da CTC efetiva de 2,00 cmol_c dm³ – 3,80 cmol_c dm³ (extremamente baixos) reflete que o solo analisado apresenta baixa capacidade de reter cátions.

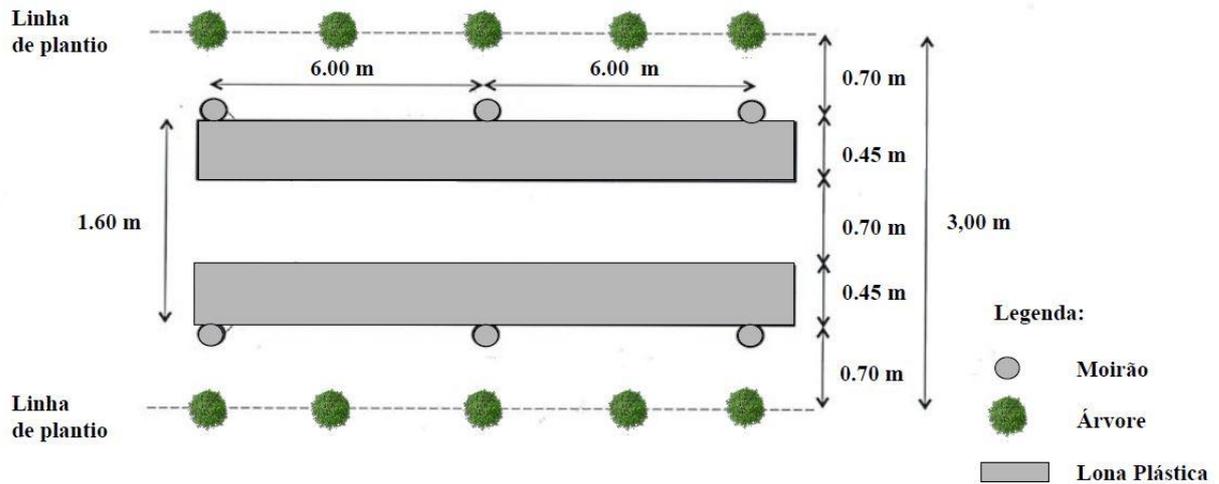
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com parcelas experimentais de 720 m² compostas por oito linhas, possuindo, cada uma, dez árvores no espaçamento de 3 m x 3 m. Adicionalmente, em cada tratamento foram estabelecidas meias-parcelas, para fins de amostragens destrutivas, as quais eram constituídas de oito linhas por cinco plantas.

Foram definidos dois tratamentos de regime hídrico: um recebendo 100% da precipitação interna (sem exclusão) e outro recebendo apenas 70% (com exclusão). No tratamento com exclusão (CE), quando o povoamento completou um ano de idade, foi instalado

calhas de lonas plásticas as quais impedem que 30% da precipitação interna incida no solo. (Figura 4).

Figura 4 – Esquema ilustrativo do sistema de exclusão da precipitação interna (CE) na área experimental em Telêmaco Borba, PR



Fonte: Autor (2019).

3.2.1 Preparo da área

Para a implantação do povoamento foi realizada calagem de 2 Mg ha⁻¹ de calcário e subsolagem a 50 cm de profundidade. Anteriormente, o solo era ocupado por um plantio de *Eucalyptus* sp. com oito anos de idade, o qual apresentava quantidade de resíduos, conforme a empresa. O plantio foi realizado em fevereiro de 2012, com hidrogel, e o replantio ocorreu 46 dias após.

Como adubação de plantio, aplicou-se 200 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo e 280 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (04:26:06). Posteriormente, foram realizadas duas fertilizações pós-plantio, aos três e nove meses de idade, nas quais foram aplicados 200 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (16:04:20) e 350 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O (16:04:20), respectivamente. Todas as parcelas receberam a mesma fertilização, de modo a extinguir qualquer limitação nutricional. Também foi realizado controle de matocompetição com herbicidas químicos e controle de formigas cortadeiras.

3.2.2 Caracterização dendrométrica do povoamento

Em março de 2017 foi realizada a caracterização dendrométrica da área experimental aferindo a altura e o diâmetro a altura do peito (DAP) de todas as árvores da parcela (Tabela 2).

Tabela 2 - Caracterização das variáveis dendrométricas do povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 62 meses de idade, estabelecido em Telêmaco Borba, PR

Variáveis	Com exclusão	Sem exclusão
Diâmetro médio (cm)	16,78 ± 1,38 b*	17,34 ± 1,81 ^a
Altura média (m)	28,57 ± 1,09 a	28,35 ± 1,67 a
Área basal da parcela (m ²)	1,7372 ± 0,022b	1,8374 ± 0,023 ^a
Volume da parcela (m ³)	24,9246 ± 0,3195 a	26,2856 ± 0,3414 a
Área basal por ha (m ² ha ⁻¹)	24,1289 b	25,5191 a
Volume por ha (m ³ ha ⁻¹)	346,1750 a	365,0776 a

* Valores seguidos de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste T Student (p<0,05%).

Fonte: Autor (2019).

3.3 COLETAS

3.3.1 Precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco

Para a quantificação da precipitação pluviométrica (P) instalou-se, em área adjacente ao povoamento, três coletores com diâmetro de captação de 20 cm dispostos a altura de 1,5 m do nível do solo. Foram colocados cintas de *neoprane* com arames de aço a fim de evitar que pássaros utilizassem os coletores como poleiros.

Para a avaliação da precipitação interna (Pi) também foram instalados três coletores por tratamento, com diâmetro de captação de 20 cm e altura a um metro do nível do solo, distribuídos sistematicamente na linha, na entrelinha e na diagonal entre quatro árvores.

Para a amostragem e quantificação do escoamento pelo tronco (Et), em cada tratamento foram instalados três conjuntos formados por mangueira plástica, a qual foi fixado ao tronco através de espuma de poliuretano, formando uma calha que era conectada a um reservatório de armazenamento da água.

Os valores da precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et) foram aferidos quinzenalmente. Para a obtenção dos valores da precipitação pluviométrica e da precipitação interna em milímetros, utilizou-se a seguinte equação:

$$P = V/a \quad (1)$$

onde:

P = precipitação pluviométrica (mm);

V = volume coletado (L);

a = área do coletor (m²).

Os valores de escoamento pelo tronco foram obtidos a partir da utilização da seguinte expressão, utilizada por Preuhsler et al. (2006):

$$Et = \left(\frac{V}{g}\right) * \left(\frac{G}{A}\right) \quad (2)$$

onde:

Et = escoamento pelo tronco (mm);

V = volume coletado (L);

g = área basal da árvore (m²);

G = área basal da parcela (m²);

A = área da parcela (m²).

Para o cálculo da interceptação pela copa, foi utilizada a expressão:

$$Ic = \frac{P - (Pi + Et)}{P} * 100 \quad (3)$$

onde:

Ic = interceptação da copa (%);

P = precipitação pluviométrica (mm);

Pi = precipitação interna (mm);

Et = escoamento pelo tronco (mm).

Para análise química da água foram instalados três coletores de precipitação pluviométrica na área adjacente ao povoamento, e três coletores para a precipitação interna por tratamento, dispostos na linha, entrelinha e diagonal entre quatro árvores. Esses coletores eram compostos por frascos plásticos com capacidade de 2 litros. Nos reservatórios de escoamento pelo tronco de cada árvore, também foram coletadas amostras destinadas a análise química.

As amostras de precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco foram coletadas quinzenalmente e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Centro de Ciências Rurais da UFSM, onde foi determinado o pH de cada amostra e após a filtragem com filtro de poros de 0,45 µm. Foram analisados os íons Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^- , Na^+ , N-NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} por meio de cromatografia iônica conforme a metodologia da American Public Health Association - APHA (1998).

Para a determinação da quantidade de nutrientes aportados foi calculado o produto entre a concentração do elemento e o volume precipitado. No caso do tratamento CE da precipitação interna reduziu-se 30% do valor da precipitação interna para os cálculos dos fluxos de nutrientes.

3.3.2 Coleta e processamento das amostras da serapilheira produzida

A deposição de serapilheira foi avaliada quinzenalmente em cada tratamento durante um ano de coleta. Foram alocados nove coletores com dimensões de 33 cm x 53 cm x 45 cm, dispostos sistematicamente na linha de plantio, na entrelinha de plantio e na diagonal entre quatro árvores.

As amostras de serapilheira produzida foram identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram separadas nas frações folhas, galhos finos e miscelânea (flores, frutos, sementes e casca).

Todas as frações foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70°C até atingir peso constante. Na sequência, o material foi pesado em balança de precisão ($\pm 0,01$ g). A quantidade de serapilheira produzida (kg ha^{-1}) para cada fração foi estimada utilizando-se a seguinte equação:

$$\text{PMS} = \frac{((\sum \text{PS}) \times 10000)}{\text{AC}} \quad (4)$$

onde:

PMS = produção de serapilheira em kg ha^{-1} de determinado componente;

PS = produção de serapilheira de determinada fração em cada coletor em (kg);

AC = área do coletor em (m^2).

Após a secagem as amostras foram moídas em moinho de facas tipo *Willey* para realização das análises químicas.

3.3.3 Coleta e processamento da serapilheira acumulada

Foram realizadas coletas de serapilheira acumulada sobre o solo, com o auxílio de uma moldura de 25 cm x 25 cm, em duas ocasiões. A primeira ocorreu junho de 2017, quando o povoamento encontrava-se com 65 meses de idade e a segunda em maio de 2018 quando o povoamento estava com 76 meses. Em cada época foram coletadas 30 amostras de serapilheira acumulada por tratamento distribuídas de forma aleatória no povoamento.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, onde o material foi separado nas frações: folhas, galhos e miscelânea. Em sequência, as amostras foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 70°C. Posteriormente, foram pesadas em balança de precisão (0,01g). Em seguida, este material foi submetido à moagem em moinho do tipo *Wiley* com peneira de 30 *mesh*. A estimativa por hectare foi realizada através da extrapolação da massa seca, com base na área da moldura (0,0625 m²).

A taxa de decomposição da serapilheira, foi estimada conforme a metodologia proposta por Olson (1963), onde a massa da serapilheira acumulada sobre o solo em equilíbrio dinâmico e a massa da serapilheira produzida anualmente são relacionadas para cálculo da constante de decomposição da serapilheira.

$$K = \frac{L}{X_{ss}} \quad (5)$$

onde:

K = taxa de decomposição da serapilheira;

L = massa de serapilheira produzida anualmente (kg ha⁻¹ ano⁻¹);

X_{ss} = massa de serapilheira acumulada sobre o solo (kg ha⁻¹).

A partir do valor de K (coeficiente de decomposição), foi possível estimar o tempo médio necessário para a renovação da serapilheira acumulada sobre o solo, estimado em 1/K, e os tempos necessários para a decomposição de 50% e 95% da serapilheira, (SHANKS e OLSON, 1961).

$$t_{0,5} = \frac{0,693}{K} \quad (6)$$

onde:

$t_{0,5}$ = tempo necessário para decomposição de 50% da serapilheira (anos);

K = taxa de decomposição da serapilheira.

$$t_{0,5} = \frac{3}{K} \quad (7)$$

onde:

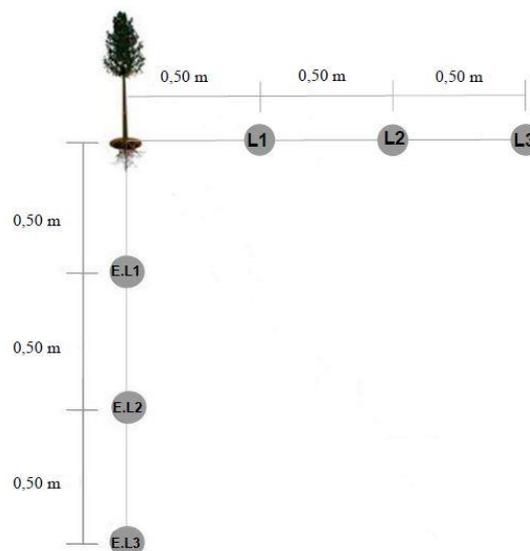
$t_{0,95}$ = tempo necessário para decomposição de 95% da serapilheira (anos);

K = taxa de decomposição da serapilheira.

3.3.4 Biomassa e densidade de raízes finas

A amostragem das raízes finas foi realizada em maio de 2018 (76 meses de idade do povoamento), em torno de uma árvore com diâmetro médio por tratamento. Através de um tubo coletor seis pontos foram amostrados em cada tratamento, três na linha de plantio e três na entrelinha. Em cada direção foram marcados três pontos a partir do fuste com diferentes distâncias da árvore amostrada (50 cm, 100 cm e 150 cm). Em cada um destes pontos foi realizada a coleta nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm (Figura 5).

Figura 5 - Esquema de coleta das raízes finas na área experimental



Onde: L: linha; EL: entrelinha.

Fonte: Autor (2019).

Desta forma, para cada tratamento obteve-se 36 amostras de solo, as quais foram coletadas com auxílio de um tubo cilíndrico com diâmetro de 10,98 cm. Posteriormente estas amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificadas e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria.

Após, as amostras de solo com raízes, foram colocadas sobre um conjunto de peneiras sobrepostas (2 mm e 1 mm) e submetidas a aplicação de jatos d'água para a retirada do solo. Após a lavagem das raízes (≤ 2 mm), elas foram distribuídas sobre uma folha de papel branco tamanho A4, para a obtenção das imagens utilizando-se uma câmera digital apoiada em um suporte de altura fixa (0,5 m) obtendo-se 81 imagens digitais. As imagens foram processadas pelo *Software* de Análise de Fibras e Raízes - SAFIRA (JORGE e RODRIGUES, 2008), determinando-se, a partir das imagens, o comprimento e a estimativa da densidade das raízes em cm cm^{-3} .

Posteriormente, as raízes foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados e encaminhadas para estufa de circulação de ar a 70°C , até atingir o peso constante das amostras. Essas amostras foram pesadas em balança analítica com precisão ($\pm 0,0001$ g) determinando-se a biomassa seca das raízes.

3.3.5 Biomassa acima do solo

3.3.5.1 Seleção das árvores

Em abril de 2018, aos 75 meses de idade do povoamento foi realizado um inventário dendrométrico, em ambos os tratamentos, no qual todas as circunferências a altura do peito (CAP) foram medidas com fita métrica à altura de 1,30 m do nível do solo. Também foram mensuradas as alturas totais (H) com uso de um hipsômetro Vertex.

A partir dos dados de inventário foi determinada a amplitude diamétrica por tratamento (Tabela 3), selecionando-se três árvores em cada um dos três centros de classe para a determinação da biomassa. As árvores foram selecionadas de modo a abranger toda amplitude de tamanho, dadas as diferenças no ritmo de crescimento entre árvores pequenas à grandes de uma população (CAMPOE, 2012). Assim, foram amostradas nove árvores por tratamento, totalizando 18 árvores.

Tabela 3 - Classes de diâmetro no povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 75 meses de idade, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR

Classe	Com exclusão				Sem exclusão			
	IC (cm)	CC	Freq.	Ind. ha ⁻¹	IC (cm)	CC	Freq.	Ind. ha ⁻¹
1 ^a	13,30 --- 16,03	14,65	12	167	12,73 --- 15,58	14,15	7	97
2 ^a	16,04 --- 18,80	17,42	51	708	15,59 --- 18,43	17,01	26	361
3 ^a	18,81 --- 21,57	20,19	16	222	18,44 --- 21,28	19,86	43	597
			79	1097			76	1056

Onde: IC: Intervalo de classe (cm); CC: Centro de classe; Freq.: Frequência; Ind. ha⁻¹: Indivíduos por hectare. Fonte: Autor (2019).

O diâmetro a altura do peito (DAP) foi calculado assumindo que a seção transversal do fuste possui área circular:

$$DAP = CAP/\pi \quad (8)$$

onde:

DAP = diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m do nível do solo (cm);

CAP: circunferência a altura do peito, medido a 1,30 m do nível do solo (cm);

$\Pi = \text{Pi}$ (3,14159265359).

3.3.5.2 Biomassa

Em maio de 2018, foi realizada a amostragem de biomassa a campo. As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e submetidas à cubagem rigorosa pelo método de Smalian, onde se mediu a circunferência do tronco nas seguintes alturas do fuste: base (o mais próximo da superfície do solo possível), DAP, 25%, 50%, 75% e 100% (considerando diâmetro comercial até 5 cm).

Após foram separadas nos seguintes componentes: galhos mortos, galhos vivos e folhas, sendo posteriormente pesadas a campo para a obtenção da biomassa úmida total da árvore. Em seguida, foi separada uma amostra de cada componente (300 g), para estimar a biomassa seca, a partir do teor de umidade das amostras, determinado pela seguinte fórmula:

$$B = Pt * \frac{(Pu - Ps)}{Pu} \quad (9)$$

onde:

B = biomassa do componente (kg árvore⁻¹);

Pt = peso total úmido das amostras (kg);

Pu = peso úmido das amostras (kg);

Ps = peso seco das amostras (kg).

