

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

**DINÂMICA NUTRICIONAL
EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.,
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

TESE DE DOUTORADO

Vicente Guilherme Lopes

Santa Maria, RS, Brasil

2013

**DINÂMICA NUTRICIONAL
EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.,
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

por

Vicente Guilherme Lopes

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

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

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Lopes, Vicente Guilherme

DINÂMICA NUTRICIONAL EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda*
L., RIO GRANDE DO SUL, BRASIL / Vicente Guilherme Lopes.-
2013.

138 p.; 30cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2013

1. Nutrição florestal 2. Ciclagem de nutrientes 3.
Ecologia Florestal 4. Silvicultura 5. Biomassa I.
Schumacher, Mauro Valdir II. Título.

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

© 2013

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

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

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

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

**DINÂMICA NUTRICIONAL
EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.,
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

elaborada por
Vicente Guilherme Lopes

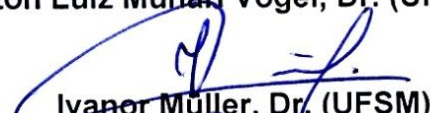
como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Florestal

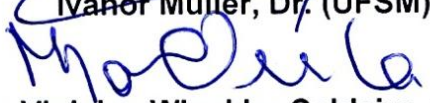
COMISSÃO EXAMINADORA:


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


Francine Neves Calil, Dra. (UFG)


Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)


Ivanor Müller, Dr. (UFSM)


Marcos Vinicius Winckler Caldeira, Dr. (UFES)

Santa Maria, 01 de março de 2013.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais.

*Em especial a minha
Mãe pelo exemplo de amor
persistência e fortaleza.*

Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Nida e Valdir, por guiarem minha formação inicial pelo caminho correto. Obrigado, por não tirarem todas as pedras do meu caminho. Graças ao caráter que vocês desenvolveram em mim, hoje, caminho de cabeça em pé, olhando para o futuro, sem medo dos desafios. Obrigado!

A minha namorada Tatiana e família, pelo acolhimento, compreensão e apoio nos momentos “tensos” de finalização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, por todas as oportunidades orientações, incentivos, amizade e confiança, durante os 10 anos em que integrei a equipe do LABEFLO.

Ao Prof. Dr. Peter Trüby da Albert Ludwigs Universität-Freiburg / Alemanha, pela coorientação, amizade, recepção e total apoio na condução dos trabalhos realizados no Laboratório de Ciência do Solo e Nutrição de Plantas.

Às Associações de empresas florestais, responsáveis pelo financiamento do projeto (SINDIMADEIRA-RS, MOVERGS, ASBR, APRE, ACR, AGEFLOR).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa durante o curso de doutorado.

Ao DAAD – Deutscher Akademischer Austauschdienst (Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico), pela oportunidade e concessão do auxílio financeiro durante a estadia na Alemanha.

À Empresa CAMBARÁ S.A., pela disponibilização da área para instalação do experimento e pelo apoio na coleta das amostras, principalmente nas pessoas dos Engenheiros Florestais Vandir Zancan, Leonir Barichello e do Técnico Agropecuário Evandro Viero e sua equipe de campo. Pela disposição, boa vontade e perícia na instalação e principalmente na manutenção e coleta de amostras, OBRIGADO a toda equipe que participou deste trabalho.

À Cerlene da Silva Machado e Rone Maria Rachele de David, secretárias do PPGEF, pelo apoio e amizade.

Aos membros da banca do exame de qualificação de doutoramento, professores Ph.D. Flávio Luiz Folleto Eltz, Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. Ivanor Müller e Dr. Cezar Augusto Guimarães Finger, assim como aos professores integrantes da banca de avaliação da defesa final, professora Dr^a. Francine Neves Calil e professores Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. Ivanor Müller, DSc. Marcos Vinicius Winckler Caldeira, pelas contribuições e sugestões para melhoria da qualidade deste trabalho.

Ao Mestre Engenheiro Florestal Rudi Witschoreck, pelas sugestões, compreensão nos momentos de desabafo, conselhos, apoio no processamento de dados e pela amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Ecologia Florestal, responsáveis pelas análises químicas, Vitor Hugo Braga dos Santos, Cristiano Kasdorf Giesbrecht e equipe.

Aos Professores Dr. Robson Schaff Corrêa e Dr. Márcio Viera, pelo apoio durante as coletas de biomassa e pela amizade.

Aos colegas de laboratório, Engenheiro Florestal Edenilson Liberalesso e futuro Engenheiro Florestal Joel Carvalho dos Santos, pela dedicação e incansável auxílio nas coletas de campo e processamento dos dados.

À Prof^a. Dr^a. Francine Calil, pela amizade, incentivo, sugestões e pelo auxílio na instalação do experimento.

Aos meus amigos e colegas da Universidade Federal de Santa Maria, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e do Laboratório de Ecologia Florestal.

Ào diretor do Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, Prof. Dr. Ernst E. Hildebrand (*in memoriam*), e às técnicas Petra Großmann, Petra Wiedemann, Christina Petschke, Ulrike Erhardt, e ao técnico e amigo Gregor Koch, pelo apoio e excelente recepção, assim como todos os amigos que fiz em Freiburg, na Alemanha.

À Helena Hypolito, Dr. Florian Von Dobeneck e Luana Von Dobeneck pela amizade e todo apoio durante minha estada em Freiburg, Alemanha.

Ao Prof. Dr. Paulo Fenner, Silvia e Ravi, pela amizade, acolhida e apoio logístico em Freiburg, Alemanha.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade.

“Não podemos esquecer que quando o (elemento) rádio foi descoberto, ninguém sabia que ele seria útil em hospitais (para tratar câncer). Era um trabalho de ciência pura, e isso é prova de que um trabalho científico não deve ser avaliado do ponto de vista de sua utilidade direta. Ele precisa ser feito por si só, pela beleza da ciência.”

Marie Curie

(1867-1934)

“Seja você a mudança que quer ver no mundo”

Mahatma Ghandi

(1869-1948)

RESUMO

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

DINÂMICA NUTRICIONAL EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L., RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

AUTOR: VICENTE GUILHERME LOPES
ORIENTADOR: DR. RER. NAT. TECHN. MAURO VALDIR SCHUMACHER
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 01 de março de 2013.

Os conhecimentos relacionados à dinâmica nutricional em povoamentos florestais servem de subsídios, para execução da silvicultura, apoiada nos princípios de sustentabilidade florestal. Assim, este trabalho teve o objetivo de estudar a dinâmica nutricional em um povoamento de pinus, implantado sem adubação, no ano de 1993, a partir de mudas seminais e um espaçamento de 3 m x 2 m. Aos 18 anos de idade restavam no plantio 701 árvores por hectare com diâmetro médio de 29,4 cm, altura média 19,3 m, altura dominante de 19,9 m, área basal de 48,5 m² ha⁻¹, volume com casca de 460,8 m³. Para estudar a distribuição da precipitação, fluxos e variação de nutrientes, assim como a concentração de nutrientes na solução do solo, foram utilizados coletores da água da chuva e lisímetros, instalados no povoamento e em uma área de pastagem natural adjacente, caracterizada pela alta diversidade de espécies vegetais nativas. Também foram utilizados coletores para serapilheira. No pinus, em 2011, foi realizado um inventário da biomassa arbórea e da serapilheira acumulada. O volume médio de precipitação pluviométrica (P) na área de estudo foi de 2081,5 mm ano⁻¹. No pinus, a precipitação interna (Pi) foi de 1280,1 mm ano⁻¹, no escoamento pelo tronco (Et) de 89,0 mm ano⁻¹, totalizado 1369,1 mm ano⁻¹ de (Pi+Et), significando uma interceptação pela copa de 34,5 %. O aporte total anual de cada nutriente seguiu a ordem decrescente: Cl > Na > K > S > Ca > N > Mg > P. O aporte anual (kg ha⁻¹ ano⁻¹) via (Pi+Et) foi de 29,39 (Cl), 21,73 (Na), 18,04 (K), 17,02 (S), 9,82 (Ca), 5,64 (N), 3,44 (Mg) e 0,84 (P). No pinus, a ordem decrescente na concentração dos elementos na solução do solo à profundidade de 30 cm foi: Cl > Na > Ca > S > Mg > K > NO₃⁻ > NO₂⁻ > P; e na profundidade de 60 cm: Ca > Cl > Na > S > K > Mg > P > NO₃⁻ > NO₂⁻. Na área de pastagem, todos os íons analisados na solução do solo, apresentaram valores de concentração inferiores aos encontrados sob o pinus. A sequência decrescente de acúmulo de biomassa foi: madeira do fuste > casca do fuste > galho vivo > galho morto > acícula > madeira do ponteiro > casca do ponteiro. A biomassa de serapilheira acumulada foi de 21,33 Mg ha⁻¹. Considerando a biomassa arbórea, acima do solo, o estoque de nutrientes em Kg ha⁻¹ foi de: 421,65 de N; 39,37 de P; 173,46 de K; 176,59 de Ca; 55,47 de Mg; 43,27 de S; 91,91 de Na; 0,79 de Cu; 8,83 de Fe; 27,51 de Mn e 1,06 de Zn. A deposição média anual de serapilheira foi de 5,85 Mg ha⁻¹. Todos os nutrientes tiveram sua exportação aumentada com o

aumento da intensidade de uso da biomassa. A sequência de nutrientes, quanto ao risco de limitação da produtividade, para níveis intensos de utilização da biomassa foi: $N > P > K > Mg > Ca$.

Palavras-chave: Nutrição florestal. Ciclagem de nutrientes. Ecologia Florestal. Silvicultura. Biomassa.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Post-Graduation Program in Forestry
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

NUTRITION DYNAMICS IN A STAND OF *Pinus taeda* L. RIO GRANDE DO SUL, STATE, BRAZIL

AUTHOR: VICENTE GUILHERME LOPES
ADVISOR: DR. RER. NAT. TECHN. MAURO VALDIR SCHUMACHER
Date and Place of Defense: Santa Maria City, March 1, 2013.

The knowledge of nutrition dynamics in forest stands provides basis for forest implementation, using the principles of sustainable forests. This study investigated the nutrition dynamics in a pine stand, deployed in 1993, without fertilization, from seedlings at 3 m x 2 m spacing. At 18 years of age, 701 trees remained planted per hectare with mean diameter 29.4 cm, mean height 19.3 m, dominant height 19.9 m, basal area 48.5 m² ha⁻¹ and volume with bark 460.8 m³. To study rainfall distribution, nutrient flows and variation, and nutrient content in the soil solution, we used rainwater collectors and lysimeters installed in the pine stand and in an adjacent area of natural grassland characterized by high diversity of native plant species. Were also used collectors to obtain plant litter. In 2011, we inventoried the tree biomass and litter layer in the pine stand. The average precipitation volume (P) in the study area was 2081.5 mm yr⁻¹. In the pine stand, throughfall (T) was 1280.1 mm yr⁻¹, stemflow (S) 89.0 mm yr⁻¹, totaling 1369.1 mm year⁻¹ (T + S), evidencing a canopy interception of 34.5%. The annual total contribution of each nutrient followed the decreasing order: Cl > Na > K > S > Ca > N > Mg > P. The annual contribution (kg ha⁻¹ yr⁻¹) from T + S was 29.39 (Cl), 21.73 (Na), 18.04 (K), 17.02 (S), 9.82 (Ca) 5.64 (C) 3.44 (Mg) and 0.84 (P). In the pine stand, the decreasing content of elements in the soil solution at 30 cm was: Cl > Na > Ca > S > Mg > K > NO₃⁻ > NO₂⁻ > P, and at 60 cm: Ca > Cl > Na > S > K > Mg > P > NO₃⁻ > NO₂⁻. In the pasture area, all analyzed ions in the soil solution showed lower contents than those found in the pine stand. The sequence of decreasing biomass accumulation was: stem wood > stem bark > living branch > dead branch > needles > pointer wood > pointer bark. The biomass of litter was 21.33 Mg ha⁻¹. Considering the tree biomass above ground, the nutrient content in kg ha⁻¹ was: 421.65 N, 39.37 P, 173.46 K, 176.59 Ca, 55.47 Mg, 43.27 S, 91.91 Na, 0.79 Cu, 8.83 Fe, 27.51 Mn and 1.06 Zn. The annual mean of litterfall was 5.85 Mg ha⁻¹. Exports of all nutrients rose as the intensity of biomass use increased. The sequence of nutrients, regarding the risk of limiting productivity, due to intense levels of biomass use was: N > P > K > Mg > Ca.

Keywords: Forest Nutrition. Nutrient cycling. Forest Ecology. Silviculture. Biomass.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Representação esquemática do ciclo de nutrientes em um ecossistema florestal. Fonte: Adaptado pelo autor, de Miller (1984).	28
Figura 2.1 - Localização do município de Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.	33
Figura 2.2 - Croqui de localização da área experimental, com destaque para a área no interior do povoamento de <i>Pinus taeda</i> L. e no campo adjacente. Cambará do Sul, RS. Fonte: Adaptado pelo autor, de Google Earth (2008).	34
Figura 2.3 - Climadiagrama da região de Cambará do Sul, elaborado segundo Walter (1986). Fonte: Adaptado pelo autor de INMET (2013).....	35
Figura 2.4 - Média histórica no período de 1961-1990 para o Balanço hídrico climatológico, a partir de dados obtidos em Bom Jesus, na mesma região do presente estudo. Fonte: Adaptado pelo autor de INMET (2013).	35
Figura 2.5 - Aspecto do sistema radicular do <i>Pinus taeda</i> L. estabelecido em solo raso, com a presença de camada rochosa, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	36
Figura 3.1 - Aspecto dos coletores da precipitação interna, instalados no povoamento de <i>Pinus taeda</i> L. (A); coletor da precipitação pluviométrica na área de campo adjacente (B). Fonte: elaborado pelo autor.....	45
Figura 3.2 - Coletor de água do escoamento pelo tronco (A); detalhe da calha junto ao tronco da árvore (B); bombona plástica utilizada como reservatório (C). Fonte: elaborado pelo autor.	45
Figura 3.3 - Percentual de interceptação pela copa (I_c) e sua relação com a quantidade de precipitação pluviométrica (P), escoamento pelo tronco (E_t) e precipitação interna (P_i). Fonte: elaborado pelo autor.....	49
Figura 3.4 - Névoa de origem oceânica, rica em nutrientes, que são incorporados ao plantio de <i>Pinus taeda</i> L. em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.	54
Figura 3.5 – Aspecto de queimadas, utilizadas por alguns produtores rurais, para limpeza do campo, na Região dos Campos de Cima da Serra no Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	55
Figura 4.1 - Croqui de uma base de coleta da solução do solo, utilizada em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: Elaborado pelo autor. Fonte: elaborado pelo autor.	69

- Figura 4.2 - Aspectos da instalação do experimento em Cambará do Sul, RS, Brasil. Área após a instalação dos lisímetros (A); instalação da tubulação na área de campo (B); instalação da base de coleta da solução do solo no interior do *Pinus taeda* L. (C); Ponteira de cerâmica de um lisímetro (D); Detalhe da tubulação usada para proteção dos capilares (E) e instalação da base de coleta da solução do solo na área de campo (F). Fonte: elaborado pelo autor.70
- Figura 4.3 - Valores de pH observados na solução do solo a 30 e 60 cm na áreas de campo (C) e com *Pinus taeda* (P), no período de nov./2006 a ago./2010, em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.....72
- Figura 5.1 - Aspectos da metodologia utilizada na coleta de biomassa. Abate da árvore (A), separação das acículas (B), descasque dos toretes (C) e equipe separando acículas e galhos (D). Fonte: elaborado pelo autor. .84
- Figura 5.2 - Aspecto do equipamento CNS, utilizado na determinação do nitrogênio (A); processo de confecção das cápsulas usadas na determinação do nitrogênio (B); aspecto da solução obtida (C) após o processo de digestão realizado com o auxílio de um microondas (D). Fonte: elaborado pelo autor.85
- Figura 5.3 - Distribuição diamétrica do plantio comercial de *Pinus taeda* aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor. .86
- Figura 5.4 - Variação da biomassa relativa de cada componente nas cinco classes diamétricas em um plantio comercial de *Pinus taeda* aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor. .88
- Figura 5.5 - Distribuição relativa dos nutrientes nos diferentes componentes da biomassa arbórea do *Pinus taeda* aos 18 anos de idade em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.92
- Figura 6.1 - Croqui demonstrativo da distribuição dos coletores no interior da parcela amostral (A). Aspecto do coletor de serapilheira (B). Fonte: elaborado pelo autor.100
- Figura 6.2 – Deposição mensal de serapilheira nas quatro posições de amostragem (L-linha; EL-entre linha; D-diagonal entre 4 árvores e A-árvore) e sua relação com a precipitação, no período de setembro de 2007 a agosto de 2010, em uma plantação de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.105
- Figura 7.1 - Dinâmica nutricional do nitrogênio em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.127
- Figura 7.2 - Dinâmica nutricional do fósforo em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.127

Figura 7.3 - Dinâmica nutricional do potássio em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	128
Figura 7.4 - Dinâmica nutricional do cálcio em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	128
Figura 7.5 - Dinâmica nutricional do magnésio em um povoamento de <i>Pinus taeda</i> L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Valores médios (mm) de precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação pela copa (Ic) para o período de monitoramento de agosto de 2006 a julho de 2010, realizado em um povoamento <i>Pinus taeda</i> L., localizado em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.	48
Tabela 3.2 - Valores médios mensais de pH e concentração de íons na solução da água da chuva na precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), e escoamento pelo tronco (Et) ocorrido na área de estudo no período entre ago./06 e jul./10. Fonte: elaborado pelo autor.....	52
Tabela 3.3 - Aporte mensal e anual de íons pela água da chuva pela precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et), ocorrido na área de estudo no período entre agosto de 2006 e julho de 2010. Fonte: elaborado pelo autor.	56
Tabela 3.4 - Fluxo de nutrientes na precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e deposição seca (DS), em diferentes lugares e tipos vegetação. Fonte: elaborado pelo autor.....	57
Tabela 4.1 - Valores das concentrações médias mensais para a solução do solo no plantio de <i>Pinus taeda</i> L. e uma área de campo em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.	76
Tabela 5.1 - Médias, desvios-padrão, coeficientes de variação para variáveis dendrométricas obtidas no plantio comercial <i>Pinus taeda</i> L. aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor. .	86
Tabela 5.2 - Médias, desvios-padrão, coeficientes de variação, valores mínimos e máximos para biomassa individual, observados em um plantio comercial de <i>Pinus taeda</i> L. aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.....	87
Tabela 5.3 - Compartimentalização da biomassa em um plantio comercial de <i>Pinus taeda</i> L. aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.	89
Tabela 5.4 – Teores (g kg ⁻¹) de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de <i>Pinus taeda</i> L. aos 18 anos de idade em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.....	89
Tabela 5.5 - Estoque de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa de <i>Pinus taeda</i> L. aos 18 anos de idade em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.	92
Tabela 6.1 - Metodologia de análise de amostras de tecido vegetal utilizada no Laboratório. Fonte: elaborado pelo autor.....	101

Tabela 6.2 - Deposição mensal de serapilheira (kg ha^{-1}) no período de set./07-ago./10, no povoamento de <i>Pinus taeda</i> L., em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.	102
Tabela 6.3 - Correlação linear de Pearson (r), entre a deposição de serapilheira e variáveis climáticas, durante o período de set/07-ago/10. Fonte: elaborado pelo autor.	106
Tabela 6.4 - Teores médios mensais dos nutrientes presentes na serapilheira produzida durante o período de set./07-ago./10, no povoamento de <i>Pinus taeda</i> L., em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.	108
Tabela 6.5 - Aporte mensal de nutrientes via deposição de serapilheira, no período de set./07-ago./10, no povoamento de <i>Pinus taeda</i> L. em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.	109
Tabela 7.1 - Descrição dos procedimentos analíticos utilizados nas amostras de solo.	122
Tabela 7.2 - Densidade do solo e teor de nutrientes, no povoamento de <i>Pinus taeda</i> L. de 18 anos de idade, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	124
Tabela 7.3 - Estoque de nutrientes disponíveis, no povoamento de <i>Pinus taeda</i> L. de 18 anos de idade, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	126
Tabela 7.4 - Coeficiente de utilização biológica para os diferentes componentes da biomassa de <i>Pinus taeda</i> de 18 anos de idade, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	130
Tabela 7.5 - Exportação de biomassa (Mg ha^{-1}) e nutrientes (kg ha^{-1}) em função da intensidade de colheita da biomassa de <i>Pinus taeda</i> L., com 18 anos de idade em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	132
Tabela 7.6 - Balanço biogeoquímico de nutrientes e a estimativa do número de rotações (NR) para o povoamento de <i>Pinus taeda</i> L., com 18 anos de idade, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ic – interceptação pela copa (mm)