Após a divisão do fuste foram retirados dois discos em cada seção, sendo um para determinação da umidade e outro para determinação da densidade básica. A densidade básica da madeira (DBm) e da casca (DBc) foi determinada pelo método da balança hidrostática. Os discos com casca foram saturados em água, sendo posteriormente cortados em duas cunhas (livres de nós) de lados opostos e com ângulo de aproximadamente 45° cada. Para cada cunha e amostra de casca foi obtido o peso imerso em água (Pi), o peso saturado (Psat) e o peso seco (Ps). Para o cálculo da densidade básica da madeira e da casca usou-se as seguintes equações:

$$DBm = \frac{\rho * Ps}{Psat - Pi} \quad (10)$$

$$DBc = \frac{\rho * Ps}{Psat - Pi + e} \quad (11)$$

onde:

DBm = densidade básica da madeira (g cm⁻³);

DBc = densidade básica da casca (g cm⁻³);

Ps = peso seco da amostra (g);

Psat = peso saturado da amostra (g);

Pi = peso imerso da amostra (g);

ρ = densidade da água (g cm⁻³);

e = peso do empuxo (g).

Para obter a biomassa da madeira, utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Massa} = DBm \times Vm \quad (12)$$

onde:

Massa = biomassa da madeira (kg ha⁻¹);

DBm = densidade Básica da madeira (kg m³);

Vm = volume da madeira (m³ árvore⁻¹).

Para obter a biomassa da casca, utilizou-se a seguinte equação:

$$\text{Massa} = \text{DBc} \times \text{Vc} \quad (13)$$

onde:

Massa = biomassa da madeira (kg ha^{-1});

DBc = densidade Básica da casca (kg m^3);

Vc = volume da casca ($\text{m}^3 \text{ árvore}^{-1}$).

A estimativa da biomassa foi realizada pela equação proposta por Husch et al. (1982) $\ln(y) = \beta_0 + \beta_1 * \ln(DAP)$, onde $\ln(y)$ representa o logaritmo natural da biomassa seca (kg por árvore) dos componentes, $\ln(DAP)$ o logaritmo natural do DAP (cm) e β_0 e β_1 os coeficientes de regressão.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa foram analisados através de equações de regressões em função da variável independente precipitação pluviométrica utilizando o *software* Microsoft Office Excel.

Os resultados de serapilheira produzida, acumulada, raízes finas e biomassa foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett. Em seguida, realizou-se a análise de variância. A comparação de médias entre os tratamentos foi realizada pelo Test t Student ($p < 0,05$) e a comparação entre a biomassa de raízes finas, nas profundidades, pelo Teste Tukey ($p < 0,05$), ambos utilizando o *software* SPSS for Windows (SPSS, 2004). Realizou-se também a correlação de Pearson entre a produção de serapilheira e algumas variáveis climáticas utilizando o *software* estatístico SPSS for Windows (SPSS, 2004).

A modelagem para a estimativa da biomassa acima do solo foi realizada no *software* Microsoft Office Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA, PRECIPITAÇÃO INTERNA E ESCOAMENTO PELO TRONCO

Conforme os resultados obtidos, a precipitação pluviométrica total (P), durante o período de estudo, foi de 1.627,25 mm. O mês de dezembro de 2017 apresentou o maior volume de P (371,36 mm), enquanto os meses de julho de 2017 e abril de 2018 registraram os menores volumes (0,00 e 20,80 mm) (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores referentes à precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação pela copa (Ic), coletados na área experimental do povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*

Ano	Meses	P	Pi SE	Pi CE	Et SE	Et CE	Ic SE	Ic CE
		mm						%
2017	Julho	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Agosto	121,91	100,27	96,66	4,12	3,54	17,54	18,73
	Setembro	35,23	27,69	26,10	1,94	1,85	15,86	20,66
	Outubro	295,29	262,29	228,33	10,63	7,41	10,93	20,65
	Novembro	180,06	157,01	139,00	8,35	5,72	8,93	19,94
	Dezembro	371,36	320,01	320,54	7,68	4,81	12,07	12,94
2018	Janeiro	273,96	217,51	219,42	5,18	3,64	22,08	21,80
	Fevereiro	116,93	105,25	101,12	3,46	2,61	14,87	21,18
	Março	101,54	82,65	78,52	3,55	3,48	15,32	19,43
	Abril	20,80	17,40	16,55	0,60	0,46	13,46	18,18
	Maiο	56,23	44,35	43,18	1,68	1,78	27,89	30,58
	Junho	53,95	43,45	41,59	1,22	1,36	21,96	24,97
Total		1.627,25	1.378,87	1.311,01	48,40	36,68	12,29	17,18

Onde: P = Precipitação pluviométrica, Pi SE = Precipitação interna no tratamento sem exclusão; Pi CE = Precipitação interna no tratamento com exclusão parcial de precipitação interna; Et SE = Escoamento pelo tronco no tratamento sem exclusão; Et CE = Escoamento pelo tronco no tratamento com exclusão parcial da precipitação interna; Ic SE = Interceptação pela copa no tratamento sem exclusão; Ic CE = Interceptação pela copa no tratamento com exclusão parcial da precipitação interna.

Fonte: Autor (2019).

Em relação a precipitação interna, o tratamento SE apresentou 1.378,87 mm, equivalente a 84,73 % da precipitação pluviométrica. Em contrapartida, o tratamento CE apresentou menor valor (1.311,01 mm), correspondendo a 80,56% da precipitação pluviométrica total registrada. Gasparoto et al. (2014) avaliando a precipitação interna em *Eucalyptus cloeziana*, *Pinus sp.* e Floresta Estacional Semidecidual em Iperó, SP, constataram

que a precipitação interna foi representada por 76,2 %, 85,1 % e 84,0 % da precipitação pluviométrica, respectivamente.

Sobre o escoamento pelo tronco, o tratamento SE resultou em 48,40 mm, valor correspondendo a 2,97% da precipitação pluviométrica. Já para o tratamento CE foram acumulados 36,68 mm, o que correspondendo a 2,25 % da precipitação pluviométrica.

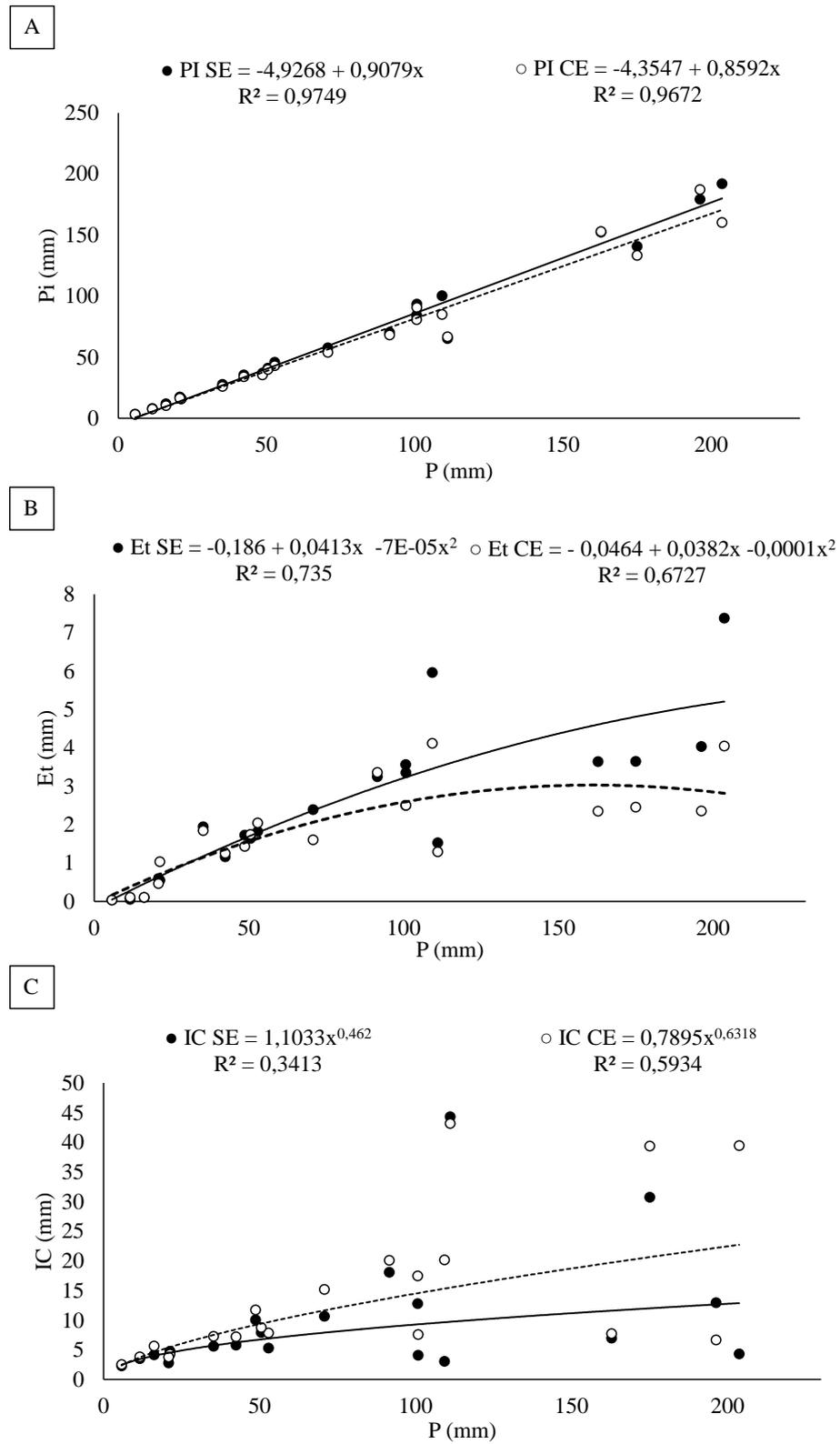
Para a interceptação pela copa no tratamento SE foi de 12,29 %, enquanto no tratamento CE o valor foi de 17,18%, sendo superior ao SE. Almeida et al. (2013), avaliando uma plantação de *E. grandis* x *E. urophylla* em Minas Gerais, verificaram que a interceptação pela copa foi de 9%, sendo este valor menor ao encontrado neste trabalho para os tratamentos avaliados.

Momolli et al. (2018) estudando a distribuição da precipitação pluviométrica incidente em um povoamento de *E. dunnii* Maiden, com 72 meses em Alegrete, RS, encontraram uma interceptação média pela copa de 8,9% em um ano de avaliação (1.903 mm). Supangat et al. (2012) avaliando o comportamento da água da chuva após a interação com a copa de *Eucalyptus pellita*, com seis anos de idade encontraram uma interceptação de 15,4%.

Corrêa (2011) avaliando um povoamento de *Eucalyptus dunnii* em Alegrete, RS aos 16,5 meses de idade observaram que, em um ano de avaliação a precipitação pluviométrica foi de 1.586 mm, sendo que 7% foi interceptada pela copa do povoamento. Para o mesmo autor, a precipitação interna correspondeu a 98 % da precipitação efetiva, sendo os 2% restantes referentes ao escoamento pelo tronco. Para a mesma espécie, Dick et al. (2018) estudando o povoamento com quatro anos de idade, no primeiro ano de avaliação, constataram que a precipitação interna foi de 91,08% (1.033,29 mm) e o escoamento pelo tronco de 0,91% (10,40 mm). No segundo ano, a precipitação interna correspondeu a 91,48% (1.497,46 mm) e o escoamento pelo tronco de 1,28% (20,98 mm). Os autores associaram estes resultados ao índice de área foliar do povoamento, uma vez que a cobertura do dossel permitiu maior passagem da precipitação pluviométrica.

Conforme a Figura 6, as análises de regressão para precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação da copa em função da precipitação pluviométrica no tratamento SE apresentaram um ajuste $R = 0,97$; $0,73$ e $0,34$, respectivamente. Para o tratamento CE o ajuste foi de $R = 0,96$; $0,67$ e $0,59$, para precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa, respectivamente.

Figura 6 - Relação da precipitação interna (A); escoamento pelo tronco (B) e interceptação pela copa (C), em função da precipitação pluviométrica



Fonte: Autor (2019).

Outros trabalhos desenvolvidos com o gênero *Eucalyptus* sp. tem apresentado elevadas correlações entre precipitação interna, escoamento pelo tronco e escoamento pelo tronco. Em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* com idade entre 1,4 aos 2,4 anos, Corrêa (2011) encontrou correlações da precipitação incidente com a precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa na ordem de 0,99, 0,83 e 0,53%, respectivamente.

Em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, Balieiro et al. (2007) encontraram correlação de $R = 0,99$ para a precipitação interna e $R = 0,93$ para o escoamento pelo tronco. Supangat et al. (2012) encontraram para *E. pellita* coeficientes de determinação (R^2) de 0,99; 0,77 e 0,29 para precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa, respectivamente. Gasparoto et al. (2014) avaliaram *Eucalyptus cloeziana* encontraram um ajuste linear de $R = 0,90$ da relação entre a precipitação pluviométrica e a precipitação interna.

Estudando a partição da precipitação pluviométrica incidente em povoamento de *E. dunnii* aos 6 anos de idade, Momolli (2018) encontrou ajustes de 0,99; 0,90 e 0,60 para precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa. Diversos fatores estão envolvidos na variação dos dados, entre eles o espaçamento das árvores, o grau de fechamento das copas e distribuição espacial dos coletores como possíveis fatores (XIAO e McPHERSON 2011).

Conforme Momolli (2018) o volume de chuva é importante fator de variabilidade. Na precipitação incidente o coeficiente de variação foi de 16% e 5% nos volumes de chuva inferiores a 20 mm e superiores a 180 mm. Para o escoamento pelo tronco o aumento do volume de chuva de 0,5 mm para 1,7 mm resultou numa diminuição de 60% para 20 % no coeficiente de variação. O autor conclui que a medida em que os volumes de pluviosidade aumentam os CV% diminuem.

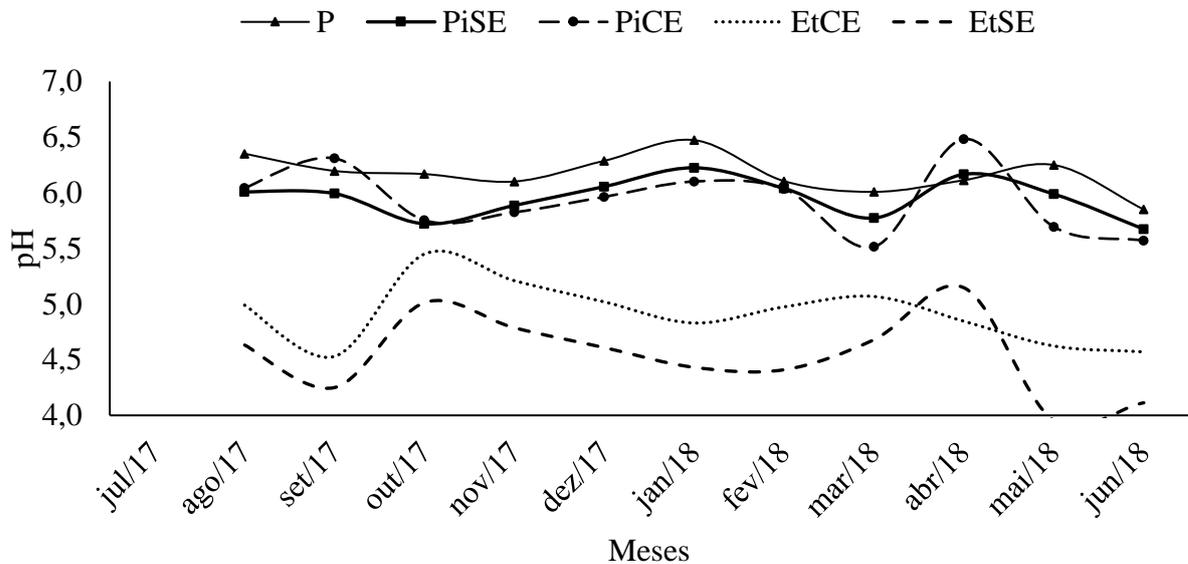
4.1.1 Características químicas da precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco

No período avaliado (Figura 7), o pH médio da precipitação pluviométrica foi de 6,17. A precipitação interna, para o tratamento CE e SE da precipitação interna foi de 5,94 e 5,96, respectivamente. Já o escoamento pelo tronco, proporcionou uma média de 4,92 e 4,55 para o tratamento CE e SE da precipitação interna.