P – precipitação pluviométrica (mm)

Pi – precipitação interna (mm)

Et – escoamento pelo tronco (mm)

DAP – Diâmetro à Altura do Peito (1,3 m)

Mg – Magnésio para nutrientes ou Megagrama para biomassa

mg – Miligrama

CUB – Coeficiente de utilização biológica

NR – Número de rotações de 18 anos

SUMÁRIO

1	ASPETOS GERAIS	19
1.1	Introdução.....	19
1.2	Objetivos.....	21
1.2.1	Objetivo geral	21
1.2.2	Objetivos específicos	22
1.3	Revisão de literatura.....	22
1.3.1	O gênero <i>Pinus</i> e sua importância econômica.....	22
1.3.2	Campos de Cima da Serra.....	25
1.3.3	Ciclagem de nutrientes.....	27
1.4	Referências.....	29
2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	33
2.1	Localização da área de estudo	33
2.2	Caracterização da área de estudo	34
2.2.1	Clima.....	34
2.2.2	Solo	36
2.2.3	Caracterização do povoamento	37
2.2.4	Caracterização pastagem	37
2.3	Referências.....	38
3	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, FLUXOS E VARIAÇÃO DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L. COM 18 ANOS	39
3.1	Introdução.....	41
3.2	Material e Métodos.....	44
3.3	Resultados e Discussão	47
3.3.1	Distribuição da precipitação	47
3.3.2	Caracterização química da precipitação	50
3.3.2.1	Valores de pH	50
3.3.2.2	Concentração de íons	53
3.3.2.3	Aporte de íons.....	56
3.4	Conclusões.....	59
3.5	Referências.....	60

4	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA SOLUÇÃO DO SOLO EM UM POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L.	64
4.1	Introdução	66
4.2	Material e Métodos	68
4.3	Resultados e Discussão	71
4.3.1	pH na solução do solo	71
4.3.2	Concentração de íons na solução do solo	73
4.4	Conclusões	77
4.5	Referências	78
5	BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L.	80
5.1	Introdução	82
5.2	Material e Métodos	83
5.2.1	Amostragem e determinação da biomassa	83
5.2.2	Estimativa do estoque de nutrientes na biomassa	85
5.3	Resultados e Discussão	86
5.4	Conclusões	93
5.5	Referências	93
6	PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E DEVOLUÇÃO DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L.	95
6.1	Introdução	97
6.2	Material e Métodos	99
6.2.1	Amostragem e análises químicas	99
6.2.2	Procedimentos estatísticos	101
6.3	Resultados e Discussão	102
6.4	Conclusões	111
6.5	Referências	111
7	ASPECTOS NUTRICIONAIS E ECOLÓGICOS SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DE <i>Pinus taeda</i> L.	116
7.1	Introdução	118
7.2	Material e Métodos	121
7.3	Resultados e Discussão	123
7.3.1	Estoque de nutrientes no solo	123
7.3.2	Fluxos e estoque de N, P, K, Ca e Mg	126
7.3.3	Estimativa do número de rotações com base no balanço de nutrientes	129
7.3.4	Estimativa do número de rotações com base no balanço nutricional	132

7.4	Conclusões.....	135
7.5	Recomendações.....	136
7.6	Referências.....	136

1 ASPETOS GERAIS

1.1 Introdução

Historicamente, o meio ambiente sofre com os impactos causados pelo uso de recursos naturais como madeira, água e minerais, que permitem a continuação da vida do homem nesse planeta. Com o desenvolvimento da ciência, tecnologia e sociedade, as necessidades humanas por recursos do ambiente aumentaram drasticamente, causando o comprometimento da capacidade de recuperação do meio ambiente. Questões como a superpopulação, a desigualdade social, o não suprimento de necessidades humanas básicas como alimento e saúde, colaboram para o aumento da pressão sobre os recursos naturais, acelerando o processo de destruição da natureza e comprometendo a perpetuação da oferta de recursos naturais.

Diante do cenário ambiental catastrófico, se difundem na sociedade novas concepções de vida, que passam a primar por interações harmoniosas com a natureza. Emergem leis e políticas, instituições públicas e privadas preocupadas em garantir princípios ambientais corretos, baseados nos princípios de sustentabilidade, na busca do uso racional dos recursos naturais e na perpetuação do meio ambiente. A sociedade como um todo passa a exigir uma nova postura sócio-ambiental das empresas, valorizando estratégias organizacionais que priorizem ações preventivas ligadas a proteção do meio ambiente, compatibilizando sua preservação e o desenvolvimento sócio-econômico.

Com os anúncios de investimentos no setor da silvicultura no estado do Rio Grande do Sul, iniciaram-se diversos movimentos ambientalistas, preocupados com as questões ambientais ligadas a produção de florestas. Além das discussões referentes aos aspectos socioeconômicos, no centro do debate, foi dada grande ênfase as questões hidrológicas, com ênfase aos possíveis impactos que tais plantações poderiam causar no estado. Assim passou a existir uma percepção de que as plantações em larga escala não poderiam ser produzidas dentro dos conceitos do manejo florestal sustentável. Ao contrário, Lima (2007, p. 2), afirma que “a manutenção da produtividade florestal ao longo do tempo depende crucialmente de sua integração com a manutenção dos aspectos ecológicos e hidrológicos ao longo da paisagem”. As informações disponíveis sobre os possíveis impactos

causados pelos plantios florestais na quantidade e qualidade da água apontam para uma variação no nível de severidade dos impactos, estando diretamente relacionado às condições hidrológicas regionais e a escala de ocupação da bacia hidrográfica (LIMA, 2007).

Mesmo o *Pinus* alcançando uma alta produtividade com relação à pequena escala de uso do solo, estes plantios sofrem críticas pautadas nos possíveis impactos ambientais causados pela expansão da área plantada e uma possível diminuição da biodiversidade global e dos recursos naturais, especialmente água. Baseado nessa preocupação com o meio ambiente, tem aumentado o interesse e o número de pesquisas relacionadas ao uso da água e a manutenção da capacidade produtiva dos sítios (CALDATO, 2011).

A utilização de espécies exóticas, o adensamento de plantas, as técnicas de preparo do solo, o manejo da matocompetição, a adubação, o manejo dos resíduos da colheita bem como a intensidade de colheita florestal são algumas das práticas silviculturais que podem ser controladas pelo silvicultor. As práticas silviculturais não podem se resumir ao simples fato de plantar mudas de árvores, mas devem abranger todas as práticas adotadas no cultivo da floresta nativa ou plantação, procurando garantir um produto, quer seja, madeira, água pura, habitat da fauna silvestre ou ainda uma paisagem agradável (SEITZ, 2000).

Silvicultura é trabalhar com a floresta, dominando técnicas e conhecendo as interações existentes entre a floresta e o ambiente, adotando o manejo florestal em regime sustentado, objetivando o uso múltiplo das florestas, com a produção concomitante de benefícios materiais e imateriais (SCHNEIDER; SCHNEIDER, 2006). Sendo os benefícios diretos, decorrentes dos produtos diretos que as florestas produzem, como a madeira principalmente. Entre os benefícios indiretos gerados pela presença da floresta estão a regularização do clima local, valor estético em consonância com a paisagem local, ou seja, em certos lugares ou ocasiões, eles são mais importantes que os diretos (TAYLOR, 1969).

Sem a presença das plantações com espécies exóticas, certamente estaria comprometida a manutenção das florestas naturais, pois muito maior seria a pressão sobre as mesmas, considerando o baixo conhecimento silvicultural que atualmente existe a respeito de plantios comerciais com o uso de muitas das espécies nativas. Assim, considerando o volume de pesquisas que existem para outras essências exóticas plantadas na região sul do Brasil, para o *Pinus taeda*, estas, são

relativamente escassas, fazendo com que pessoas desinformadas sintam-se habilitadas a fazer inferências sobre possíveis impactos negativos do cultivo da espécie aos ecossistemas locais, principalmente ao campo nativo, esquecendo de considerar os severos danos ambientais, principalmente ao solo, à água e à vegetação, das práticas agrícolas desordenadas que vêm ocorrendo na região (Schumacher et al., 2002).

Para se alcançar altas taxas de produtividade, com a adoção de técnicas silviculturais intensivas, proporcionando o uso eficiente e preciso dos recursos naturais disponíveis, é imprescindível o conhecimento dos diversos fatores relacionados ao desenvolvimento das árvores, como a ciclagem de nutrientes em sucessivas rotações, pois a manutenção da capacidade produtiva do sítio depende das condições ambientais, da espécie utilizada e, principalmente, das práticas de manejo adotadas (CALDATO, 2011).

Nesse sentido, as pesquisas sobre os ciclos biogeoquímicos dos nutrientes de uma floresta são de fundamental importância, possibilitando a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazo, permitindo a adoção de medidas que garantam a sustentabilidade das plantações comerciais de *Pinus taeda*, na região dos Campos de Cima da Serra. Considerando o exposto até aqui, propõe-se a presente Tese, à colaborar no esclarecimento dos aspectos relacionados a dinâmica nutricional em plantações de *Pinus taeda* L.. Para tanto, o trabalho, se estrutura em 7 Capítulos temáticos: Aspectos gerais; Caracterização geral da área experimental; Distribuição da precipitação, fluxos e variação de nutrientes; Concentração de nutrientes na solução do solo; Biomassa e estoque de nutrientes; Produção de serapilheira e devolução de nutrientes; Aspectos nutricionais e ecológicos sob diferentes intensidades de utilização da biomassa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi, caracterizar os fluxos e estoques de nutrientes, e estudar os impactos da utilização da biomassa, em um povoamento de *Pinus taeda* L. com 18 anos, em Cambará do Sul. RS.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) Estudar a distribuição da água da chuva no povoamento, por meio da quantificação da precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa;
- b) Quantificar o fluxo de cátions e ânions na água da chuva antes e depois de passar pela copa das árvores;
- c) Comparar as propriedades químicas da solução do solo no povoamento e em área de pastagem;
- d) Quantificar a biomassa acima do solo e o estoque de nutrientes no povoamento;
- e) Quantificar a deposição e a devolução de nutrientes por meio da serapilheira no povoamento;
- f) Caracterizar o estoque e o fluxo dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e analisar as implicações nutricionais e ecológicas na produção de *Pinus taeda* L.
- g) Avaliar o impacto das diferentes intensidades de uso da biomassa sobre o estoque de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg) do sistema.

1.3 Revisão de literatura

1.3.1 O gênero *Pinus* e sua importância econômica

A família Pinaceae compreende 9 gêneros e 210 espécies. No gênero *Pinus* existem cerca de 90 diferentes espécies, as quais ocorrem naturalmente na América do Norte, Europa, Ásia, Norte da África e Malásia, entre outros. Dentre as principais espécies deste gênero destacam-se, devido à extensão de seus plantios, o *Pinus palustris* Mill. e *Pinus elliottii* Engelm, que ocorrem na América do Norte (SELLE, 1993). No Brasil, o gênero *Pinus* foi introduzido por volta de 1954, visando substituir a madeira de *Araucaria angustifolia*. Seus plantios foram acelerados a partir de 1966/67, com a implantação da política de incentivos fiscais (SUASSUNA, 1977). Atualmente, a área plantada com pinus em todo o país ultrapassa os 1,6 milhões de

hectares, constituindo-se na segunda espécie florestal mais plantada no Brasil, com 25,2% (ABRAF, 2012).

É uma espécie de rápido crescimento e destina-se principalmente ao abastecimento de indústrias de papel e celulose, madeira para construções, laminados e móveis e fins energéticos em forma de lenha, além da resina com significativa participação econômica no setor florestal brasileiro (EMBRAPA, 1997). Na região sul do Brasil, as plantas chegam a cerca de 20 m de altura e 1 m de DAP, sustentam uma copa densa, composta por folhas aciculares e verde-escuras, que se reúnem de 3 por fascículo e medem de 15 a 20 cm de comprimento; as sementes são aladas e medem cerca de 5 mm (MARCHIORI, 1996; LORENZI et al., 2003).

Oriundo das planícies adjacentes ao Golfo do México e Costa Atlântica do sudoeste dos Estados Unidos, o *Pinus taeda* cresce em geral até a altitude de 800 m. Embora coincidente com a área original do *Pinus elliottii* apresenta uma distribuição mais ampla, alcançando o Texas, Arkansas, Tennessee e Virginia, onde é conhecido por “Loblolly pine” (MARCHIORI, 1996). Trata-se da espécie madeireira mais importante dos Estados Unidos na atualidade. No sul do Brasil é cultivado, sobretudo nas terras mais altas da serra gaúcha e planalto catarinense.

Na região de ocorrência natural do *Pinus taeda* L., entre as latitudes 28° e 39° N e longitudes 75° a 97° W. a precipitação média anual varia de 900 a 2200 mm, com boa distribuição durante o ano ou estacional com até dois meses de seca. A temperatura média anual varia de 13° a 19° C, com a média das máximas do mês mais quente entre 20 e 25°C e a média das mínimas do mês mais frio entre 4 e 8°C. A área de ocorrência natural do *Pinus taeda* é dividida em duas partes. A área maior ocorre ao leste do rio Mississippi, formando populações contínuas, que vão do Mississippi até Delaware. A oeste do rio Mississippi ocorre uma população isolada, em uma região sujeita a secas mais prolongadas, no Texas (SCHUMACHER et al., 2005).

Conforme Kronka et al. (2005), a característica dos povoamentos de *Pinus*, atualmente implantados, é de diversidade em termos de espécies, idades e produtividade. A madeira, com alburno amarelo é utilizada como matéria-prima em indústrias de laminados, chapas, aglomerados, celulose, serrarias e móveis. Backes; Irgang (2004) postulam que o *Pinus taeda* plantado no sul do Brasil, especialmente nas regiões dos campos de altitude, é um dos poucos empreendimentos econômicos que apresentam viabilidade de execução com possibilidade de retorno.

Segundo a ABRAF (2012), a área total de plantações no Rio Grande do Sul é de 445.004 hectares, desta, o gênero *Pinus* cobre uma área de cerca de 164.806 hectares, correspondendo a 10% da área plantada no país. As plantações distribuem-se principalmente nas regiões da Serra do Nordeste, litoral e Serra do Sudeste (AGEFLOR, 1991).

A exploração do pinus no Brasil tem sido ao longo das últimas décadas a grande impulsionadora da atividade florestal no sul do país. À medida que se aumentaram as restrições quanto ao uso de madeiras de espécies nativas por parte dos órgãos de proteção ao meio ambiente (IBAMA, ONG's, etc.), necessitou-se de uma formulação que solucionasse a questão entre atender o mercado consumidor e o impasse quanto à conservação dos recursos florestais, sendo assim, o gênero foi o grande achado para a conciliação entre dois paradigmas, e configura atualmente, como uma das forças econômicas desta região.

Conforme Caron Neto (2001), o principal emprego para a madeira de *Pinus*, vem a ser para a produção de celulose e papel, onde 51% do volume da produção vai pra este fim e 31% para o setor energético, sendo que em média a produção gira em torno de 93.800.000 m³ ano⁻¹ no Brasil. As perspectivas futuras são de um aumento de demanda no consumo numa taxa média de 10% ao ano, devido à expansão da base industrial e aos novos enfoques de gestão dos recursos florestais, onde considera-se a floresta como unidade de produção ou negócios, que através de programas de extensão rural tem disseminado a técnica da silvicultura, como mais um agregado na utilização de pequenas e médias propriedades e principalmente visando a redução ao máximo no uso de madeiras nativas.

Historicamente o setor florestal brasileiro pode ser caracterizado com base em três fases distintas. Nas décadas de 1960 a 1980 ocorreu a formação da base florestal, resultante da política de incentivos fiscais, nas décadas de 1980 a 2000 aconteceu a profissionalização do setor e na terceira fase até 2010 ocorreu a consolidação internacional do Brasil no setor de plantações comerciais, com a ampliação das áreas plantadas e o desenvolvimento tecnológico que proporcionou um ganho de produtividade. Em oposição ao setor florestal existem questões como a falta de infraestrutura, custo da terra, carências de políticas públicas, demora nos processos de licenciamento ambiental, movimentos socioambientais, entre outros. A curto e médio prazo existe uma tendência de aumento da área de plantações comerciais impulsionada pela intensificação da migração de investidores para o

hemisfério sul, pela consolidação das novas fronteiras florestais brasileiras e pelo desenvolvimento de novos mercados, como as biorrefinarias e as bioenergéticas (ABRAF, 2012).

Segundo Caron Neto (2001), as perspectivas futuras são de um aumento de demanda no consumo de madeira devido à expansão da base industrial e aos novos enfoques de gestão dos recursos florestais, onde considera-se a floresta como unidade de produção ou negócios, que através de programas de extensão rural tem disseminado a técnica da silvicultura, como mais um agregado na utilização de pequenas e médias propriedades e principalmente visando a redução ao máximo no uso de madeiras nativas. Assim pode-se dizer que sem a existência de plantações com espécies arbóreas exóticas, certamente estaria comprometida a manutenção das florestas naturais, pois muito maior seria a pressão sobre as mesmas, considerando o baixo conhecimento silvicultural que atualmente existe a respeito de plantios comerciais com o uso de muitas das espécies nativas.

1.3.2 Campos de Cima da Serra

Na região localizada no nordeste do Estado Rio Grande do Sul, os campos de altitude ocupam uma área de 9.196 km², abrangendo Cambará do Sul, São Francisco de Paula, Jaquirana, São José dos Ausentes e Bom Jesus. Estes, tem servido de suporte ao desenvolvimento econômico da região, a pecuária e ao turismo, baseado nas potencialidades dos recursos naturais. Para Marchiori (2002), existe certa divergência terminológica nas classificações da vegetação do Rio Grande do Sul. Sem um sólido embasamento, deve-se utilizar a tradicional denominação de campos, como sugerido inicialmente por Lindman e depois por estudiosos da vegetação brasileira como Balduino Rambo.

Rambo (1994), em sua descrição da fisionomia do Rio Grande do Sul, destaca a beleza dos campos, dominados por gramíneas que cobrem as coxilhas. Nesse relevo característico, a grama baixa e intensamente verde, mesmo no verão, se desenvolve sobre uma camada rasa de solo que por sua vez fica assentada na rocha. A constante presença da umidade, provinda da cerração rica em nutrientes, garante a sustentação de um grande número de espécies características da região.

Conforme Nabinger (2008), atualmente a pesquisa tem adotado uma postura mais analítica e explicativa de seu funcionamento como ecossistema. As características do solo e clima onde estão assentados esses campos possibilitam uma diversidade florística ímpar em todo o mundo, com grande diversidade. Apresenta, portanto, vegetações com características extremamente diferenciadas em termos de adaptação ao meio físico e também ao manejo. Os campos apresentam alta diversidade de espécies vegetais nativas, com a ocorrência de aproximadamente 800 espécies de gramíneas e 200 espécies de leguminosas (PALLARÉS et al., 2005).

Entre as famílias presentes, destacam-se Gramineae (Poaceae), Leguminosae (Fabaceae) e Compositeae (Asteraceae). Entre as espécies de Gramíneas mais comuns na fisionomia, destacam-se *Andropogon lateralis* (capim-caninha), *Axonopus* spp. (grama), *Aristida* spp. (capim-barba-de-bode), *Erianthus trinii* (macega-estaladeira), *Paspalum* spp. (capim), *Piptochaetium montevidensis* (cabelo-de-porco), *Eragrostis* sp. (capim-orvalho) e *Panicum cf. sabulorum* (capim). No que se refere a ervas de outras famílias, destacam-se as Leguminosas das quais podemos assinalar *Desmodium* sp. (pega-pega), *Rhynchosia* sp., *Crotalaria* spp., *Lupinus* spp., etc. A família Compositeae, possui ervas de pequeno porte, como *Aspilia montevidensis* (margarida-do-campo), *Trichocline catharinensis* (cravo-do-campo), *Spilanthes* sp., *Gamochaeta* sp.. Os campos quando abandonados podem ser ocupados por vegetação arbustiva, destacando-se espécies do gênero *Baccharis* (*B. uncinella*, *B. articulata*, *B. dracunculifolia*) e dos gêneros *Eupatorium* e *Vernonia* (BRACK et al., 2008).