Momolli (2018) encontrou valores de pH médio de 4,57 para precipitação pluviométrica, 4,64 para precipitação interna e 5,54 para o escoamento pelo tronco avaliando em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* de 7 a 8 anos em Alegrete, RS. Avaliando a mesma

espécie, aos 4 à 5 anos de idade, Dick et al. (2018) também constataram um aumento no pH a medida em que a precipitação interage com o dossel. O pH foi de 4,3 na precipitação pluviométrica, 5,0 na precipitação interna e 5,3 no escoamento pelo tronco.

Figura 7 - Valores médios do pH da precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco no povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* em Telêmaco Borba, PR



Fonte: Autor (2019).

Na Tabela 5 são apresentados os valores das concentrações dos principais íons antes de entrar em contato com a copa das árvores (P), na precipitação interna em ambos tratamentos (PI SE e PI CE) e no escoamento pelo tronco (ET SE e ET CE).

Tabela 5 - Concentração média mensal (mg L^{-1}) dos nutrientes da precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco no povoamento híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* estabelecidos em Telêmaco Borba, PR

(Continua)

Íons	2017						2018						Média	
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun		
	mg L^{-1}													
Cl ⁻	P	.	0,67	1,12	0,57	0,72	0,44	0,28	0,32	0,40	0,45	0,59	0,46	0,55
	PI SE	.	2,25	4,42	1,32	1,15	0,95	0,56	1,41	2,24	2,63	3,34	1,36	1,97
	PI CE	.	1,91	2,03	1,20	1,01	0,73	0,41	1,19	1,40	1,15	3,47	1,87	1,49
	ET SE	.	n.d	14,10	0,85	1,25	2,20	1,88	2,77	2,23	2,34	6,19	4,79	3,86
	ET CE	.	n.d	19,90	1,25	1,16	1,62	1,25	1,84	1,29	n.d	3,58	5,79	4,19

Tabela 5 - Concentração média mensal (mg L^{-1}) dos nutrientes da precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco no povoamento híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* estabelecidos em Telêmaco Borba, PR

(Conclusão)

Íons	2017						2018						Média
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	
	mg L^{-1}												
N-NO ₂ ⁻	P	0,05	n.d	0,07	n.d	n.d	0,03	n.d	n.d	n.d	n.d	0,02	0,04
	PI SE	0,05	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,02	n.d	0,04
	PI CE	0,06	n.d	n.d	0,06	n.d	0,03	0,02	0,02	n.d	0,02	n.d	0,04
	ET SE	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	ET CE	n.d	0,06	0,06	n.d	n.d	0,06						
N-NO ₃ ⁻	P	0,16	0,21	0,13	0,07	0,04	n.d	0,06	0,10	0,02	0,20	0,18	0,12
	PI SE	0,53	0,45	0,11	0,16	0,16	0,03	0,04	0,03	0,02	0,19	0,04	0,16
	PI CE	0,47	0,21	0,16	0,17	0,14	0,05	0,04	0,04	n.d	0,40	0,04	0,17
	ET SE	n.d	0,81	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,16	0,24	0,04	0,15
	ET CE	n.d	0,96	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,02	n.d	0,72	0,19	0,24
P-PO ₄ ³⁻	P	n.d	0,14	0,07	0,08	n.d	n.d	0,05	0,03	0,07	0,02	0,01	0,06
	PI SE	n.d	n.d	n.d	0,08	n.d	0,01	n.d	n.d	0,11	n.d	n.d	0,07
	PI CE	n.d	n.d	0,05	n.d	n.d	0,05						
	ET SE	n.d	n.d	n.d	0,10	n.d	n.d	n.d	n.d	0,08	0,04	0,10	0,08
	ET CE	n.d	n.d	0,08	n.d	0,02	0,05						
SO ₄ ²⁻	P	0,21	0,25	0,11	0,12	0,10	0,05	0,08	0,11	0,08	0,23	0,24	0,15
	PI SE	0,24	0,22	0,11	0,14	0,13	0,07	0,11	0,10	0,10	0,26	0,20	0,15
	PI CE	0,24	0,11	0,12	0,15	0,13	0,06	0,11	0,10	0,09	0,29	0,19	0,14
	ET SE	n.d	0,11	0,08	0,10	0,09	0,05	0,07	0,05	0,10	0,13	0,05	0,08
	ET CE	n.d	0,08	0,09	0,10	0,09	0,04	0,06	0,07	n.d	0,14	0,07	0,08
Na ⁺	P	0,14	3,66	0,62	0,45	0,32	0,46	0,44	0,86	1,06	0,24	0,29	0,78
	PI SE	1,03	1,67	0,84	0,32	0,52	0,61	0,46	0,85	0,91	0,88	0,45	0,78
	PI CE	1,22	0,70	0,90	0,24	0,24	0,25	0,67	0,69	0,68	1,66	0,98	0,75
	ET SE	n.d	2,65	0,75	1,15	1,53	1,04	1,04	1,01	1,57	1,57	4,57	1,69
	ET CE	n.d	4,88	1,11	1,62	1,94	1,09	1,21	0,80	n.d	1,46	2,40	1,83
N-NH ₄ ⁺	P	0,05	0,27	0,06	n.d	n.d	n.d	n.d	0,08	n.d	0,04	0,28	0,13
	PI SE	0,15	0,33	0,11	0,06	n.d	0,25	n.d	0,09	0,23	n.d	0,04	0,16
	PI CE	0,21	0,07	0,14	0,08	0,09	n.d	0,07	0,08	n.d	0,05	0,05	0,09
	ET SE	n.d	0,63	0,06	0,12	n.d	0,09	0,34	0,14	0,92	0,07	0,09	0,27
	ET CE	n.d	0,60	0,05	0,11	n.d	0,19	0,31	0,05	n.d	0,03	0,15	0,19
K ⁺	P	0,35	4,49	0,56	1,11	0,89	0,41	1,26	0,98	1,01	1,22	0,46	1,16
	PI SE	2,38	3,45	1,46	1,43	1,54	1,13	1,69	3,01	4,02	4,79	2,69	2,51
	PI CE	2,76	2,61	1,35	1,48	1,43	0,88	2,30	3,14	2,99	6,53	4,38	2,71
	ET SE	n.d	11,07	1,73	2,61	4,70	4,08	4,67	4,73	3,78	9,97	6,82	5,42
	ET CE	n.d	17,10	2,02	2,52	3,86	3,45	4,86	3,45	n.d	9,33	9,83	6,27
Mg ²⁺	P	0,09	0,67	0,08	0,17	0,19	0,15	0,39	0,45	0,36	0,55	0,17	0,30
	PI SE	0,41	0,65	0,19	0,16	0,20	0,13	0,16	0,33	0,34	0,66	0,28	0,32
	PI CE	0,48	0,32	0,16	0,14	0,16	0,12	0,26	0,42	0,35	1,21	0,36	0,36
	ET SE	n.d	2,04	0,14	0,35	0,90	0,95	1,18	0,96	0,51	3,41	1,86	1,23
	ET CE	n.d	2,93	0,32	0,29	0,89	0,83	1,15	0,43	n.d	3,76	2,41	1,45
Ca ²⁺	P	0,36	1,07	0,16	0,56	1,17	1,07	3,01	3,18	2,25	10,72	3,31	2,44
	PI SE	1,25	1,40	0,25	0,43	0,64	0,54	0,89	1,56	1,24	1,89	0,76	0,99
	PI CE	1,23	0,73	0,29	0,38	0,48	0,37	0,74	0,88	0,75	2,06	0,74	0,79
	ET SE	n.d	1,81	0,41	0,86	1,61	1,50	1,87	1,74	1,34	3,23	2,56	1,69
	ET CE	n.d	2,84	0,56	0,99	1,62	1,20	1,42	0,86	n.d	3,06	2,37	1,66

Onde: P: Precipitação pluviométrica; PI SE: Precipitação interna no tratamento sem exclusão; PI CE: Precipitação interna no tratamento com exclusão parcial; ET SE: Escoamento pelo tronco no tratamento sem exclusão; ET CE: Escoamento pelo tronco no tratamento com exclusão; (n.d): não detectado, abaixo do nível mínimo de detecção. Fonte: Autor (2019).

A ordem dos teores dos íons na precipitação pluviométrica foi de: $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{SO}_4^{2-} > \text{N-NH}_4^+ > \text{N-NO}_3^- > \text{P-PO}_4^{3-} > \text{N-NO}_2^-$. Na precipitação interna para o tratamento SE foi de: $\text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{N-NO}_3^- > \text{N-NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{P-PO}_4^{3-} > \text{N-NO}_2^-$. Na precipitação interna para o tratamento CE a ordem foi análoga ao SE, com exceção do N-NH_4^+ que apresentou maior teor que SO_4^{2-} ($\text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{N-NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{N-NH}_4^+ > \text{P-PO}_4^{3-} > \text{N-NO}_2^-$).

Para o escoamento pelo tronco a concentração dos íons foi de $\text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{N-NH}_4^+ > \text{N-NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{P-PO}_4^{3-} > \text{N-NO}_2^-$ para os dois tratamentos, exceto os últimos elementos do tratamento com exclusão parcial da precipitação interna que apresentou a seguinte sequência: $\text{N-NO}_3^- > \text{N-NH}_4^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{N-NO}_2^- > \text{P-PO}_4^{3-}$.

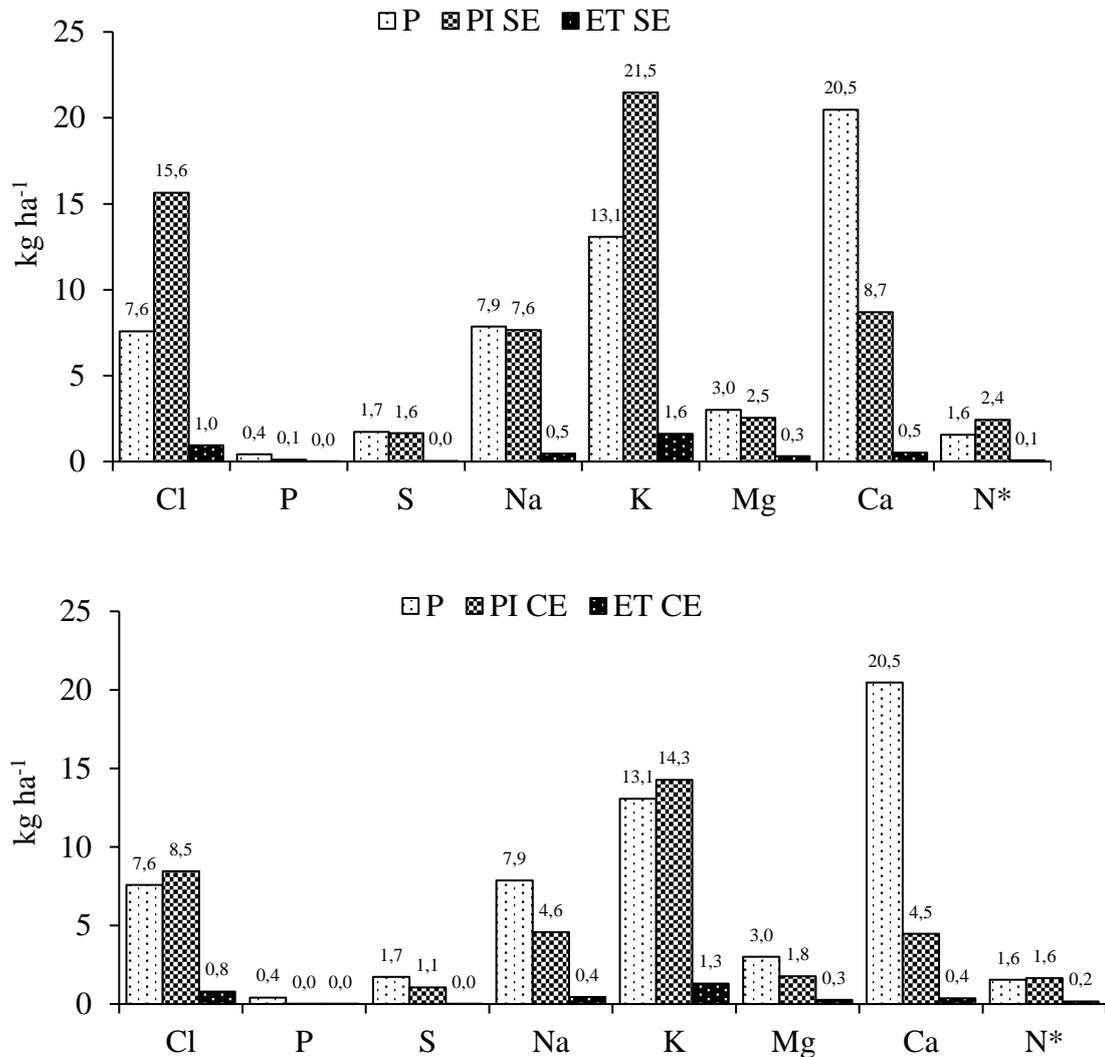
Balieiro et al. (2007) avaliando um povoamento de *Eucalyptus* em Seropédica, RJ encontraram as concentrações (mg L^{-1}) de 0,82; 0,20; 3,52; 0,62; 0,39 e 1,44 para N-NH_4^+ , P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ , respectivamente. Para a precipitação interna as concentrações de 1,38; 0,33; 14,83; 0,94; 0,96 e 3,78 mg L^{-1} , para N-NH_4^+ , P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ , respectivamente. No escoamento pelo tronco as concentrações foram as seguintes: 2,28; 0,40; 14,17; 0,75; 1,42 e 2,73 para N-NH_4^+ , P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ , respectivamente.

Laclau et al. (2003) avaliando um povoamento de *Eucalyptus* sp. no Congo encontraram concentrações superiores do presente estudo para precipitação pluviométrica foi de 8,6; 12,3; 0,5; 4,6; 52,8; 6,4; 18,3; 19,5 e 81,4 ($\mu\text{molc L}^{-1}$) para N-NH_4^+ , N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- , respectivamente. Para a precipitação interna 9,8; 8,6; 2,2; 12,9; 52,2; 21,1; 45,7; 24,1 e 112,2 para N-NH_4^+ , N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- , respectivamente. Para o escoamento pelo tronco 9,7; 2,1; 14,0; 48,2; 110,6; 136,4; 446,1; 64,1; 511,4 para N-NH_4^+ , N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} e Cl^- , respectivamente.

4.1.2 Fluxo de nutrientes

Na Figura 8 é apresentado a quantidade anual de nutrientes aportada no povoamento pela precipitação interna e escoamento pelo tronco. A precipitação pluviométrica teve um total de 55,69 kg ha^{-1} . Para a precipitação interna o aporte foi de 60,20 kg ha^{-1} e 36,27 kg ha^{-1} para PI SE e PI CE, respectivamente. A redução expressiva da quantidade de nutrientes no tratamento CE, refere-se ao fato, de que esses nutrientes estão sendo conduzidos para fora do povoamento devido ao sistema de exclusão da água da precipitação pluviométrica interna. Para o escoamento pelo tronco o aporte foi maior onde 3,96 kg ha^{-1} no ET SE e 3,36 kg ha^{-1} no ET CE.

Figura 8 - Quantidade anual de nutrientes (kg ha^{-1}) incorporado ao sistema pela precipitação pluviométrica (P), pela Precipitação interna (Pi) e pelo escoamento pelo tronco (Et) em um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR



*N total = $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$

Fonte: Autor (2019).

O fluxo de nutrientes, na precipitação pluviométrica teve a seguinte ordem de distribuição: $\text{Ca} > \text{K} > \text{Na} > \text{Cl} > \text{Mg} > \text{S} > \text{N} > \text{P}$. Na Precipitação interna do tratamento sem exclusão a ordem foi a seguinte $\text{K} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{N} > \text{S} > \text{P}$. Na ET SE $\text{K} > \text{Cl} > \text{Ca} > \text{Na} > \text{Mg} > \text{N} > \text{S} > \text{P}$. Na PICE apresentou a seguinte ordem: $\text{K} > \text{Cl} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{N} > \text{S} > \text{P}$. Para ETCE $\text{K} > \text{Cl} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{N} > \text{S} > \text{P}$.

Para o tratamento SE a quantidade de nutrientes aportada (kg ha^{-1}) via precipitação líquida foi de 16,6 para Cl, 0,1 para P, 1,7 para S, 8,1 para Na, 23,1 para K, 2,9 para Mg, 9,2 para Ca e 2,5 para N. Já para o tratamento CE parcial da precipitação interna houve um aporte (kg ha^{-1}) de 9,3 para Cl, 0,02 para P, 1,1 para S, 5,0 para Na, 15,6 para K, 2,0 para Mg, 4,8 para Ca, 1,8 para N. Balieiro et al. (2007) em um povoamento de *Eucalyptus* encontraram um aporte (kg ha^{-1}) via precipitação líquida de 12,07 de N-NH_4^+ ; 2,65 de P; 86,00 K^+ ; 12,25 Ca^{2+} ; 9,24 Mg^{2+} ; 29,81 Na^+ .