A base para a gestão sustentável desse ambiente está firmada no conhecimento de diversos fatores, como variáveis ambientais, dinâmica da vegetação, interações entre gado e vegetação e, principalmente, a adoção de um manejo adequado pelos pecuaristas (PALLARÉS et al., 2005). A pecuária desembarcou nesse ecossistema, em conjunto com os primeiros colonizadores. Pallarés et al. (2005) e Porto (2002) salientam a importância dos campos, na produção de carne e também como um reservatório de espécies gramíneas e leguminosas. Pesquisas indicam que o potencial das pastagens naturais é muito alto, quando comparado a pastagens cultivadas. Com o desenvolvimento dos estudos sobre o comportamento das espécies nativas, será possível conservar e

melhorar as áreas de campo através da introdução de espécies geneticamente melhoradas e manejo diferenciado.

1.3.3 Ciclagem de nutrientes

A ciclagem de nutrientes em florestas ou mesmo em plantações pode ser avaliada através da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos ou estágios de desenvolvimento e a quantificação das taxas de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos. Podem ser considerados como compartimentos a biomassa aérea das árvores, a serapilheira acumulada sobre o solo, a biomassa das raízes, a vegetação do sub-bosque e o solo (POGGIANI; SCHUMACHER, 2000).

A manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo bem como da produtividade de biomassa das plantações esta ligada diretamente ao processo de ciclagem de nutrientes. Os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são a produção de serapilheira, a lavagem da vegetação pela chuva, que extrai substâncias minerais e orgânicas das estruturas da parte aérea e a decomposição da biomassa morta que inclui a serapilheira e raízes (SANCHEZ, 1976; GONZÁLEZ; GALLARDO, 1986).

Na Figura 1.1 verifica-se um esquema básico de manutenção de nutrientes na floresta. Observa-se que uma parte dos nutrientes é oriunda da entrada de poeiras e da chuva, os quais são, em parte, absorvidos pelas folhas. Os nutrientes que chegam ao solo, neste processo, são provenientes da lavagem das copas (poeira fixada nas folhas e galhos) e lixiviação dos estômatos, também diretamente das partículas em suspensão no ar e dos nutrientes contidos na própria água da chuva. Em relação às árvores, em específico, descontado os nutrientes que são imobilizados nas mesmas, ou os que circulam internamente, parte é devolvida ao solo via serapilheira, a qual decompõem formando o húmus e reabastecendo o estoque de minerais deste solo. Afora as perdas que ocorrem via lixiviação do solo, os demais nutrientes poderão ser reabsorvidos ou ficarem acumulados no solo, presos a substâncias húmicas.

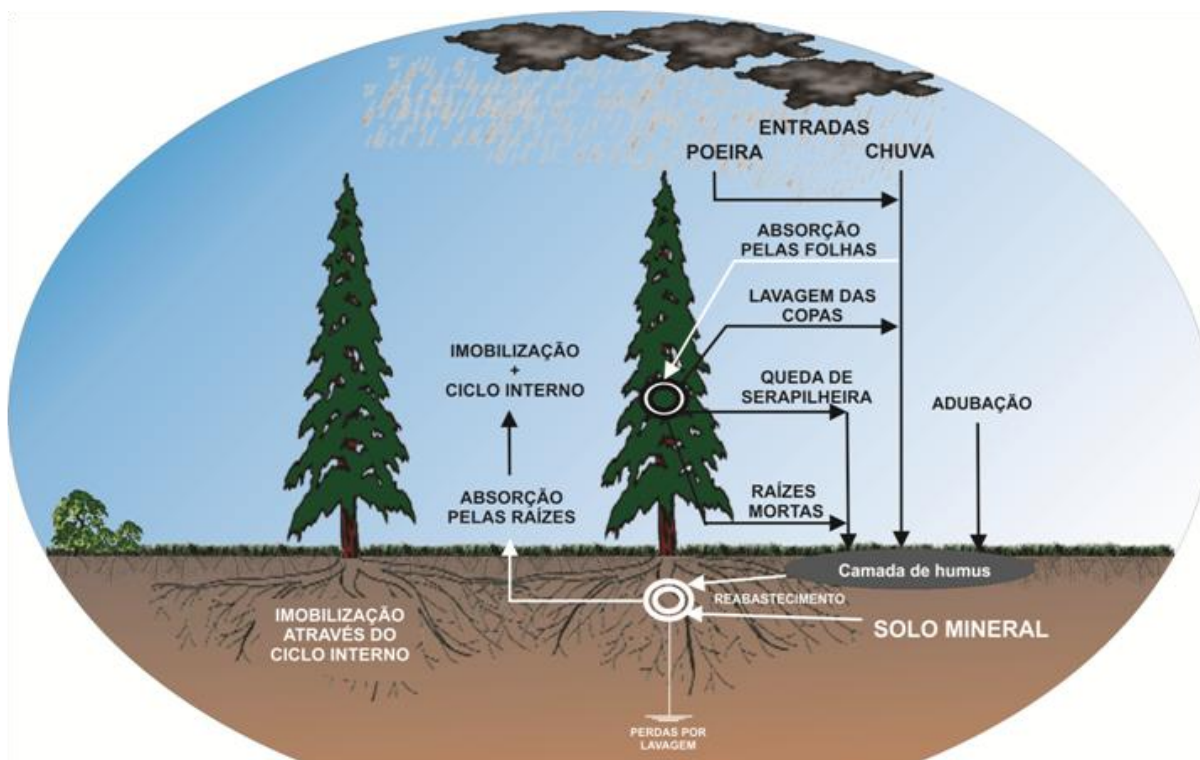


Figura 1.1 - Representação esquemática do ciclo de nutrientes em um ecossistema florestal. Fonte: Adaptado pelo autor, de Miller (1984).

O processo de ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais pode ser caracterizado de três formas: ciclo geoquímico, caracterizado pelas entradas (entradas atmosféricas, fixação biológica de nitrogênio, intemperismo do material de origem e fertilização) e saídas (erosão, lixiviação, fogo e colheita); ciclo biogeoquímico, caracterizado pelas relações entre o solo e a planta; ciclo bioquímico, caracterizado pela translocação de nutrientes no interior da árvore, dos tecidos velhos para os novos, é importante para a manutenção dos nutrientes de maior mobilidade como N, P, K e Mg e de menor importância para nutrientes como Ca, S e micronutrientes pouco móveis (SWITZER; NELSON, 1972).

A ciclagem biológica de nutrientes é um processo importante na nutrição de *Pinus* sp., de forma que os fluxos de entrada, saída e armazenamento de nutrientes nos horizontes orgânicos estão sendo estudados e levados em consideração nas decisões de manejo (REISSMANN; WISNIEWSKI, 1999). Na ciclagem biológica, o fluxo mais estudado tem sido a produção de serapilheira e a devolução de nutrientes. As estimativas mostram que a produção de serapilheira poderá variar

entre 6,4 e 9,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (DELITTI, 1984; POGGIANI et al., 1987; SOAVE; PAGANO, 1994; WISNIEWSKI; REISSMANN, 1996).

O papel da floresta no equilíbrio dos ecossistemas sempre ocupou lugar de destaque. No entanto, a floresta exerce influência importante na vida urbana e rural, embora somente nas últimas décadas tenha sido dada a devida atenção sobre a influência que promovem sobre o clima, solo e água, motivada provavelmente pela crescente industrialização e urbanização. A importância das florestas no balanço hídrico não está ligada ao aumento da água no solo, ou da precipitação, mas ao efeito regulador que as florestas exercem sobre esse balanço (LIMA, 2010).

“A realização de pesquisas científicas é fundamental para orientar metodologias de manejo de florestas plantadas, com vistas à conservação dos recursos hídricos” (LIMA, 2010, p. 27). No mesmo sentido, torna-se muito importante o monitoramento dos fluxos de nutrientes entre os diferentes compartimentos da floresta, de forma a avaliar o grau de impacto que a ação do homem poderá ter sobre o mesmo. Além disso, principalmente em plantações comerciais, devem-se dosar as intervenções a serem realizadas, de forma a não causar efeitos que comprometam, a longo prazo, a capacidade produtiva dos solos.

1.4 Referências

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2011. Brasília. 2012. Disponível em: <(http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp)>. Acesso em: 20 de dezembro de 2012.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS - AGEFLOR. Florestas plantadas privadas. In: SEMINÁRIO SOBRE A SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL. 1º, Santa Maria **Anais...**: UFSM, 1991. 179 p.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores cultivadas no sul do Brasil: guia de identificação e interesse paisagístico das principais espécies exóticas**. 1. Ed Porto Alegre: Serafinense, 2004. 204 p.

BRACK, P. et al. **Levantamento preliminar da flora e da vegetação do vale do rio Pelotas, no município de Bom Jesus, RS**. Disponível em: (http://www.inga.org.br/docs/levantamento_preliminar_vegetacao_paiquere.pdf) > Acesso em: 15 de dezembro de 2008.

CALDATO, S. L. **Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste argentino**. 2011. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CARON NETO, M. *Pinus* conquista espaço na região sul. **Revista da Madeira**, n. 58, p. 24 – 28, 2001.

DELITTI, W. B. C. **Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de *Pinus elliottii* var. *elliottii***. São Paulo, 1984. 298 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Botânica, Universidade de São Paulo, 1984.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais e sistemas agroflorestais com Erva-mate, eucalipto e pinus e as culturas do feijão, milho, soja e trigo**. Colombo – PR, 1997. (Circular Técnica, 26).

GONZÁLEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de edafología y agrobiología**. p. 1130-1157, 1986.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; REINALDO, H. P. **A cultura do *Pinus* no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 160 p.

LIMA, W. P. Impacto ambiental das florestas plantadas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS. Teresina, PI, 2007. **Anais eletrônicos...** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2007. Disponível em: <<http://www.cпамn.embrapa.br/agrobioenergia/palestras/IMPACTO%20AMBIENTAL%20DAS%20FLORESTAS%20PLANTADAS%20.PDF>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

LIMA, W. P. **A silvicultura e a água : ciência, dogmas, desafios**. Rio de Janeiro: Instituto BioAtlântica, Cadernos do Diálogo, v. 1, 2010. 64 p.

LORENZI, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. São Paulo: Nova Odessa, 2003. 384 p.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 158 p., 1996.