O aumento na quantidade de nutrientes após interação com o dossel é verificado mais expressivamente para o K, podendo ser atribuído aos elevados teores devido a lixiviação da copa das árvores. Contudo, alguns íons não apresentam o mesmo comportamento como é o caso do SO_4^{2-} , já que entrada via precipitação pluviométrica foi de $1,7 \text{ kg ha}^{-1}$ e de $1,6 \text{ kg ha}^{-1}$ via PI SE. Segundo Gay e Murphy (1985), aproximadamente 30 a 70% da deposição de SO_4^{2-} pode ficar retida na copa das árvores. Conforme a Tabela 6, em outros estudos com a quantidade de nutrientes aportados, pode-se verificar que o incremento em K na precipitação interna também ocorreu em outros povoamentos com *Eucalyptus*.

Tabela 6 - Relação da quantidade de nutrientes (kg ha^{-1}) na precipitação pluviométrica (P) e na precipitação interna (Pi) com outros estudos

Espécie	Local	P/ Pi	Cl	N	P	S	Na	K	Mg	Ca	Autor
<i>E. urophylla</i> x <i>E. sp</i>	Telêmaco	P	7,6	1,6	0,4	1,7	7,9	13,1	3,0	20,5	1
	Borba, Brasil (1)	Pi	15,6	2,4	0,1	1,6	7,6	21,5	2,5	8,7	
<i>E. urophylla</i> x <i>E. sp</i>	Telêmaco	P	7,6	1,6	0,4	1,7	7,9	13,1	3,0	20,5	1
	Borba, Brasil (2)	Pi	8,5	1,6	0,02	1,1	4,6	14,3	1,8	4,5	
<i>E. dunnii</i>	Alegrete, Brasil	P	4,8	8,1	0	6,2	-	2,1	5,4	1,4	2
		Pi	20,0	9,7	0,1	8,3	-	15,0	10,8	3,9	
<i>E. globulus</i>	Munesa, Etiópia	P	-	0,80	0,18	1,81	-	0,8	0,08	1,77	3
		Pi	-	0,61	0,04	1,40	-	0,91	1,22	4,36	
<i>E. dunnii</i>	Alegrete, Brasil	P	3,2	1,04	0,13	6,5	-	2,5	1,3	5,6	4
		Pi	6,5	0,96	0,25	4,1	-	6,49	1,9	4,2	
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	Kondi, Congo	P	27,8	5,4	-	-	17,5	6,2	3,1	7,3	5
		Pi	24,3	3,3	-	-	15,5	5,8	3,0	9,1	
<i>E. grandis</i>	Itatinga, Brasil	P	14,0	4,1	-	-	4,8	3,6	1,5	9,3	5
		Pi	12,5	3,6	-	-	4,1	7,0	2,0	6,2	

1 – O autor (1) Tratamento sem exclusão; (2) Tratamento com exclusão da Pi; 2 – Momolli (2018); 3 – Ashagrie; Zech (2010); 4 – Silva (2014); 5 – Laclau et al. (2010).

Fonte: Autor (2019).

Corrêa (2011) avaliando um povoamento de *E. dunnii* com 16,5 meses de idade constatou que devido a concentração de íons houve maior aporte de elementos após a interação

da precipitação pluviométrica com o dossel floresta. Dick (2018) avaliando a entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica em um povoamento de *E. dunnii* observou-se que houve expressivo aumento de nutrientes na solução aquosa, cuja sequência de aporte foi $K > S > Ca > N > Mg$. Para a autora, estas entradas poderiam reduzir a adição de 22% e 11% das quantidades de K e N, respectivamente, aplicadas na fertilização de pré-plantio.

Valente et al. (2016), avaliando a entrada de nutrientes pela precipitação externa e interna em povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus* em Eldorado do Sul, RS observaram que a quantificação de nutrientes que retornou ao plantio via precipitação interna correspondeu a 5,3; 6,8; 7,7; 16,7; 28,7; 44,4 e 48,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente para os nutrientes Mg, S, N, Ca, K, Na e Cl. Já na precipitação externa, os valores observados corresponderam a 6,4; 11,8; 11,3; 31,8; 15,4; 43,7 e 49,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ para os nutrientes Mg, S, N, Ca, K, Na e Cl, respectivamente.

As maiores quantidades de nutrientes observados em *E. dunnii* por Dick et al. (2018), foram Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ e K⁺. Conforme os autores, o enriquecimento da água da precipitação pluviométrica após a passagem do dossel também permitiu nesse estudo uma maior entrada de nutrientes no povoamento, evidenciando a importância do ciclo geoquímico na dinâmica nutricional de povoamentos florestais.

Possivelmente, o maior aporte de determinados nutrientes, quando comparado a estudos da literatura, está relacionado com a existência de duas fábricas de celulose e papel próximo da área experimental, a primeira a aproximadamente 12 km de distância em linha reta localizada no município de Telêmaco Borba, PR e a segunda, a aproximadamente 21 km de distância localizada no município de Ortigueira, PR. Calil (2008) avaliando a entrada de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus* spp., concluiu que a emissão de poluentes por meio da queima de carvão mineral na usina termoeletrica de Candiota, RS, próximo ao povoamento, pode contribuir para a entrada de alguns elementos, principalmente de enxofre.

4.2 SERAPILHEIRA

4.2.1 Serapilheira produzida

A produção total de serapilheira e de suas diferentes frações formadoras apresentaram variação ao longo dos meses (Tabela 7). Conforme os resultados obtidos, a maior produção de serapilheira foi observada em março de 2018, com 1.307,29 kg ha⁻¹ para o tratamento com

exclusão parcial da precipitação interna e 1.415,60 kg ha⁻¹ para o tratamento sem exclusão. Em contrapartida, a menor produção de serapilheira ocorreu em junho de 2018, com 158,68 e 188,33 kg ha⁻¹, para os tratamentos CE e SE, respectivamente.

Tabela 7 - Serapilheira produzida em povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, no período de julho de 2017 a junho de 2018

Ano	Meses	Com Exclusão				Sem exclusão			
		Folhas	Galhos	Miscelânea (kg ha ⁻¹)	Total	Folhas	Galhos	Miscelânea (kg ha ⁻¹)	Total
2017	Julho	104,00	127,13	100,50	332,43	238,55	170,13	76,74	485,42
	Agosto	482,75	153,66	43,07	679,48	518,45	106,58	78,54	703,58
	Setembro	926,56	94,70	41,67	1.062,93	1092,56	156,09	29,02	1277,67
	Outubro	140,27	219,88	83,48	443,63	179,72	233,47	43,90	457,09
	Novembro	142,37	114,43	65,75	322,55	233,78	136,32	120,45	490,56
	Dezembro	368,02	128,48	31,61	528,11	386,63	194,97	35,26	616,86
2018	Janeiro	468,08	41,55	32,27	541,90	494,70	66,51	32,34	593,55
	Fevereiro	492,66	96,37	36,40	625,44	566,67	92,79	24,52	683,98
	Março	899,12	290,58	117,59	1.307,29	1019,44	215,55	180,61	1.415,60
	Abril	454,55	193,50	72,80	720,85	637,36	256,36	127,64	1.021,37
	Mai	253,86	1,91	12,35	268,12	208,82	4,96	20,96	234,74
	Junho	147,70	0,00	10,98	158,68	183,09	0,00	5,24	188,33
Total		4.879,93	1.462,98	648,48	6.991,40	5.759,78	1.880,92	775,23	8.168,73

Fonte: Autor (2019).

A deposição total de serapilheira ao longo do período de estudo foi de 6.991,40 kg ha⁻¹ no tratamento CE da precipitação interna e maior no tratamento SE da precipitação interna apresentando 8.168,73 kg ha⁻¹ (Tabela 8). Já a relação da ordem de deposição das frações formadoras da serapilheira produzida para ambos os tratamentos foi: folhas > galhos finos > miscelânea.

Analisando a composição da serapilheira observou-se que as folhas apresentaram maiores quantidades quando comparado as demais frações, compreendendo 69,8% (4.879,33 kg ha⁻¹) da serapilheira produzida no tratamento CE da precipitação interna e 70,5% para o tratamento SE (5.759,78 kg ha⁻¹). Os menores valores foram encontrados para a fração miscelânea com 9,3% (648,48 kg ha⁻¹) e 9,5% (775,23 kg ha⁻¹) para os tratamentos CE e SE da precipitação interna. A fração galhos apresentou valores intermediários com 20,9% (1.462,98 kg ha⁻¹) e 20,0% (1.633,72 kg ha⁻¹) para os tratamentos CE e SE da precipitação interna.

Tabela 8 - Serapilheira produzida em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* localizado no município de Telêmaco Borba, PR

Fração	Com exclusão		Sem exclusão	
	Biomassa (kg ha ⁻¹)	%	Biomassa (kg ha ⁻¹)	%
Folhas	4.879,93A* (±279,02)**	69,8	5.759,78A (±313,29)	70,5
Galhos finos	1.462,98A (±80,75)	20,9	1.633,72A (±76,40)	20,0
Miscelânea	648,48A (±33,98)	9,3	775,23A (±53,53)	9,5
Total	6.991,40 A	100	8.168,73 A	100

(*) Valores seguidos de mesma letras na linha não diferem entre si pelo teste T Student ($p < 0,05$). (**) Valores entre parênteses e em itálico, representam o desvio padrão.

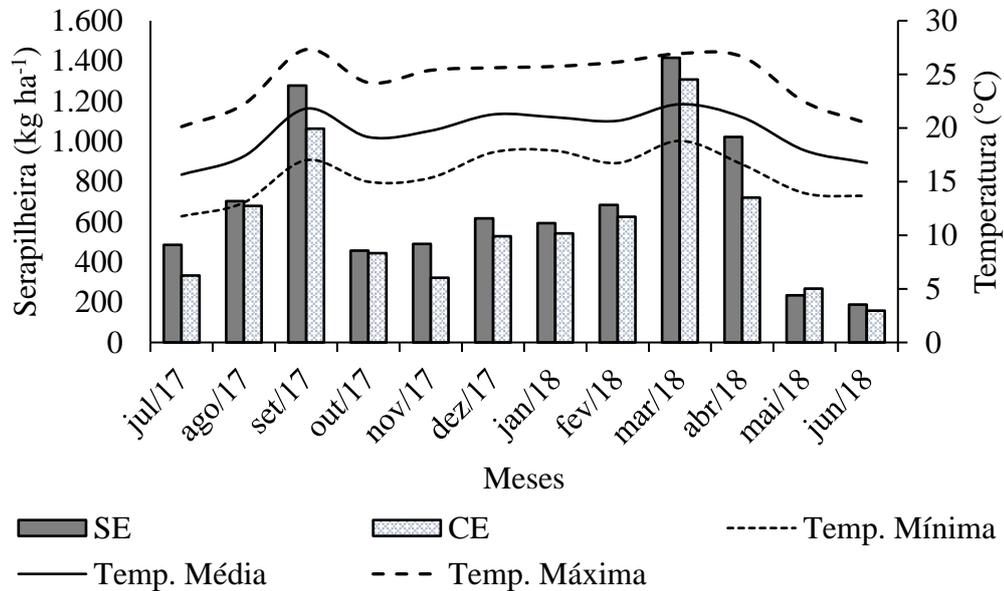
Fonte: Autor (2019).

Para exemplificar, Ludvichak et al. (2016), avaliando a produção de serapilheira em um povoamento de *E. dunnii*, aos 60 meses de idade, no bioma Pampa, encontraram 6,99 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo que deste valor 61,57% era constituído por folhas, 17,34 % por galhos finos, 13,83% por galhos grossos e 7,26% por miscelânea. No entanto, Zaia e Gama-Rodrigues, (2004) estudando a ciclagem e balanço de nutrientes em um povoamento de *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita* aos seis anos na região Norte Fluminense encontraram uma deposição de 4,78, 4,53 e 4,99 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Balieiro et al. (2004), em um povoamento de *E. grandis* com sete anos de idade, em Seropédica, RJ, encontraram valores de 11,84 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, ao avaliar a serapilheira produzida.

Em relação à composição da serapilheira, confirmando com os resultados obtidos neste estudo, Momolli et al. (2015) concluíram que a serapilheira produzida em povoamento de *E. dunnii* no bioma Pampa é, em sua maioria, composta por folhas (78,6% para esta fração). Resultados semelhantes aos encontrados neste experimento foram verificados por Viera et al. (2014) quando avaliaram a composição da serapilheira e obtiveram valores de 61,0 a 71,6% de folhas. Os autores, observaram também que a menor fração (8,5 a 12,3%) foi composta por miscelânea.

Os meses avaliados com maiores temperaturas coincidiram com os meses em que houve uma maior produção de serapilheira. No presente estudo foi possível observar que o mês de março apresentou em ambos os tratamentos a maior produção de serapilheira: 1.332,7 kg ha⁻¹ para o tratamento CE parcial da precipitação interna e 1.390,19 kg ha⁻¹ para o tratamento SE (Figura 9).

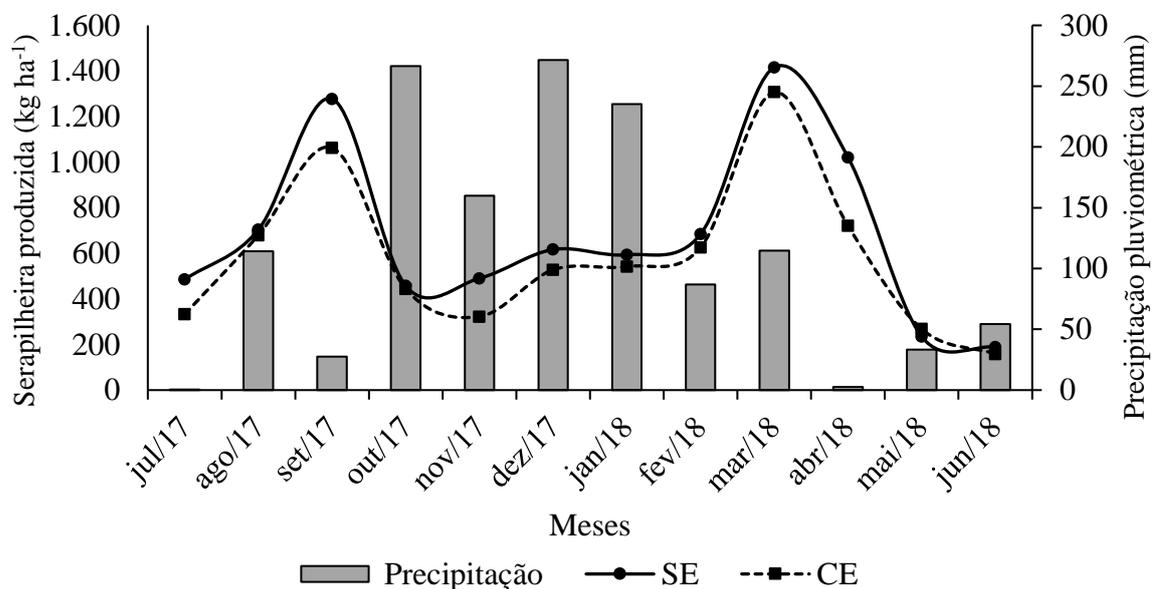
Figura 9 - Produção total de serapilheira para os tratamentos com exclusão parcial da precipitação interna (CE) e sem exclusão da precipitação interna (SE) em função de diferentes níveis de temperatura do ar (°C) (mínima, média e máxima)



Fonte: Autor (2019).

Em ambos os tratamentos avaliados, com a diminuição da precipitação pluviométrica houve um aumento da produção de serapilheira, como observado para o mês de setembro de 2017 (Figura 10). Isto porque para muitas florestas o estresse hídrico causa queda sazonal de material, constituindo uma estratégia das árvores (MARTINS; RODRIGUES, 1999). Segundo Viera e Schumacher (2010), o aumento da temperatura do ar aliado a baixas precipitações, pode elevar a produção de serapilheira como estratégia de sobrevivência das plantas, evitando, assim, a perda de água devido a maior intensidade transpiratória causada pelo calor.

Figura 10 - Produção total de serapilheira para os tratamentos com exclusão parcial da precipitação interna (CE) e sem exclusão da precipitação interna (SE) em função da precipitação pluviométrica (mm) mensal no período do estudo em Telêmaco Borba, PR

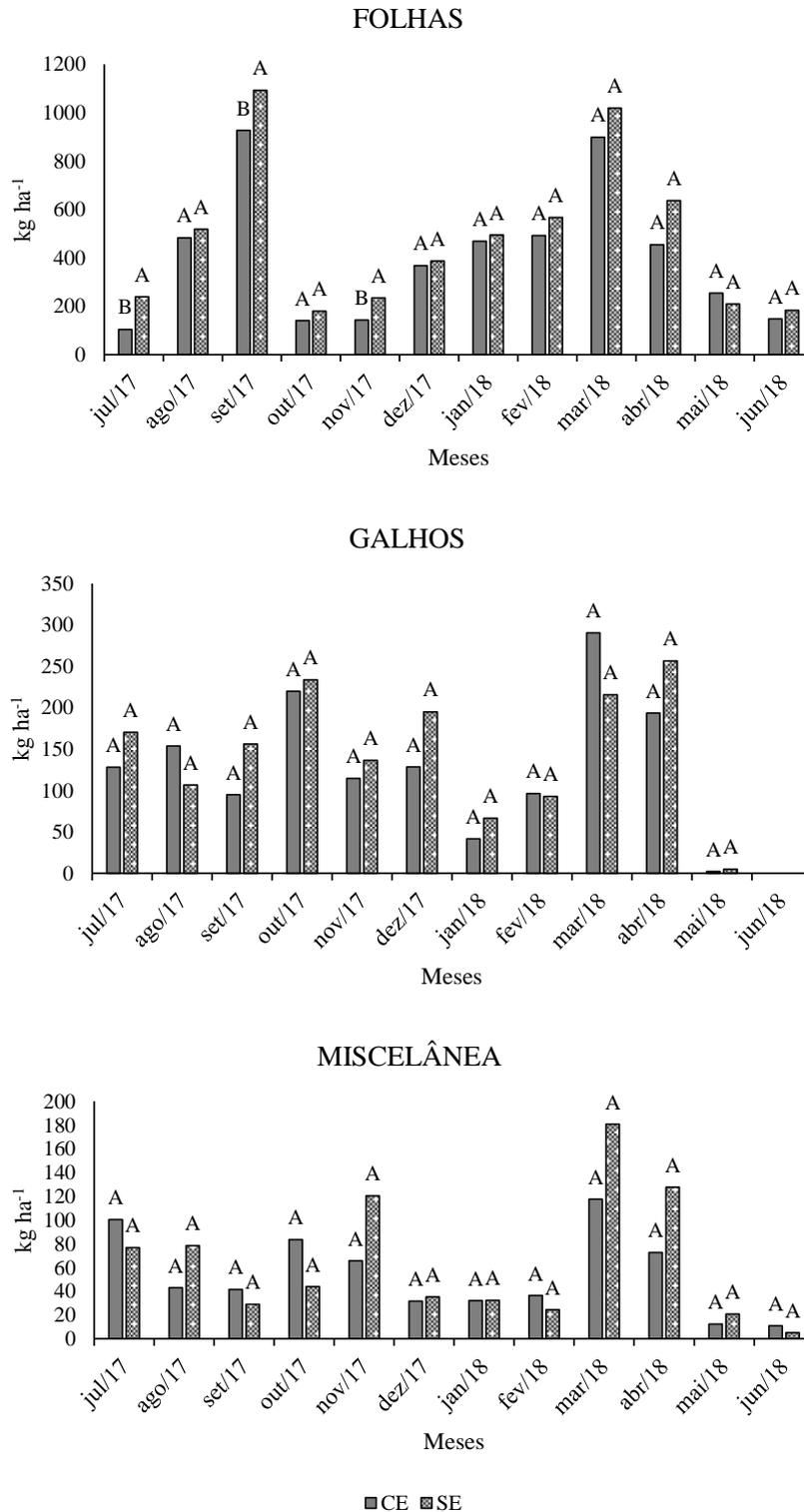


Fonte: Autor (2019).

Viera et al. (2014), avaliando a deposição de serapilheira e nutrientes em um povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus* em Eldorado do Sul - RS, encontraram 6.870,50 kg ha⁻¹ aos seis anos e 8.500,30 kg ha⁻¹ aos nove anos de idade do povoamento, respectivamente. Durante o período de estudo, a deposição de galhos finos, miscelânea e galhos grossos ocorreu ao longo de todo o ano, ao passo que para a deposição de folhas houve maior produção em novembro e maio. Tais diferenças na distribuição de serapilheira podem estar relacionadas ao estado fisiológico em que a planta se encontra, seja pelo período de repouso vegetativo ou em resposta ao estresse, que é submetida em virtude das variações climáticas (TURCHETTO; FORTES, 2014).

Na análise da distribuição temporal das folhas durante um ano de amostragem, observou-se diferença significativa ($p < 0,05$) para os meses de julho, setembro e novembro do ano de 2017 (Figura 11). Nos meses de setembro de 2017 e março de 2018 houve os maiores picos de deposição. De acordo com Turchetto e Fortes (2014) a folha é responsável pelas trocas gasosas da planta com o ambiente, em situações de estresse uma estratégia desenvolvida para suportar esse fenômeno é a redução da área foliar.

Figura 11 - Influência da sazonalidade sobre as frações folhas, galhos e miscelânea na serapilheira produzida de um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E.* sp. estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR



(*) Letras iguais não diferem entre si pelo teste T Student ($p < 0,05$).

Fonte: Autor (2019).

Basílio et al. (2018) avaliando a deposição de folhede em função do crescimento de *Eucalyptus* sp., sob diferentes condições climáticas, em três sítios experimentais do TECHS em Bocaiuva-MG, Mogi Guaçu-SP e Telêmaco Borba-PR e em quatro anos de avaliação (2014 à 2017) encontraram uma biomassa foliar de 17,0 Mg ha⁻¹, 23,3 Mg ha⁻¹ e 26,5 Mg ha⁻¹, respectivamente. Ressalta-se que o sítio de Telêmaco Borba apresentou a maior deposição de folhas em decorrência das condições ambientais favoráveis. De acordo com os autores neste sítio houve um comportamento de priorização da energia para a deposição de folhas até o fechamento do dossel (máximo índice de área foliar), e após houve uma estabilização de deposição não oscilando os valores ao longo do ano. Conforme os dados deste estudo, houve uma maior deposição de folhas nos meses em que se registrou menor precipitação pluviométrica.

De acordo com Dias et al. (2002), o estresse hídrico desencadeia uma série de eventos fisiológicos na planta, acarretando, no final, a abscisão das folhas. Em virtude disso, para evitar a perda de água por transpiração, a fração folha com maior contribuição na produção de serapilheira é considerada uma estratégia das plantas (HOLANDA et al., 2017).

Os coeficientes de correlação de Pearson entre as frações da serapilheira e as variáveis climáticas constam na Tabela 9. No tratamento CE, a fração folha apresentou correlação positiva com a temperatura mínima, média e máxima do ar. No entanto, no tratamento SE, esta fração correlacionou-se apenas com a temperatura média e máxima do ar. Barlow et al. (2007), avaliando um povoamento de *E. urophylla* no Nordeste da Amazônia Brasileira aos 4 e 5 anos de idade, encontraram uma correlação positiva e significativa ($r = 0,55$; $p \leq 0,05$) entre a produção de folhas e a precipitação mensal.

Vale ressaltar que foi utilizado para análise de correlação, valores referentes a rajada de vento máxima ($m s^{-1}$), a qual hipoteticamente poderia explicar a maior produção de serapilheira, porém não foi observada nenhuma correlação positiva.

Tabela 9 - Correlação de Pearson, entre as frações da serapilheira produzida e as variáveis meteorológicas, para os tratamentos com (CE) e sem exclusão (SE) parcial da precipitação interna em um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, localizado no município de Telêmaco Borba, PR

Variáveis	(Continua)					
	Folhas		Galhos		Miscelânea	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Temperatura mínima do ar (°C)	0,665*	0,601 ^{ns}	0,274 ^{ns}	0,293 ^{ns}	-0,192 ^{ns}	0,206 ^{ns}
Temperatura média do ar (°C)	0,712**	0,664*	0,276 ^{ns}	0,313 ^{ns}	-0,185 ^{ns}	0,226 ^{ns}
Temperatura máxima do ar (°C)	0,865*	0,660*	0,261 ^{ns}	0,292 ^{ns}	-0,142 ^{ns}	0,258 ^{ns}

Tabela 9 - Correlação de Pearson, entre as frações da serapilheira produzida e as variáveis meteorológicas, para os tratamentos com (CE) e sem exclusão (SE) parcial da precipitação interna em um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, localizado no município de Telêmaco Borba, PR

Variáveis	(Conclusão)					
	Folhas		Galhos		Miscelânea	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Umidade relativa do ar (%)	-0,231 ^{ns}	-0,285 ^{ns}	0,224 ^{ns}	0,134 ^{ns}	-0,026 ^{ns}	0,102 ^{ns}
Precipitação pluviométrica (mm)	-0,137 ^{ns}	-0,296 ^{ns}	0,097 ^{ns}	0,426 ^{ns}	-0,127 ^{ns}	-0,253 ^{ns}
Velocidade média do vento (m s ⁻¹)	-0,12 ^{ns}	-0,178 ^{ns}	0,286 ^{ns}	0,079 ^{ns}	0,478 ^{ns}	-0,197 ^{ns}
Rajada de vento máxima (m s ⁻¹)	-0,189 ^{ns}	-0,322 ^{ns}	0,230 ^{ns}	0,111 ^{ns}	0,327 ^{ns}	-0,140 ^{ns}
Radiação solar (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	0,352 ^{ns}	0,266 ^{ns}	0,024 ^{ns}	0,424 ^{ns}	-0,053 ^{ns}	0,051 ^{ns}

Significância: *($p \leq 0,05$); **($p \leq 0,01$); ^{ns}: não significativo.

Fonte: Autor (2019).

Basílio et al. (2018), correlacionando as variáveis ambientais com a deposição de folhas de três sítios experimentais do TECHS, em quatro anos, observaram que para o sítio de Bocaiuva, MG e Mogi Guaçu, SP as maiores deposições foram associadas a maior umidade relativa, radiação solar e déficit hídrico.

Ainda de acordo com Basílio et al. (2018), a inconstância dos fatores climáticos pode apresentar maior ou menor grau de influência sobre a deposição de folhas em detrimento do ano de estudo, onde este fato tende a ser maximizado ou não em função das condições climáticas de cada região. Por outro lado, Schumacher et al. (2013) mencionam que, embora se verifique a presença de sazonalidade na deposição de serapilheira, tendo como principais argumentos a influência da precipitação pluviométrica e da temperatura do ar, nem sempre existe correlação significativa entre a produção de serapilheira e variáveis climáticas.

4.2.2 Serapilheira acumulada

Em junho de 2017, as quantidades de serapilheira acumulada sobre o solo foram de 8.566,56 e 7.554,88 kg ha⁻¹ para os tratamentos CE e SE da precipitação interna, respectivamente, sendo que o primeiro tratamento apresentou uma produção de biomassa de serapilheira acumulada de 13,4% superior ao segundo (Tabela 10).

Tabela 10 - Quantidade de serapilheira acumulada no tratamento com e sem exclusão parcial da precipitação interna em junho de 2017 e maio de 2018 em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, estabelecido em Telêmaco Borba, PR

Frações	Junho de 2017				Maio de 2018			
	Com Exclusão		Sem Exclusão		Com Exclusão		Sem Exclusão	
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
Folhas	4.766,35A*	55,6	3.783,84B	50,1	5.054,83A	31,03	5.296,37A	29,29
	(±853,44)**		(±937,98)		(±1.432,19)		(±1238,89)	
Galhos	3.031,89A	35,4	3.019,89A	40,0	8.034,67A	49,33	8.980,32A	49,67
	(±1.389,35)		(±1.356,24)		(±3.927,57)		(±4.084,50)	
Miscelânea	768,32A	9,0	751,15A	9,9	3.199,41B	19,64	3.804,91A	21,04
	(±314,15)		(±289,67)		(±1.242,24)		(±920,70)	
Total	8.566,56A	100	7.554,88A	100	16.288,91A	100	18.081,60A	100
	(±1.899,51)		(±1.609,56)		(±3.195,15)		(±3.316,14)	

(*) Valores seguidos de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste T Student ($p < 0,05$). (**) Valores entre parênteses e em itálico, representam o desvio padrão.

Fonte: Autor (2019).

No geral, o tratamento CE parcial da precipitação interna, apresentou menor quantidade de serapilheira acumulada quando comparada ao tratamento SE. Cabe destacar que a serapilheira acumulada sobre o solo em maio de 2018 foi de 16.288,91 e 18.081,60 kg ha⁻¹ para os tratamentos CE e SE parcial da precipitação interna, respectivamente.

Valores similares a este trabalho foram observados por Brun et al. (2013) em um povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus*, onde o acúmulo de serapilheira foi de 19,5 Mg ha⁻¹ aos 5,5 anos de idade no Rio Grande do Sul. Kleinpaul et al. (2005) avaliando um povoamento de *Eucalyptus* sp. com 12 anos de idade, em Santa Maria, encontraram uma biomassa de serapilheira acumulada de 11,6 Mg ha⁻¹. Viera et al. (2014), ao avaliar um povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus*, em Eldorado do Sul, RS, verificaram que a quantidade média de serapilheira acumulada sobre o solo foi de 14,0 Mg ha⁻¹.

Em uma Floresta Ombrófila Mista no Paraná, Caldeira et al. (2007) encontrou um acúmulo médio de serapilheira acumulada de 7,99 Mg ha⁻¹. Já Sperandio et al. (2012) ao avaliar a serapilheira acumulada em uma Área de Relevante Interesse Ecológico, em Alegre, ES, em três sítios experimentais obteve acúmulo de: 5,96 Mg ha⁻¹ para mata nativa, 5,22 Mg ha⁻¹ para restauração florestal com eucalipto e acácia e 5,67 Mg ha⁻¹ para restauração florestal com espécies diversas, sendo que a média geral foi de 5,61 Mg ha⁻¹.

Oliveira (2017), avaliando a serapilheira do híbrido *E. urophylla* x *E. sp.*, em área experimental do programa cooperativo TECHS, em três regiões edafoclimáticas de Minas Gerais aos 47 meses de idade, encontraram 12,6 Mg ha⁻¹; 9,5 Mg ha⁻¹ e 29,2 Mg ha⁻¹ para Belo Oriente, Coração de Jesus e Guanhães, respectivamente. A quantidade de serapilheira no sítio de Guanhães foi 65 e 97 % maior que nos sítios de Belo Oriente e Coração de Jesus. Neste

contexto, a quantidade de serapilheira varia em função do clone, local e da interação entre as variáveis, acumulando mais em ambientes com temperaturas amenas.

Para Momolli et al., (2019), a quantidade de serapilheira acumulada em povoamento de *Eucalyptus saligna* com 10 anos de idade em São Gabriel, RS foi de 13,1 Mg ha⁻¹, apresentando 48% de galhos, 25% de folhas, 18% de miscelânea e 9% de casca, similar a contribuição percentual do presente estudo. Já Barbosa et al. (2017) avaliando a serapilheira acumulada em um povoamento de *E. urophylla* com 5 anos de idade no sudoeste da Bahia encontraram 13,07 Mg ha⁻¹.

4.2.2.1 Decomposição da serapilheira

O coeficiente de decomposição para a serapilheira do híbrido *E. urophylla* x *E. sp.* no tratamento CE parcial da precipitação interna foi de $k = 0,43$ e $k = 0,45$ no tratamento SE da precipitação interna (Tabela 11). Provavelmente, o fato de haver uma redução da precipitação pluviométrica ocasionou a diminuição do valor de k nesse tratamento, diminuindo a concentração de umidade que favorece a decomposição.

Tabela 11 - Decomposição da serapilheira em um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR

Variáveis	Com exclusão	Sem exclusão
Serapilheira produzida (kg ha ⁻¹)	6.991,40	8.168,73
Serapilheira acumulada (kg ha ⁻¹)	16.288,91	18.081,60
K	0,43	0,45
1/K	2,33	2,21
t _{0,5}	1,61	1,53
t _{0,05}	6,99	6,64

Onde: SP: Serapilheira produzida; SA: Serapilheira acumulada; K: Coeficiente de decomposição; 1/K: Tempo médio para renovação; t_{0,5}: anos necessários para decomposição de 50% da serapilheira; t_{0,05}: anos necessários para decomposição de 95% da serapilheira.

Fonte: Autor (2019).

Com base no $k = 0,43$ do tratamento com exclusão parcial da precipitação interna, o tempo de decomposição para 50% e 95% da serapilheira foi de 1,61 e 6,99 anos, já para o tratamento sem exclusão com um valor de $k = 0,45$, o tempo de decomposição da serapilheira para 50 % e 95% foi de 1,53 e 6,64 anos, respectivamente. Nesse caso, a exclusão da precipitação pluviométrica irá retardar o processo de decomposição da serapilheira.