MARCHIORI, J. N. C. Considerações terminológicas sobre os campos sulinos. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria: UFSM, v. 24, p. 139-150, 2002.

MILLER, H. G. Nutrient cycles in birchwoods. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 853: 83-96. 1984.

NABINGER, C. **Manejo de campo nativo na região sul e a viabilidade do uso de modelos**. Disponível em:

(<http://www.urcamp.tche.br/ccr/pg/recursos/recursos/apostilarecursosgeneticos/Apostila%20Campos%20Nabinger.pdf>) > Acesso em: 25 de dezembro de 2008.

PALLARÉS, O. R.; BERRETTA, E. J.; MARASCHIN, G. E. The South American Campos ecosystem. In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G.; BATELLO, C. (Eds.) **Grasslands of the World**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2005.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JÚNIOR, E. M.; GAVA, I. C. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração de xisto betuminoso. **IPEF**, v. 37, p. 21-29, 1987.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 287 – 308.

PORTO, M. L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria: UFSM, v. 24, p. 119-138, jan./jun. 2002.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. 3. ed São Leopoldo: UNISINOS, 1994. 473 p.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: **SIMPÓSIO DE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL**. Piracicaba. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. ESALQ/USP. 1999.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley and Sons, 1976. 409p.

SEITZ, R. A. Silvicultura, arte e ciência. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria: UFSM, v. 20, p. 35-43, 2000.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: FACOS, 2006. 526 p.

SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; KÖNIG, F. G. **Aspectos ecológicos, econômicos e sociais do *Pinus taeda* L.** (Relatório de Pesquisa). Santa Maria: UFSM/CEPEF, 24 p., 2002.

SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. M.; CALIL, F. N. **Caderno didático de Silvicultura Especial**. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 105 p., 2005.

SELLE, G. L. **Influência de fatores ambientais na classificação de sítio para *Pinus taeda* L., na região de Cambará do Sul, RS, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Santa Maria: UFSM, 1993. 105 p.

SOAVE, R. C. F.; PAGANO, S. N. Aspectos da ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* aplicando-se a diferentes técnicas de extração de resina. I – Produção de serapilheira. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 37, n. 3, p. 703-709. 1994.

SUASSUNA, J. A cultura do Pinus: uma perspectiva e uma preocupação. **Brasil Florestal**. Brasília, n. 29, p. 15 – 30, 1977.

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

TAYLOR, C. J. **Introdução à silvicultura tropical**. São Paulo: E. Blücher, 1969. 201 p.

WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa, PR. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 39, n. 2, p. 435-442, 1996.

2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL

2.1 Localização da área de estudo

O presente estudo foi realizado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, região fisiográfica dos Campos de Cima da Serra (Figura 2.1), no município de Cambará do Sul, na Fazenda Guabiroba. As plantações de *Pinus taeda* L., pertenciam à empresa Cambará Celulose e Papel S.A.

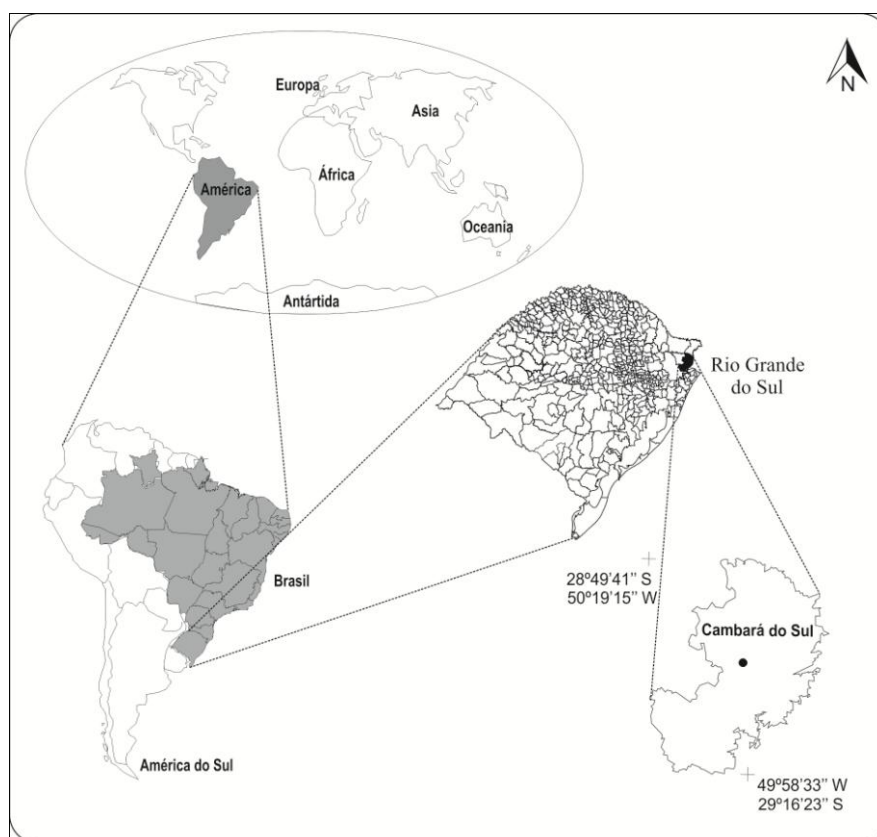


Figura 2.1 - Localização do município de Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

As plantações da empresa estavam situadas em um raio médio de 25 km da fábrica, e a área do estudo localizava-se, a aproximadamente, 15 km da fábrica, sob as coordenadas geográficas de 29° 04' 51,77" de latitude Sul e 50° 06' 27,99" de longitude Oeste. A altitude no local era de 980 m. A distância, em linha reta, até o

Oceano Atlântico, era de, aproximadamente, 47 km. Na Figura 2.2 foi representada a imagem da área onde o experimento foi instalado.

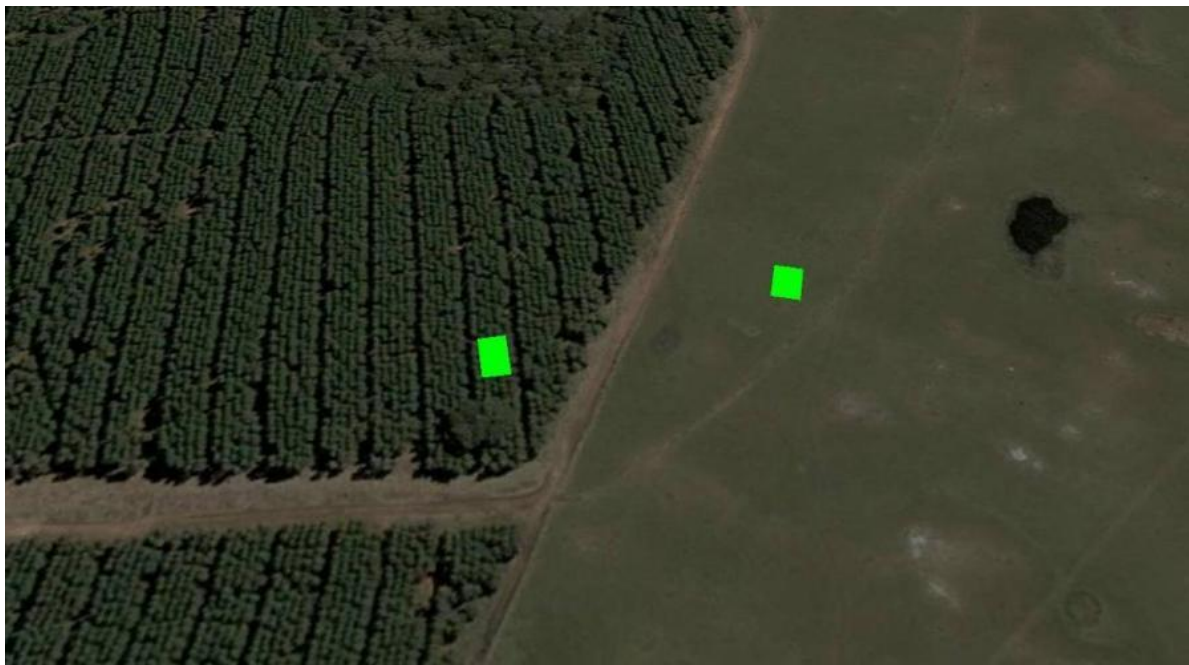


Figura 2.2 - Croqui de localização da área experimental, com destaque para a área no interior do povoamento de *Pinus taeda* L. e no campo adjacente. Cambará do Sul, RS. Fonte: Adaptado pelo autor, de Google Earth (2008).

2.2 Caracterização da área de estudo

2.2.1 Clima

Conforme dados da estação meteorológica de Cambará do Sul (INMET, 2013), no período de agosto/2006 – julho/2010, a precipitação média era de 179 mm mensais ou 2.143,47 mm por ano, bem distribuída durante o ano, com o valor médio de 16 dias de chuva por mês.

A temperatura média anual era de, aproximadamente, 14,6 °C, sendo que a média das máximas era de 20,6 °C e a média das mínimas de 9,9 °C, observados na estação meteorológica de Cambará do Sul, no período de agosto/ 2006-julho/2010 (Figura 2.3). Os ventos dominantes na região eram alísios, ou seja, sopravam do mar para a terra, pelo fato de a região estar situada próxima ao litoral norte do estado. No período do estudo, a velocidade média dos ventos era de 1,7 m

s^{-1} e velocidade média máxima de $6,5 \text{ m s}^{-1}$ (INMET, 2013). Segundo a classificação de Köppen, o tipo de clima predominante na região era o Cfb (temperado úmido). Na Figura 2.4 foi representada a média história no período de 1961-1990 para o balanço hídrico climatológico na região onde se localizava o estudo.

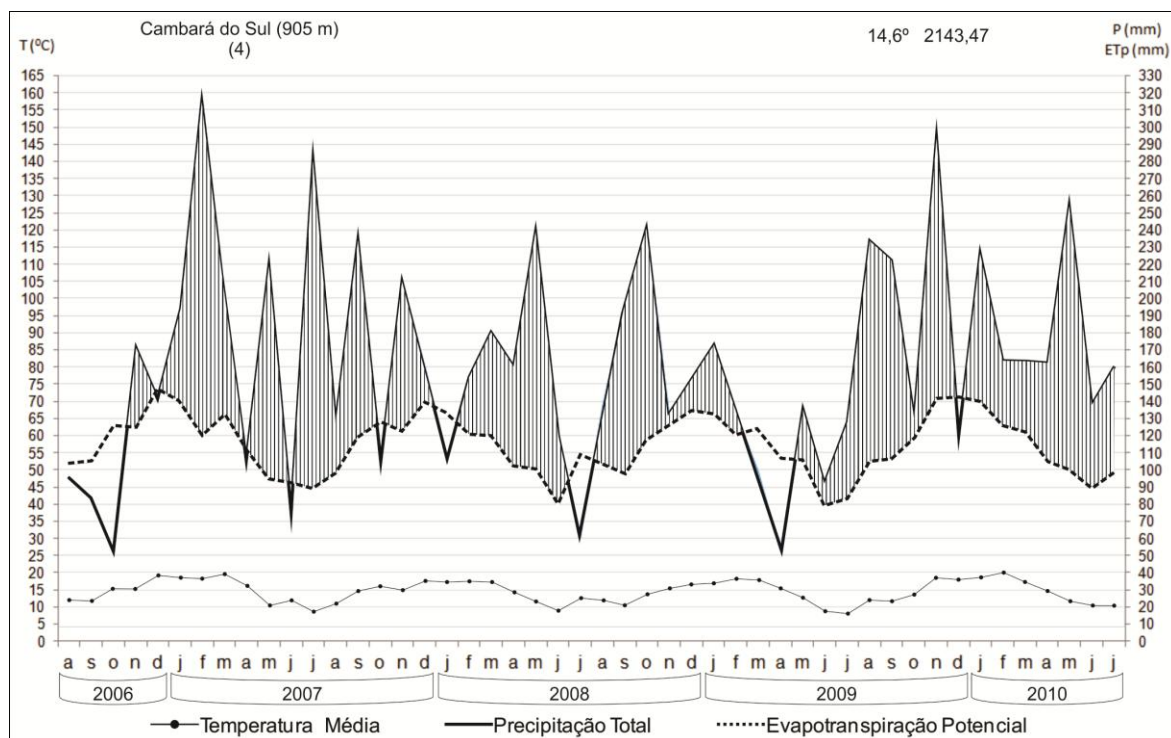


Figura 2.3 - Climadiagrama da região de Cambará do Sul, elaborado segundo Walter (1986). Fonte: Adaptado pelo autor de INMET (2013).

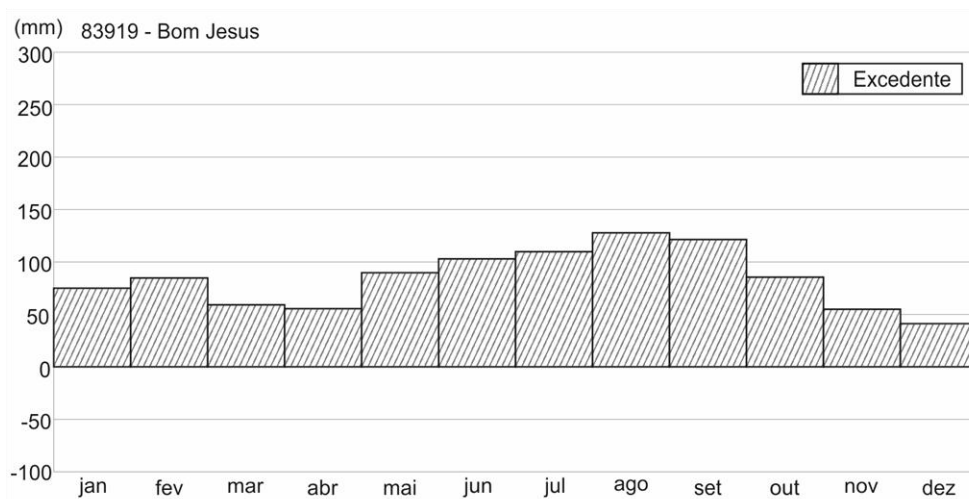


Figura 2.4 - Média histórica no período de 1961-1990 para o Balanço hídrico climatológico, a partir de dados obtidos em Bom Jesus, na mesma região do presente estudo. Fonte: Adaptado pelo autor de INMET (2013).

2.2.2 Solo

Os materiais de origem do solo eram rochas basálticas resultantes do derrame basáltico do Triássico Superior, predominando solos rasos com horizonte A de coloração escura, com baixa saturação de bases e teores elevados de alumínio trocável (BRASIL, 1973). O solo da área do estudo apresentou profundidade média de 40 cm, não sendo possível a retirada de amostras das camadas mais profundas pela constante presença de rochas. Na Figura 2.5 é possível verificar o aspecto do sistema radicular desenvolvido no solo raso da área em estudo, com destaque para a presença de rochas que em muitos casos ocasionavam o desenvolvimento superficial do sistema radicular das árvores, tornando-as mais susceptíveis ao tombamento ocasionado por ventos fortes.

O solo da região pertence a Unidade de Mapeamento Bom Jesus, sendo classificado como Cambissolo Húmico alumínico típico. Segundo Streck et al. (2008) os solos dessa região são caracterizados por uma cor escura, devido ao acúmulo de matéria orgânica no horizonte superficial e por serem fortemente ácidos, com saturação e soma de bases baixa e teores trocáveis de $Al \geq 4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e saturação de $Al \geq 50\%$.



Figura 2.5 - Aspecto do sistema radicular do *Pinus taeda* L. estabelecido em solo raso, com a presença de camada rochosa, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

2.2.3 Caracterização do povoamento

A área do plantio, identificado como Projeto Cambará 29, localizado na Fazenda Guabiroba, foi implantado no ano de 1993, no período de agosto a dezembro. Foram utilizadas mudas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes e a partir de sementes oriundas de uma área de produção de sementes da empresa Rigesa. O espaçamento utilizado na implantação do povoamento foi de 3 m x 2 m. O plantio foi realizado sem adubação, com coveamento manual, seguido pelo coroamento manual.

A primeira desrama aconteceu de agosto a setembro de 1997, até uma altura de 1,70 m (60 % da altura) em 100 % das árvores. Nos meses de julho a dezembro de 1999, foi realizada a segunda desrama, até 4,5 m de altura em 2/3 das árvores. Foram feitos dois desbastes, em 2003 com a retirada de 120 mst ha⁻¹ e outro em 2008, com a retirada de 130 mst ha⁻¹. Aos 18 anos de idade, no momento da coleta dos dados de biomassa em abril de 2011, restavam no plantio 701 árvores por hectare com diâmetro médio de 29,4 cm, altura média 19,3 m, altura dominante de 19,9 m, área basal de 48,5 m² ha⁻¹, volume com casca de 460,8 m³.

2.2.4 Caracterização da pastagem

A pastagem natural é caracterizada pela presença de vegetação nativa, gramíneo-lenhosa, ocorrendo em associação aos solos rasos e submetidas a queimadas constantes. Os distintos estágios da vegetação estão diretamente associados a atividade da pecuária, predominante na área. (BRACK et al., 2008).

Na área, predomina a criação de gado de corte no sistema de pecuária extensiva. A lotação, nesses campos, varia entre 0,3 a 0,5 cabeças por hectare, delimitada pelo período de inverno onde a vegetação apresenta-se em período hibernar. A prática das queimadas é usual nessa região, visando à limpeza das áreas após o inverno. Esse método aliado à não-fertilização e à alta pressão em épocas desfavoráveis, ocasiona uma sensível diminuição de espécies forrageiras de boa qualidade (PORTO, 2002).

Porto (2002) relata que as espécies mais comuns e de valor forrageiro são *Schizachyrium tenerum*, *Trachypogon polymorphum*, *Axonopus compressus*, *Bromus auleticus*, *Piptochaetium ruprechtianum* e *Trifolium riograndense*. A maior

taxa de crescimento da vegetação ocorre durante o período de primavera, durante o inverno ocorre o período crítico, ocasionado pelas baixas temperaturas.

2.3 Referências

BRACK, P. et al. **Levantamento preliminar da flora e da vegetação do vale do rio Pelotas, no município de Bom Jesus, RS.** Disponível em:

(http://www.inga.org.br/docs/levantamento_preliminar_vegetacao_paiquere.pdf) >
Acesso em: 15 de dezembro de 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica DNPEA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

GOOGLE Earth Beta (v4.0.25XX), **Imagem de Cambará do Sul**, 2005. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 05/12/2008.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2013.

PORTO, M. L. Os campos sulinos: sustentabilidade e manejo. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria: UFSM, v. 24, p. 119-138, jan./jun. 2002.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed, revisada e ampliada, Porto alegre: EMATER/RS, UFRGS, 2008, 222 p.

WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global.** São Paulo: EPU, 1986.

3 DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, FLUXOS E VARIAÇÃO DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L. COM 18 ANOS

Resumo

A fertilidade dos ecossistemas florestais, mesmo em plantios comerciais, está intimamente associada à entrada de nutrientes pela deposição atmosférica com ênfase na água da chuva. Após passar pela copa das árvores, a água, sofre alterações na sua composição química, além de percorrer diferentes caminhos até sua chegada ao solo. Nesse sentido os objetivos do presente estudo foram: a) Analisar a distribuição quantitativa da precipitação pluviométrica em um povoamento de *Pinus taeda* L. por meio da precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa; b) Quantificar quali-quantitativamente o fluxo de cátions e ânions na água da chuva antes e depois de passar pela copa das árvores. O presente estudo foi realizado no município de Cambará do Sul, na Fazenda Guabiroba. A plantação comercial de *Pinus taeda* L. foi implantada no ano de 1993, com um espaçamento de 3 m x 2 m. Para quantificação e amostragem da precipitação pluviométrica e interna, assim como do escoamento pelo tronco, foram utilizados 9 coletores. A água contida nos coletores foi quinzenalmente quantificada, e amostrada. As amostras foram congeladas e enviadas ao laboratório para análise química, sendo determinado o pH e os seguintes íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , SO_4^{2-} e Cl^- . Os dados aqui apresentados se referem a um período de 4 anos, compreendidos entre agosto de 2006 a julho de 2010. O volume médio de precipitação pluviométrica na área de estudo foi de 2081,5 mm ano⁻¹. No povoamento, a precipitação interna foi de 1280,1 mm ano⁻¹, no escoamento pelo tronco de 89,0 mm, totalizado 1369,1 mm ano⁻¹ de (Pi+Et), significando uma interceptação pela copa média de 712,4 mm ano⁻¹ (34,2 %). O aporte total anual de cada nutriente seguiu a ordem decrescente: Cl > Na > K > S > Ca > N > Mg > P. O aporte anual (kg ha⁻¹ ano⁻¹) via (Pi+Et) foi de 29,39 (Cl), 21,73 (Na), 18,04 (K), 17,02 (S), 9,82 (Ca), 5,64 (N), 3,44 (Mg) e 0,84 (P). As copas das árvores são responsáveis pela interceptação de parte da água que incide no povoamento, diminuindo a quantidade de água que chega ao solo. A interação com a copa das árvores, aumenta os valores do pH da água que chega ao solo sob o povoamento. A passagem da água pela copa das árvores proporciona um aumento substancial na quantidade de potássio, e em menores quantidades, em ordem decrescente, para o magnésio, cloro, enxofre, sódio e cálcio. O incremento percentual de íons na (Pi+Et) ocorreu na seguinte ordem: K (309%) > Mg (169 %) > Cl (127%) > S (125%) > Na (112%). A interação da copa das árvores, com a água da precipitação pluviométrica, diminuiu os valores de N (-66%) e P (-54%) que chegam ao solo do povoamento.