Outras espécies de eucalipto apresentaram diferentes valores de k , conforme relatado por: Viera et al. (2013) estudando *E. urophylla* x *E. globulus* ($k = 0,54$); Zaia e Gama-Rodrigues

(2004) avaliando *E. grandis* e *E. camaldulensis* ($k=1,0$ e $k=0,59$); Momolli et al. (2018), estudando um povoamento de *E. dunnii*, em Alegrete, RS ($k=0,37$); Lagemann et al. (2018) encontraram em um povoamento de *E. saligna* Smith em São Gabriel, RS ($k=0,60$); e Schumacher et al. (2013), avaliando a decomposição da serapilheira em um povoamento de *E. urophylla* x *E. globulus* maidenii dos 5,6 anos de idade a 7,5 anos em Eldorado do Sul, RS ($k=0,54$).

Momolli et al. (2018), encontraram um tempo estimado para a decomposição de 50% do material similar ao valor do presente estudo (1,51 anos), para ambos os tratamentos. Viera et al. (2013) constataram como tempo médio de residência da serapilheira de 1,86 ano, 1,29 ano (50%) e 5,59 anos (95%). Lagemann et al. (2018) encontraram tempo médio de residência de 1,65 anos e para 50% (1,15 anos) e 95% (4,96 anos). Schumacher et al. (2013) encontraram como tempo para decomposição 1,4 anos (50%) e 5,7 anos (95%), respectivamente. Em contrapartida, Ferreira et al. (2014), avaliando ecossistemas naturais observaram que 50% de decomposição da serapilheira foi alcançada em 248 dias e de 95% ocorreu em 2,93 anos.

Os efeitos causados pela restrição da precipitação interna sobre a decomposição da serapilheira em uma floresta perene natural no Oeste da China (precipitação média anual de 1700 mm) durante dois anos, puderam ser observados por Zhou et al. (2018), os quais constataram redução significativa da umidade do solo e consequentemente da decomposição da serapilheira, principalmente ao se reduzir em 20% e 50% a precipitação interna. Os autores afirmam ainda que o conhecimento sobre os efeitos da diminuição da precipitação na estrutura e no funcionamento de ecossistemas florestais, especialmente na decomposição da serapilheira, é crítico para prever como serviços ecológicos nessa região mudarão no futuro.

A serapilheira serve como fonte de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas em longo prazo, liberando os nutrientes de forma lenta, mas gradual, minimizando as perdas do sistema solo-planta-solo (MOMOLLI et al., 2018). A decomposição da serapilheira é um processo fundamental dos ciclos biogeoquímicos e desempenha um papel crítico na regulamentação da mineralização de carbono (C) e nutrientes em ecossistemas terrestres (ZHOU et al., 2018).

Segundo Ferreira et al. (2014), as taxas de decomposição se correlacionam com a precipitação pluviométrica no período do verão, associadas com a alta atividade dos organismos decompositores sob altas temperaturas, obtendo uma influência sazonal na decomposição. A qualidade inferior da serapilheira de eucalipto em comparação com ecossistemas naturais, influencia na composição da comunidade decompositora (SKORUPA et al., 2015) e no tempo de decomposição, tais informações podem ser utilizadas no manejo nutricional do povoamento,

como forma de predizer o fluxo de nutrientes no ecossistema, bem como na escolha de espécies conforme suas características (ZAIA; GAMA-RODRIGUES, 2004).

Turchetto e Fortes (2014), em estudo da decomposição da serapilheira em uma Floresta Estacional Decidual, localizada na região do Alto Uruguai, RS, afirmam que a rápida transformação da serapilheira ao longo do ano esteve relacionada a elevadas temperaturas, favorecendo a ação dos micro-organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica.

Com as baixas temperaturas e uma menor radiação solar no inverno, ocorre uma redução e ou estagnação da atividade microbiológica, conseqüentemente, ocorre uma menor ciclagem do material depositado em uma floresta ou povoamento. Portanto, no inverno, o acúmulo de serapilheira no solo torna-se maior que a decomposição, ocasionado uma maior quantidade de material encontrado (TURCHETTO; FORTES, 2014).

4.3 RAÍZES FINAS

4.3.1 Biomassa de raízes finas

Na camada de 0-10 cm, ambos os tratamentos apresentaram maior biomassa de raízes finas (≤ 2 mm). No tratamento CE parcial da precipitação interna, 56% da biomassa de raízes finas foram observadas nos primeiros 30 cm de solo. Já no tratamento SE, 66% da biomassa de raízes finas pode ser observada nessas primeiras camadas do solo (Tabela 12). Nesse contexto, a redução da disponibilidade hídrica possivelmente fez com que as raízes finais se alocassem em maior quantidade nas camadas mais profundas do solo na busca por água.

Cabe ressaltar que os maiores valores de biomassa de raízes finas foram encontrados na entrelinha, o que pode estar relacionado aos resíduos florestais remanescentes do ciclo anterior, os quais atuam como fornecedores de matéria orgânica e umidade para o solo.

Tabela 12 - Valores de biomassa de raízes finas em diferentes profundidades para os tratamentos com (CE) e sem (SE) exclusão da precipitação interna (CE) em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR

(Continua)

Profundidade (cm)	Biomassa (kg ha ⁻¹)							
	Com exclusão				Sem exclusão			
	L	EL	Total	%	L	EL	Total	%
0-10	328,94aA*	313,74aA	642,69	22	330,77aA	251,94aA	582,72	34

Tabela 12 - Valores de biomassa de raízes finas em diferentes profundidades para os tratamentos com (CE) e sem (SE) exclusão da precipitação interna (CE) em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR

(Conclusão)

Profundidade (cm)	Biomassa (kg ha ⁻¹)							
	Com exclusão				Sem exclusão			
	L	EL	Total	%	L	EL	Total	%
10-20	271,16aAB	271,55aA	542,70	19	183,32aAB	151,08aA	334,40	19
20-30	140,42bB	306,14aA	446,56	15	67,71aB	148,62aA	216,33	13
30-40	265,35aAB	311,38aA	576,70	20	58,14aB	205,52aA	263,66	15
40-50	156,43aB	224,25aA	380,68	13	40,75aB	152,67aA	193,42	11
50-60	152,70aB	188,53aA	341,23	12	73,06aB	62,47bA	135,53	08
Total	1314,97	1615,58	2930,55	100	753,75	972,30	1726,05	100

Onde: L – Linha de plantio e EL – Entrelinha de plantio. *Valores seguidos de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste t Student ($p < 0,05$). Valores seguidos de mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autor (2019).

Ferreira et al. (2018) avaliaram a relação da biomassa de raízes finas e sua arquitetura com doses de N em um povoamento com 2,95 anos de idade de *E. dunnii* no Sul no Brasil, coletando pontos em três direções diferentes até 40 cm de profundidade. Os mesmos verificaram que a biomassa de raízes finas diferiu entre as doses de N, onde até 60 kg ha⁻¹ de N respondeu positivamente em torno de 1.400 kg ha⁻¹, enquanto que 108 kg ha⁻¹ resultou na menor biomassa em torno de 1.000 kg ha⁻¹.

Fabião et al. (1995), avaliaram a biomassa de raízes de *E. globulus* em Portugal aos 1, 2 e 6 anos após o plantio, onde a fertilização e redução de água eram controladas e mostrou que a maior biomassa de raízes finas era encontrada quando a fertilização foi combinada com a redução de água. Ferreira et al. (2018) ressaltam que as respostas da biomassa de raízes finas à adubação nitrogenada são variadas e dependem das espécies arbóreas e as características ambientais e edáficas.

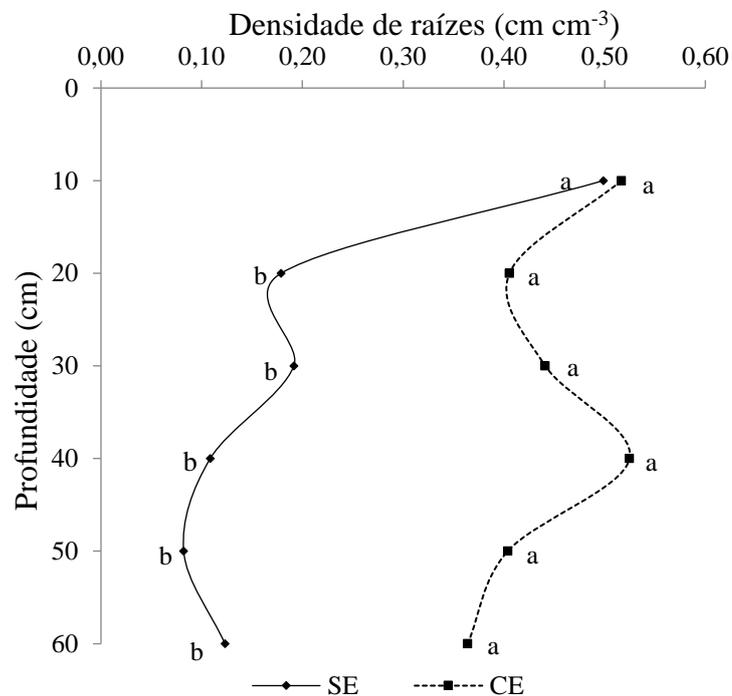
Segundo Taiz e Zeiger (2013), a maior quantidade de raízes nas camadas superficiais do solo ocorre em função das estratégias da planta, que buscam otimizar a absorção de nutrientes. No entanto, a restrição hídrica em plantas provoca o fechamento dos estômatos inibindo a fotossíntese e consequentemente diminuindo a produção de biomassa. Como estratégia à baixa disponibilidade hídrica, há uma redução da área foliar, de forma a diminuir a taxa de transpiração, além de provocar uma desproporcionalidade entre a biomassa acima e abaixo do solo, causando um aumento na extensão radicular, devido a menor demanda de fotoassimilados na parte aérea e permitindo o aumento de área de absorção de água (TAIZ; ZEIGER, 2013).

4.3.2 Densidade de raízes finas

A densidade média das seis profundidades foi de $0,40 \text{ cm cm}^{-3}$ e $0,20 \text{ cm cm}^{-3}$ no tratamento CE e SE, respectivamente. O tratamento CE apresentou valor de densidade de raízes finas 54,55% superior ao tratamento SE. Para o tratamento CE os maiores valores de densidade de raízes ($0,52 \text{ cm cm}^{-3}$) foram observados nas camadas de 0-10 e 30-40 cm. Valores de $0,36 \text{ cm cm}^{-3}$ para o tratamento CE e $0,12 \text{ cm cm}^{-3}$ para o tratamento SE apresentaram nas camadas de 50-60 cm os menores valores de densidade de raízes (Figura 12).

Ambos os tratamentos apresentaram valores próximos na camada do solo (0-10 cm). Para Gonçalves e Mello (2000) a maior densidade de raízes finas na primeira camada é comum em povoamentos florestais e isso se deve possivelmente ao fato de que essas raízes tendem a ocupar espaços do solo onde há maior aeração e fertilidade.

Figura 12 - Valores da densidade de raízes finas em diferentes profundidades para os tratamentos com (CE) e sem (SE) exclusão da precipitação interna em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR



*Letras iguais entre as linhas para a mesma profundidade, não diferem ao nível de significância ($p < 0,05$) por meio do Teste T Student.

Fonte: Autor (2019).

Resultados similares ao presente trabalho foram encontrados por Navorski et al. (2010), estudando *E. cloeziana* em Santa Maria, RS, em que a maior densidade de raízes foi observada nos primeiros 5 cm de profundidade do solo (1.130 g dm^{-3}), e o autor afirma que com o aumento da profundidade do solo, a densidade de raízes finas tende a diminuir. Cabe destacar que Kozłowski et al. (1991) consideram a densidade de 1 a 2 cm cm^{-3} como sendo adequada para absorção de água e nutrientes pelas plantas.

De acordo com Lopes et al. (2013), o desenvolvimento radicular é considerado um processo complexo, controlado por características inerentes à própria planta e ao ambiente no qual ela se insere. Para Valcarcel et al. (2007) a serapilheira promove um microambiente favorável, pois no local há maior retenção de água e arejamento, e, portanto, maior disponibilidade de oxigênio e nutrientes oriundos de sua decomposição, ocasionando maior concentração de raízes na camada superficial, principalmente as finas. Isto possivelmente justifica o que foi visualizado no tratamento CE da precipitação no qual as raízes se dispersaram por todo o perfil do solo, visando maximizar o aproveitamento de água e nutrientes.

4.4 BIOMASSA ACIMA DO SOLO

As variáveis dendrométricas obtidas no povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* aos 75 meses de idade, localizado no município de Telêmaco Borba, PR apresentaram um DAP médio foi de 17,62 no tratamento CE da precipitação interna e de 18,33 no tratamento SE (Tabela 13). Esta diferença em diâmetro provavelmente ocorreu devido ao tratamento SE apresentar maior número de falhas no povoamento, possibilitando maior incidência de luminosidade no interior do dossel, acarretando, conseqüentemente, um maior incremento em diâmetro.

Tabela 13 - Variáveis dendrométricas de um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* aos 75 meses de idade, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR

Variáveis	Com Exclusão			Sem Exclusão		
	Média	DesvPad	CV%	Média	DesvPad	CV%
DAP (cm)	17,62	1,58	8,94	18,33	1,81	9,86
Altura (m)	29,88	1,22	4,07	31,23	1,91	6,11
N (árv ha ⁻¹)	1097	-	-	1056	-	-
G (m ² ha ⁻¹)	26,97	0,004	17,59	28,13	0,005	18,83
V (m ³ ha ⁻¹)	405,13	0,076	20,52	443,38	0,096	22,81

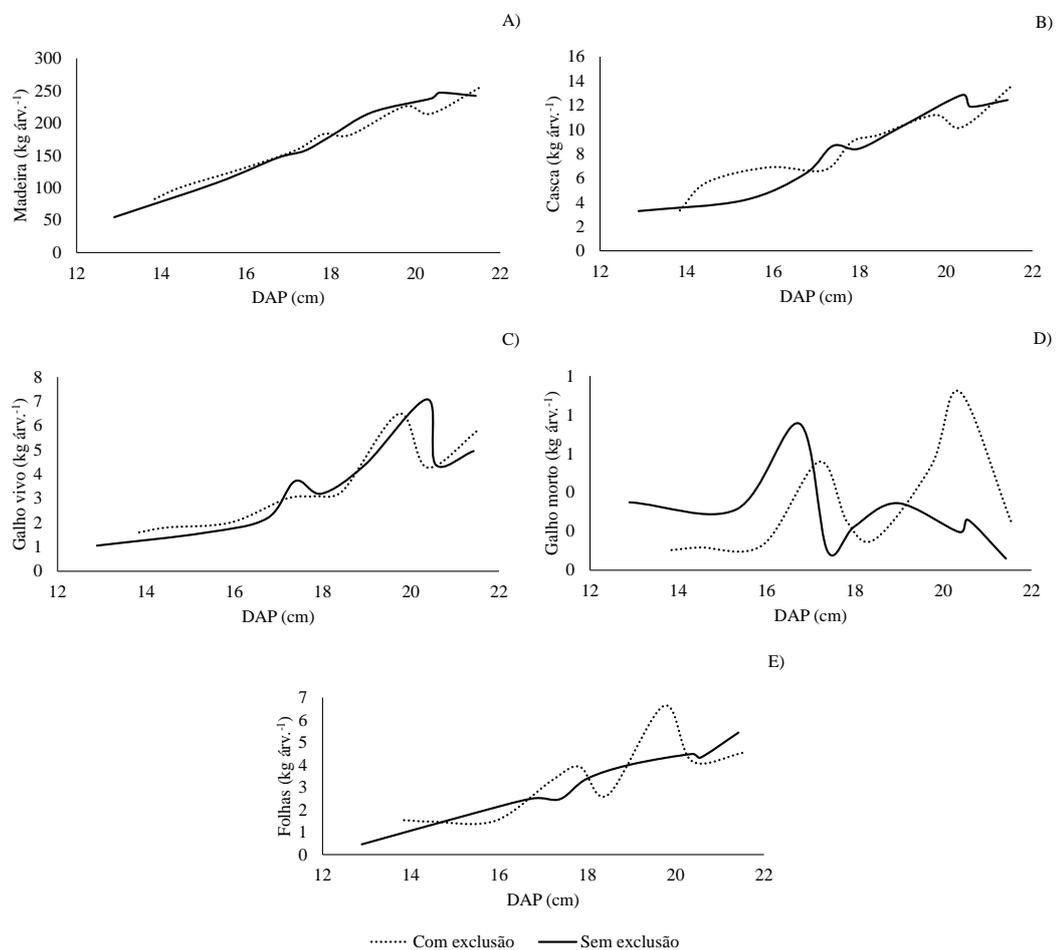
Onde: DAP = diâmetro altura do peito; N = número de árvores; G = área basal média; V = volume com casca; DesvPad = desvio padrão da média e CV = coeficiente de variação da média.

Fonte: Autor (2019).

O tratamento SE da precipitação interna apresentou um incremento médio em volume de $63,34 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, valor superior ao tratamento CE ($57,87 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A taxa de sobrevivência das plantas no tratamento CE parcial da precipitação e SE foi de 99% e 95%, respectivamente.

Avaliando a relação entre o DAP e os componentes da biomassa, pode se verificar que com o aumento do DAP configura-se o aumento da biomassa (kg árvore^{-1}) (Figura 13).

Figura 13 - Relação entre o diâmetro à altura do peito (DAP) e os componentes da biomassa: madeira (A); casca (B); galho vivo (C); galho morto (D) e folhas (E) no povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, localizado no município de Telêmaco Borba, PR



Onde: A) Madeira; B) Casca; C) Galho vivo; D) Galho morto e E) Folhas.
Fonte: Autor, (2019).

Os coeficientes e as estatísticas referentes ao modelo de regressão utilizado para estimar a biomassa dos componentes (madeira, casca, galho vivo, galho morto e folhas) estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Parâmetros estatísticos de ajuste do modelo de regressão utilizado para estimar a biomassa de um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 76 meses de idade, localizado no município de Telêmaco Borba, PR

Coeficientes e estatísticas de ajuste								
Componente	Equação: $\ln y = b_0 + b_1 * (\ln x)$							
	Com Exclusão				Sem exclusão			
	β_0	β_1	R ²	Sxy	β_0	β_1	R ²	Sxy
Madeira	-1,986885	2,466944	0,97	11,26	-3,542995	2,998741	0,96	18,86
Casca	-5,544016	2,656450	0,89	0,95	-6,441550	2,958277	0,95	0,91
Galho Vivo	-7,663880	3,363624	0,92	1,77	-9,988239	4,153503	0,92	2,35
Galho Morto	-8,545986	3,458630	0,42	4,36	0,318950	0,261683	0,003	3,25
Folhas	-7,374071	3,137208	0,85	1,05	-12,729654	4,980533	0,91	1,27

Onde: β_0 e β_1 : Coeficientes de Regressão; R²: Coeficiente de Determinação e Sxy: Erro padrão.
Fonte: Autor (2019).

Na Tabela 15 é possível verificar a distribuição de biomassa acima do solo (Mg ha⁻¹) e a sua respectiva porcentagem para os diferentes componentes dos tratamentos CE parcial da precipitação interna e SE.

Tabela 15 - Produção de biomassa para os diferentes componentes das árvores de um povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 76 meses de idade, estabelecido no município de Telêmaco Borba, PR

Componentes	Com exclusão		Sem exclusão	
	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	(%)	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	(%)
Madeira	180,88B* (±35,56)**	86,9%	192,73A (±49,52)	87,2%
Casca	8,91B (±1,88)	4,3%	9,43A (±2,39)	4,3%
Galho Vivo	8,25B (±2,19)	4,0%	9,07A (±3,10)	4,1%
Galho Morto	4,49A (±1,22)	2,2%	3,11B (±0,07)	1,4%
Folhas	5,73B (±1,42)	2,8%	6,66A (±2,66)	3,0%
Total	208,26A (±65,50)	100%	221,00A (±73,87)	100%

(*) Letras iguais para a mesma coluna, não diferem ao nível de significância (p<0,05) por meio do Teste t Student (p<0,05). (**) Valores entre parênteses e em itálico, representam o desvio padrão.
Fonte: Autor (2019).

Embora os dados não tenham diferido estatisticamente, quando analisada a produção de biomassa total, o tratamento SE da precipitação interna apresentou valor superior (221, 00 Mg ha⁻¹) ao tratamento CE (208,26 Mg ha⁻¹). Resultados semelhantes foram observados por: Viera et al. (2013), avaliando a biomassa de de *E. urophylla* x *E. globulus*, com dez anos de idade,

em Eldorado do Sul, RS (198,50 Mg ha⁻¹); e Salvador et al. (2015), estudando *E. saligna* em Telêmaco Borba, PR (227,12 Mg ha⁻¹).

Resultados inferiores foram constatados por: Guimarães (2014), avaliando povoamento de *E. dunnii* aos quatro anos de idade no Bioma Pampa (104,5 Mg ha⁻¹); Ludvichak (2016) estudando o híbrido *E. urograndis* aos 9 anos de idade (127,82 Mg ha⁻¹); e por Londero et al. (2015) avaliando a biomassa acima do solo de *E. saligna* aos 4 e 5 anos de idade (178,7 e 203,9 Mg ha⁻¹). Resultados superiores foram observados por Salvador et al. (2016), estudando povoamentos de *E. urophylla* x *E. grandis*, com sete anos de idade, em Telêmaco Borba, em um Latossolo Vermelho e Cambissolo Háptico (301,21 Mg ha⁻¹ e 257,99 Mg ha⁻¹).

Oliveira (2017) avaliando a biomassa do híbrido *E. urophylla* x *Eucalyptus* sp., aos 47 meses de idade em três diferentes regiões edafoclimáticas de Minas Gerais, (Belo Oriente, Coração de Jesus e Guanhães) encontrou 108,6 Mg ha⁻¹, 60,9 Mg ha⁻¹ e 125,3 Mg ha⁻¹, respectivamente.

Santana et al. (2008) estimando a produção de biomassa de eucalipto para diferentes regiões do Brasil com a inclusão de características climáticas no modelo, envolvendo um banco de dados de vários estados, evidenciaram a importância da idade, da temperatura e da disponibilidade de água, nas diferentes regiões para a produção de biomassa. Os autores compararam a produção de biomassa da parte aérea entre a região de maior com a de menor produtividade, onde a produtividade foi menor nas regiões de menor disponibilidade de água. Nesse contexto, fatores genéticos das espécies, edafoclimáticas e de manejo estão relacionados diretamente a capacidade de produção de biomassa das espécies (GUIMARÃES et al., 2015).

A biomassa acima do solo para o tratamento CE e SE foi distribuída na seguinte ordem: madeira > casca > galhos vivos > folhas > galho morto. Viera et al. (2013) destaca que a biomassa varia conforme a classe diamétrica, onde indivíduos com menores diâmetros apresentam uma maior produção de biomassa de copa comparada ao fuste, porém essa relação diminui com o aumento do DAP. Conforme Larcher (2004), tanto a deficiência hídrica como a nutrição mineral insuficiente ou desbalanceada provocam diminuição no rendimento da produção.

O fuste (madeira + casca) acumulou 91,2% da biomassa total no tratamento CE da precipitação interna e 91,5% para o tratamento SE. Já a copa (folhas + galhos) apresentou um acúmulo de 9,0 e 8,5 no tratamento CE e SE da precipitação interna. Valores similares foram encontrados por Freitas et al. (2004), avaliando *E. grandis* de 9 anos de idade, observaram que os mesmos componentes representavam 92% da biomassa.

5 CONCLUSÕES

O tratamento com exclusão parcial da precipitação interna apresentou maior interceptação pela copa devido ao maior índice de área foliar. A interação da precipitação pluviométrica com o dossel florestal incrementou a água da precipitação pluviométrica com nutrientes, principalmente para o potássio.

Houve maior produção de serapilheira no tratamento sem exclusão da precipitação interna. As folhas constituem a principal fração que compõe a serapilheira produzida sobre o solo em ambos os tratamentos. A deposição de serapilheira apresentou sazonalidade ao longo do ano, com um pico de deposição no mês de março de 2018 em ambos tratamentos. A temperatura mínima, média e máxima do ar influenciaram na produção de serapilheira, principalmente para a fração folhas.

O tratamento com exclusão parcial da precipitação interna apresentou menor taxa de decomposição da serapilheira, influenciada pela menor disponibilidade de água.

A densidade de raízes finas no tratamento com exclusão parcial da precipitação pluviométrica foi 54,55% superior ao tratamento sem exclusão, onde as raízes procuram água nas camadas inferiores.

Não houve diferença na produção de biomassa total da biomassa acima do solo entre os tratamentos, porém, comparando a produção somente de madeira, o tratamento com exclusão da precipitação interna apresentou a menor produção. A madeira do tronco é o compartimento com maior representação na biomassa em ambos os tratamentos, correspondendo a mais de 86,9 % da biomassa total.

RECOMENDAÇÕES

O híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.* considerado uma espécie com significativa deposição de matéria orgânica sobre o solo, através da senescência de folhas, galhos e outros materiais é indicado para projetos visando a recuperação da fertilidade do solo, uma vez que a matéria orgânica é essencial para a manutenção da mesma.

Em média, o ciclo com espécies do gênero *Eucalyptus* perdura sete anos. Diante disso, seria interessante a avaliação da produção de serapilheira, bem como a análise química desse material, em todo o ciclo produtivo desse clone, para assim quantificar a produção em diferentes anomalias climáticas (anos com El Niño e La Niña) para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, sendo este um dos clones mais produtivos e que merece o devido destaque.

Sugere-se para estudos futuros que sejam realizadas coletas de umidade e temperatura do solo em experimentos com redução da precipitação interna em povoamentos de *Eucalyptus sp.*, visando esclarecer aspectos da decomposição da serapilheira em plantios florestais. Bem como para estudos futuros sobre a temperatura máxima e ótima para o desenvolvimento dessa e de outras espécies do gênero em cada região do país.

Diante da produtividade de biomassa do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, mesmo que submetido a uma redução de disponibilidade hídrica que poderia afetar o desenvolvimento/produtividade, pode-se recomendar o uso desse híbrido em regiões com potencial silvicultural com menores índices pluviométricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.Q.; RIBEIRO, A.; LEITE, F.P.; Modelagem do balanço hídrico em microbacia cultivada com plantio comercial de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* no leste de Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p. 547-556, 2013.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- APHA - **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C. 19 ed. 1998.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n.2, p. 257-262, 2003.
- ASHAGRIE, Y.; ZECH, W. Dynamics of dissolved nutrientes in forest floor leachates: comparison of a natural forest ecosystem with monoculture of tree species plantations in south-east Ethiopia. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 10, n. 2-4, p. 183-190, 2010.
- ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento Genético do Eucalipto. In: Schumacher, M.V.; Viera, M. (Org.). **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. UFSM. ed.1, Santa Maria, RS. 2015. p. 225-247.
- BALIEIRO, F. C. et al. Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo, em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 597-601, jun., 2004.
- BALIEIRO, F.C. et al. Evaluation of the throughfall stemflow nutrient contents in mixed and pure plantations of *Acacia mangium*, *Pseudosamanea guachapele* and *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.31, n.2, p.339-346, 2007.
- BARBOSA, V.; BARRETO-GARCIA. P.; GAMA-RODRIGUES, E. Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, 2017.
- BARLOW, J. et al. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 247, n. 1, p. 91-97, 2007.
- BARRETO, P. A. B. et al. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em sequência de idade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, p. 611-619, 2008.
- BASÍLIO, J, J. N. et al. Adaptabilidade edafoclimáticas de *Eucalyptus* sp. baseado nas taxas de deposição foliar. In: Simpósio IPEF 50 anos, 242. 2018, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Simpósio IPEF 50 anos, 2018.

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

BINKLEY, D. et al. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 405, n. 15, p. 271-283, 2017.

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

CADALTO, S. L; SCHUMACHER, M. V. O uso de água pelas plantações florestais - uma revisão. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 507-516, 2013.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Quantificação de serapilheira e nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, abr./jun. 2007.

CALIL, F. **Aspectos nutricionais de um sistema agroflorestal com eucalipto no sul do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2008. 144 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CALIL, F. N. et al. Ion input via rainwater in the southern region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 3, p.373-380, 2010.

CAMPOE, O. C. **Ecologia da produção e da competição intra-específica do *Eucalyptus grandis* ao longo de um gradiente de produtividade no Estado de São Paulo**. 2012. 175p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

CARVALHO, R. R. de. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil**. 2014. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2014.

CÉSAR, O. Produção de serapilheira na mata mesófila semi-decídua da Fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 53, n.4, p.671-681, 1993.

CHAVE, J. et al. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. **Biogeosciences**, v. 7, p. 43-55, jan. 2010.

CORRÊA, R. S. **Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* estabelecido no Bioma Pampa**. 2011. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2011.

COUTINHO, V. M. et al. Mapeamento das áreas plantadas com *Eucalyptus* spp. no estado do Paraná. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 32-43, 2017.

CQFS – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Editora Pallotti, 11ed, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016, 376p.

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

DANSO, S.D.A.; PRESCOTT, C.E.; SMITH, A.R. Methods for estimating root biomass and production in forest and woodland ecosystem carbon studies: A review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.359, p.332-351, 2016.

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

DICK, G. **Fertilização mineral em *Eucalyptus dunnii* Maiden: Efeitos nos estoques dos nutrientes**. 2018. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

DICK, G. et al. Nutrient input via incident rainfall in a *Eucalyptus dunnii* stand in the Pampa Biome. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 25, n. 3, 2018.

DICK, G. et al. Quantificação da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido no Bioma Pampa. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa maria, v.4, n.1, p.01-09, 2016.

DICK, G. et al. Produção de raízes finas em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden em área do Bioma Pampa. **Informe técnico n.58**, Centro de Ciências Rurais, UFSM, 2016.

DINIZ, A. R. et al. Precipitação e aporte de nutrientes em diferentes estádios sucessionais de Floresta Atlântica, Pinheiral-RJ. **Ciência Florestal**, v.23, n.3, p.389-399, 2013.

FABIÃO, A.; MADEIRA, M.; STEEN, E. Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutriente regimes. **Plant Soil**, v.168, n.1, p.215-223, 1995.

FERREIRA, G, W. D. et al. Nitrogen alters initial growth, fine-root biomass and soil organic matter properties of a *Eucalyptus dunnii* Maiden Plantation in a recently afforested grasssland in Southern Brazil. **Forests**, v. 9, n. 2, 2018.

FERREIRA, M. L. et al. Litter fall production and decomposition in a fragmente of secondary Atlantic Forest of São Paulo, SP, Southeastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 591-600, 2014.

FLORES, T. B. et al. ***Eucalyptus* no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448p.

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.

GAY, D. W.; MURPHY, C. E. **Final report: The deposition of SO² on Forests**. EPRI Project R.P. 1813-2; Electric Power Research Institute: Palo Alto, California, 1985.

GASPAROTO, E. A. G. et al. Throughfall in different forest stands of Iperó, São Paulo. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, apr./jun, 2014.

GAMA-RODRIGUES, E. F. da. et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 893-901, 2005.

GIGLIO, J. N.; KOBIYAMA, M. Interceptação da chuva: Uma revisão com ênfase no monitoramento em Florestas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 297-317, 2013.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. cap. 8, p. 221-267.

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

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, 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, 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.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Litter decomposition and nutriente release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 75, p. 133-40, 1999.

HOLANDA, A. C. de. et al. Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de Caatinga. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 621-633, abr./jun., 2017.

HUSCH, B. MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. New York, John Wiley & Sons, 1982. 402 p.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Anuário Estatístico IBÁ 2017**. Brasília, 2017. 80 p.

- INKOTTE, J.; et al. Deposição de serapilheira em reflorestamentos de eucalipto e florestas nativas nas regiões Planalto e Oeste do Estado de Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, v. 43, n.6, p.261-270, Jun. 2015.
- JORGE, L.A.C.; RODRIGUES, A.F.O. **Safira: Sistema de Análise de Fibras e Raízes**, 1 st ed. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; Embrapa: São Carlos, Portugal, 2008. p. 20.45.
- KLABIN S. A. Dados climáticos 17 julho, 2018 [mensagem pessoal], Mensagem recebida por <MAFigura@Klabin.com.br> em 17 jul.
- KLEINPAUL, I. S. et al. J. Suficiência amostral para coletas de serapilheira acumulada sobre o solo em *Pinus elliottii* Engelm, *Eucalyptus* sp. e Florestal Estacional Decidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 965-972, 2005.
- KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego, USA: Academic, 1991. p. 657.
- KUYAH, S. et al. Allometry and partitioning of above-and below-ground biomass in farmer *Eucalyptus* species dominant in Western Kenyan agricultural landscapes. **Biomass and Bioenergy**, Uninted Kingdom, v. 55, n. 1, p. 276-284, 2013.
- LACLAU, J. P.; et al. Biogeochemical cycles of nutrientes in tropical *Eucalyptus* plantations Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 259, p. 1771-1785, 2010.
- LACLAU, J. P.; et al. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo 1. Chemical composition of rainfall, throughfall and stemflow solutions. **Forest Ecology and Management**, v. 176, p. 105-119, 2003.
- LA TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliotti* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, ago. 1984.
- LAGEMANN, M. P. et al. Decomposição da serapilheira de *Eucalyptus saligna* Smith e sua correlação com variáveis climáticas. In: Simpósio IPEF 50 anos, 47., 2018, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Simpósio IPEF 50 anos, 2018.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. p. 531
- LEITE, F. P. et al. Alterations of soil chemical properties by *Eucalyptus* cultivation in five regions in the Rio Doce Valley. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 821-831, 2010.
- LOPES, V. G. et al. Variáveis físicas do solo importantes na distribuição de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. no nordeste do Rio Grande do Sul. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 1, n.1, p. 14-23, jan./abr., 2013.
- LONDERO, E. K. et al. Calibração do modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba – RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 293-305, abr./jun. 2015.

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, 2016.

LUDVICHAK, A. A. et al. Nutrient return through litterfall in a *Eucalyptus dunnii* Maiden stand in sandy soil. **Revista Árvore**, v.40, n.6, p. 1041-1048, Nov./Dec. 2016.

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

McCORMACK, M. L. et al. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. **New Phytologist**. v.207, p.505-518, 2015.

MIYAZAWA, M. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Cap 4, p. 171-224, 1999.

MOMOLLI, D. R. **Monitoramento Ambiental Florestal: fluxo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii*, no sul do Brasil.** 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

MOMOLLI, D. R.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F. Serapilheira em povoamento de *Eucalyptus*: Fonte ou dreno de carbono? In: FRANCISCO, A. L. O. de. (Coord.). Sustentabilidade de recursos florestais. 1.ed. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. Cap. 9, p. 104-113.

MOMOLLI, D. R. et al. Distribuição da precipitação pluviométrica incidente após interação com o dossel de *Eucalyptus dunnii* Maiden. In: Simpósio IPEF 50 anos, 47., 2018, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Simpósio IPEF 50 anos, 2018.

MOMOLLI, D. R. et al. Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 46, n. 118, p. 199-208, jun. 2018.

MOMOLLI, D. R. et al. Produção de serapilheira em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil. In: III Congresso Brasileiro de Eucalipto, Vitória. **Anais...** Vitória: Centro de Desenvolvimento do Agronegócio, , 2015.

NAVROSKI, M. C. et al. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 4, p. 535-540, 2010.

OLIVEIRA, J. R. **Crescimento, produção e eficiência nutricional de genótipos de eucalipto em diferentes condições edafoclimáticas de Minas Gerais.** 2017. 150f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Durham, v. 44, n. 2, 1963.

- OTTO, M. S. G. et al. Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 431-439, 2013.
- PAIVA, H. N.; LEITE, H. G. Desbastes e desramas em povoamentos de *Eucalyptus*. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Org). **Silvicultura de Eucalipto no Brasil**. Ed. UFSM, Santa Maria – RS. 2015. 308p.
- PAULA, R.R.; PEREIRA, M.G.; MENEZES, L. F. T. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados na Ilha da Marambaia, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n.2, p.139-148, 2009.
- PEGADO, C. M. A. et al. Decomposição superficial e sub-superficial de folhas de fava (*Phaseolus lunatus* L.) na região do Brejo da Paraíba, Brasil. **Caatinga**, Mossoró, v.21, n.1, p. 218-223, 2008.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER M. V. Ciclagem de nutrientes em Florestas Nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba – IPEF/ESALQ - USP. 2000. 427 p.
- PREUHSLER, T.; BASTRUP-BIRK, A.; BEUKER, E. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests – Part VII: **Meteorological Measurements**. 32p, 2006.
- RODRIGUES, V. A. et al. Interceptação da precipitação pelas copas em *Pinus halepensis* Mill – Albacete – Espanha. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 736-749, 2016.
- SALVADOR, S. M. et al. Biomassa arbórea e de sub-bosque e da serapilheira acumulada em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 3, p.82-93, set./dez., 2015.
- SALVADOR, S. M. et al. Biomassa e estoque de nutrientes em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* Smith. em diferentes idades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 311-321, jun., 2016.
- SANTANA, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008.
- 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.
- 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.
- SCHRUMPF, M. et al. Biogeochemistry of an afro-tropical montane rain forest on Mt. Kilimanjaro, Tanzania. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 22, p. 77-89, 2006.

SCHUMACHER, M. V. et al. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* maidenii. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p.501-508, jul/set. 2013.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. Ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Org). **Silvicultura de Eucalipto no Brasil**. Ed. UFSM, Santa Maria – RS. 2015. 308p.

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

SCHUSTER, M. J. Increased rainfall variability and N addition accelerate litter decomposition in a restored prairie. **Oecologia**, v. 180, n. 3, p. 645-655, mar. 2015.

SHANKS, R.; OLSON, J.S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachia. **Forest Science**, v.134, p.194-195, 1961.

SHINZATO, E. T. et al. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402, 2011.

SILVA, J. C. M. de. **Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* Maiden em uma microbacia hidrográfica experimental do Bioma Pampa**. 2014. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

SKORUPA, A. L. A.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Forest litter decomposition as affected by *Eucalyptus* stand age and topography in south-eastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1055-1062, 2015.

SPERANDIO, H. V. et al. Emprego da serapilheira acumulada na avaliação de Sistemas de Restauração Florestal em Alegre – ES. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 460-467, 2012.

STAPE, J. L. et al. Fatores hídricos e as decisões de silvicultura, de melhoramento e de proteção na eucaliptocultura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., 2014, Campinas/SP. **Anais...** Curitiba/PR: Embrapa Florestas, 2014. p. 81-98.

Statistical Package for The Social Sciences - SPSS. **SPSS® 13.0**. Chicago: SPSS Inc., 2004. CD Rom.

STORCK, E.B.; SCHORN, L.A.; FENILLI, T.A.B. Crescimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes recipientes. **Floresta**, Curitiba, PR, v.46, n.1, p. 39-46, jan/mar, 2016.

SUPANGAT, A. B. et al. Study of Rainfall Interception at *Eucalyptus pellita* Plantation Forest in Riau. **Agritech**, v. 32, n. 3, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Editora Artmed, 5ed. Porto Alegre, 2013. 918p.

TATAGIBA, S. D. et al. Desempenho de clones de Eucalipto em resposta a disponibilidade de água no substrato. **Engenharia na Agricultura**, v. 17, n.3, p. 179- 189, 2009.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E.; REIS, E.F. dos. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Engenharia na Agricultura**, v. 23, n. 4, p. 336-345, 2015.

TONELLO, K. C. et al. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 383-390, 2014.

TURCHETTO, F.; FORTES, F. de O. Aporte e decomposição de serapilheira em Floresta Estacional Decidual na Região do Alto Uruguai, RS. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 391-397, 2014.

URBANO, C. N. et al. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em povoamentos jovens de *Eucalyptus* no planalto catarinense. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 33-44, 2018.

VALCARCEL, R. et al. Avaliação da biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 923-930, 2007.

VALENTE, M. L. et al. Quantificação de nutrientes na precipitação em um plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* subsp. Maidenii, Eldorado do Sul, RS. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 249-259, mar. 2016.

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

VIERA, M. et al. Deposição de Serapilheira e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e exportação de nutrientes pela colheita do eucalipto. In: SCHUMACHER, M.V.; VIERA, M. (Org). **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Ed. UFSM, Santa Maria – RS. 2015. 308p.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, V. W. Dinâmica de decomposição de nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* no Sul do Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 351-360, 2013.

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

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria – RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 177-183, 2003.

XIÃO, Q.; McPHERSON, E. G. Rainfall interception of three trees in Oakland California. **Urban Ecosystems**, v. 14, p. 755-769, 2011.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na Região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 843-852, 2004.

ZHOU, S.; HUANG, C.; XIANG, Y.; AMARRE, L.; HAN, B.; SCHEU, S. Effects of reduced precipitation on litter decomposition in evergreen broad-leaved forest in western China. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 430, p. 219-227, 2018.

APÊNDICE

Apêndice A - Disposição dos coletores de precipitação. A) Coletores na área anexa ao povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*; B) Coletores no tratamento com exclusão parcial da precipitação interna; C) Coletores no tratamento sem exclusão da precipitação interna; D) conjunto de escoamento pelo tronco.



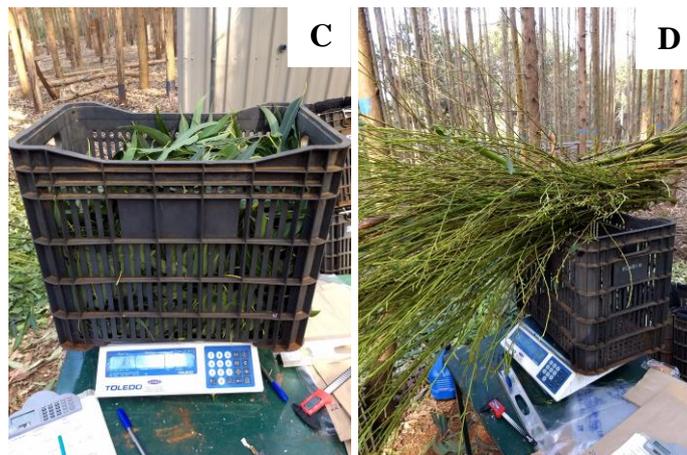
Apêndice B - Disposição dos coletores de serapilheira produzida. A) coletor para o tratamento com exclusão parcial da precipitação interna. B) coletor de serapilheira para o tratamento sem exclusão.



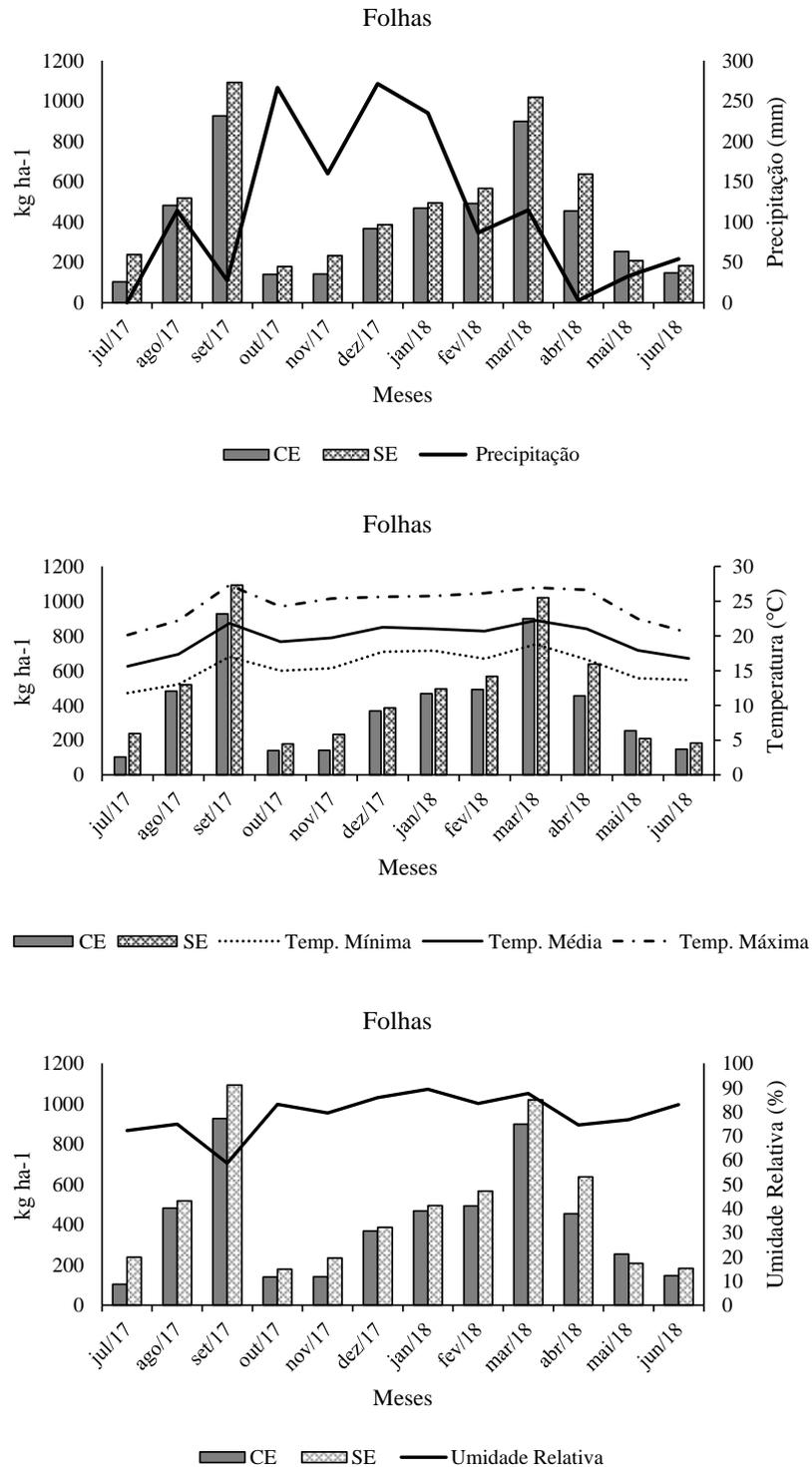
Apêndice C - Moldura utilizada para a coleta de serapilheira acumulada sobre o solo.



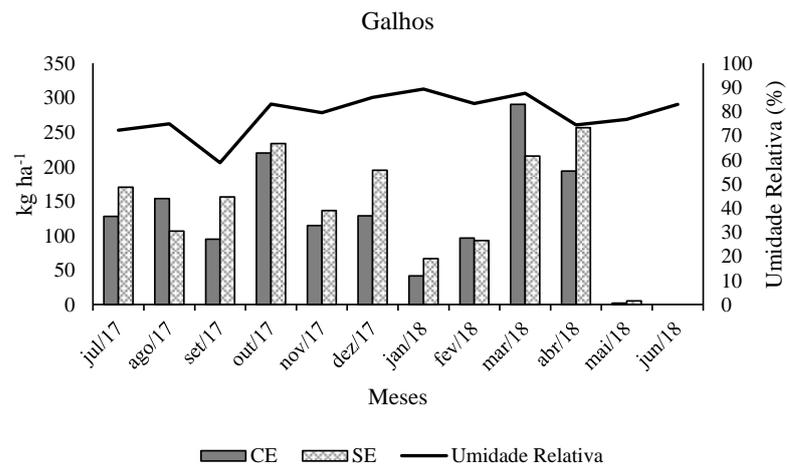
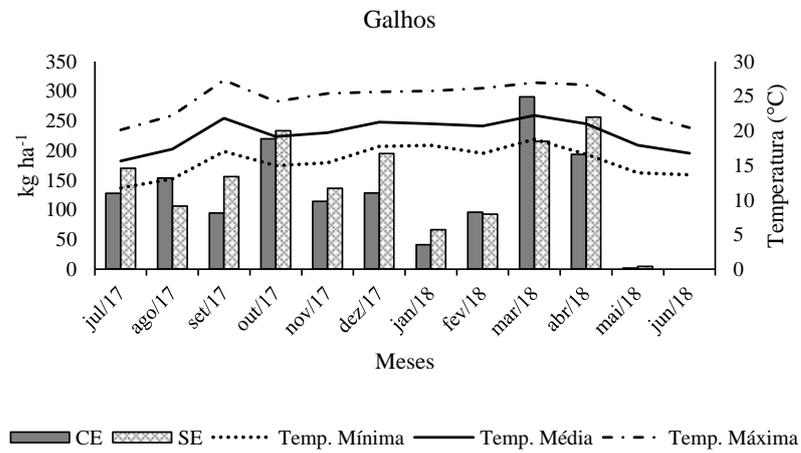
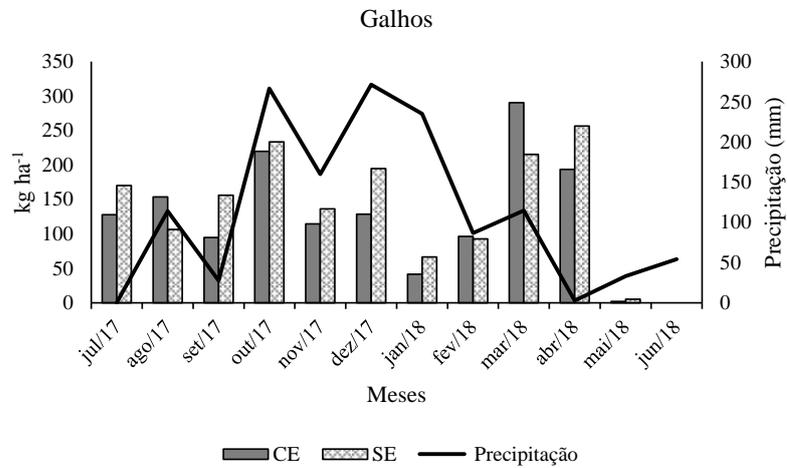
Apêndice D - Quantificação da biomassa no povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *E. sp.*, aos 76 meses de idade. A) seleção da árvore; B) discos retirados nas devidas posições; C) pesagem das folhas; D) pesagem dos galhos vivos.



Apêndice E - Relação da produção de folhas da serapilheira produzida em ambos os tratamentos com a precipitação pluviométrica, temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa.



Apêndice F - Relação da produção de galhos da serapilheira produzida com a precipitação pluviométrica, temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa.



Apêndice G - Relação da produção de miscelânea na serapilheira produzida com a precipitação pluviométrica, temperatura mínima, média e máxima e umidade relativa.