Palavras-chave: Nutrição florestal. Ciclagem de nutrientes. Precipitação pluviométrica. Interceptação pela copa. Escoamento pelo tronco.

Abstract

The fertility of forest ecosystems, even in commercial plantations, is closely linked to the input of nutrients through atmospheric deposition with an emphasis on rainfall. After passing through the tree canopies, water, passes through changes in its chemical composition, and takes different ways until its arrival at the ground. In this sense the objectives of this chapter were: a) to analyze the quantitative distribution of rainfall in a stand of *Pinus taeda* L. through throughfall, stemflow and interception by the canopy; b) Quantifying qualitative and quantitatively the flow of cations and anions in rainfall before and after passing through the canopies. This study was conducted in "Cambará do Sul" in Guabiroba Farm. The commercial planting of *Pinus taeda* L. was established in 1993, with a spacing of 3 m x 2 m. For sampling and quantification of rainfall and throughfall, as well as stemflow, nine collectors were used. The water contained in the collectors was quantified fortnightly, and sampled. The samples were frozen and sent to laboratory for chemical analysis, pH and the following ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^- , NH_4^+ , SO_4^- and Cl^- were determined. The presented data refer to a period of 4 years, ranging from August 2006 to July 2010. The average rainfall in the study area was 2081.5 mm a year⁻¹. In the stand, the throughfall was 1280.1 mm year⁻¹ in the stemflow 89.0 mm year⁻¹, totaled 1369.1 mm year⁻¹ (Pi + Et), meaning an interception by canopy average of 712.4 mm year⁻¹ (34.2%). Total annual input of each nutrient followed the descending order: Cl > Na > K > S > Ca > N > Mg > P. Annual input (kg ha⁻¹ year⁻¹) through (Pi + Et) was 29.39 (Cl), 21.73 (Na), 18.04 (K), 17.02 (S), 9.82 (Ca), 5.64 (N), 3.44 (Mg) and 0.84 (P). The tree canopies are responsible for interception the part of water arrives in the stand, reducing the amount of water that reaches the ground. The interaction with the canopy increases the pH value of the water that reaches the soil under the stand. The passage of water through the canopy provides a substantial increase in the amount of potassium, and in smaller quantities, in descending order, for magnesium, chlorine, sulfur, sodium and calcium. The increase in the percentage of ions in the (Pi + Et) occurred in the following order: K (309%) > Mg (169%) > Cl (127%) > S (125%) > Na (112%). The interaction of the canopy of trees, with water from rainfall, decreased the nitrogen values (-66%) and phosphorus (-54%) reaching the stand soil.

Keywords: Forest nutrition. Nutrient cycling. Rainfall. Interception by canopy. Stemflow.

3.1 Introdução

A localização dos povoamentos de *Pinus taeda* L, em Cambará do Sul, nas proximidades do Oceano Atlântico, remete a importância do fluxo de entrada de nutrientes via precipitação e neblina, trazidas pela ação dos ventos alísios. Esta rota de entrada de nutrientes no sistema pode ser considerada de extrema relevância, na busca da sustentabilidade ambiental de tais povoamentos.

A perpetuação da fertilidade nos ecossistemas florestais depende ao longo do tempo principalmente da entrada de nutrientes através das chuvas e da liberação de novos nutrientes pelo intemperismo, sendo em longo prazo importante na renovação, do estoque de nutrientes. Em curto prazo, a manutenção da fertilidade do sítio esta preponderantemente associada a entrada de nutrientes via precipitação atmosférica (LIMA, 1985), sendo a chuva a principal via de passagem da água da atmosfera para a superfície terrestre (SILVEIRA, 1993).

Segundo Poggiani (1992), a atuação da precipitação como agente carreador está fortemente relacionada aos eventos atmosféricos, podendo deste modo levar à superfície do solo nutrientes e poluentes. O ar atmosférico é composto por gases e partículas de diversas origens, como orgânicas, químicas e sais marinhos (BERTONI; TUCCI, 1993), a natureza de seus constituintes é variável, sendo dependente da fonte e quantidade de poluição industrial, da direção dos ventos predominantes, da proximidade do mar e do uso da terra (CASTRO, 1980).

Os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são a produção de serapilheira, a lavagem da vegetação pela chuva (onde ambas extraem as substâncias minerais e orgânicas das estruturas da parte aérea) e a decomposição da biomassa morta que inclui a serapilheira e raízes (SANCHEZ, 1976; GONZÁLEZ; GALLARDO, 1986). A manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo bem como da produtividade de biomassa das florestas esta ligada diretamente ao processo de ciclagem de nutrientes, o qual garante a capacidade produtiva desses ambientes. Conforme Oliveira e Coelho Netto (2001), a água da chuva atua seguindo modos diversos e específicos nos processos de ganho de nutrientes, seja pela incidência direta sobre o solo sem interação com as copas, pela lavagem das copas ou através do escoamento pelo tronco. No primeiro caso, a entrada se dá como resultado direto da composição da água da chuva após a infiltração no solo ou em menor extensão, por

processo de absorção foliar. Na lavagem das copas, a água ao atravessar o dossel, arrasta consigo o material particulado que está depositado sobre a superfície das folhas e tecidos vegetais. Em períodos secos ocorrem maiores deposições de poeira e outros materiais particulados sobre a superfície da vegetação, ocasionando maiores modificações na composição química da água da chuva nesses períodos.

É interessante observar que a importância da precipitação como fonte de nutrientes está estreitamente ligada à sua regularidade. A água da chuva é realmente importante para a nutrição vegetal, porém, a regularidade é fundamental devido às limitações do solo na armazenagem desses nutrientes. O enriquecimento da água que atravessa o dossel resulta da lixiviação de metabólitos e exudados pelos tecidos das plantas e pela lavagem de aerossóis atmosféricos que são depositados nas suas superfícies. O grau de modificação na qualidade da água da chuva varia de lugar para lugar e com as espécies arbóreas, varia ainda através do tempo, pela disponibilidade de aerossóis e exudados das plantas e a intensidade das precipitações (WALLING, 1980). Para alguns nutrientes esta lixiviação é mais efetiva na ciclagem biogeoquímica do que a própria deposição anual das folhas, como é o caso do potássio (McCOLL, 1970). Geralmente, os nutrientes associados à moléculas orgânicas como o nitrogênio e o fósforo são menos lixiviados sendo mais reciclados através da queda das folhas.

De acordo com Martins et al. (2005), a chuva atua como um eficiente meio de remoção de gases e substâncias particuladas suspensas na atmosfera, normalmente oriundas de atividades antrópicas. Com o aumento na concentração dessas substâncias, os estudos sobre a caracterização química das chuvas tem ganhado importância nos últimos anos. Normalmente são estudados principalmente parâmetros como o pH, composição química da água, além dos efeitos sobre o solo, vegetação, recursos hídricos, assim como sua interação com elementos presentes nas cidades, devido a ocorrência de chuvas ácidas.

Os vários caminhos que a água poderá seguir num ecossistema florestal, após uma dada precipitação, podem ser subdivididos em interceptação, evaporação das superfícies úmidas, transpiração das plantas, evaporação do solo e o derrame da bacia hidrográfica, através de algum canal ou rio que a mesma possua. A interceptação pelas plantas é maior no início de uma chuva e decresce com a sua duração. No começo da precipitação, a superfície das folhas, ramos e troncos das árvores e os caules dos demais vegetais estão secos e são capazes de reter uma

quantidade considerável de umidade, sob a forma de acumulação por interceptação, mas, após ficarem completamente molhados, a taxa de interceptação pela copa torna-se igual à de evaporação destas superfícies, durante o resto da chuva que estiver precipitando (WISLER; BRATER, 1964).

A interceptação da chuva pela copa das árvores representa a imobilização da água, que poderia contribuir para o abastecimento de água ao solo, esta então fica retida pela vegetação e retorna à atmosfera através da evaporação. Segundo Andrae (1978), a interceptação pela copa é a fixação da água na superfície dos vegetais por forças de adesão e posterior liberação, via evaporação para a atmosfera. Jackson (1971) afirma que a quantidade e a intensidade da precipitação nas regiões tropicais, tem efeito considerável sobre os valores de interceptação pela copa no sentido quantitativo e qualitativo.

Além disso, fatores como as condições climáticas, o tipo e a densidade da vegetação podem interferir no processo de interceptação pela copa, da água da chuva. As folhas geralmente interceptam a maior parte da precipitação. Esta participação das folhas no processo de interceptação pela copa varia com o seu arranjo e com a fase do ciclo vegetativo que determina a quantidade de folhas presente na planta (TUCCI, 1993).

Quanto às perdas de água da chuva em florestas, Wisler e Brater (1964) relatam que para uma dada precipitação, a interceptação pela copa no verão e no inverno parece ser aproximadamente a mesma em florestas de coníferas, mas para espécies folhosas caducifólias, a interceptação pela copa no verão chega a ser de duas ou três vezes maior que a do inverno, devido à caducidade foliar de seus indivíduos ser concentrada no período frio. A interceptação pela copa em coníferas é superior a de árvores caducifólias, mesmo quando estas últimas estão com todo o seu volume de folhas.

Considerando o acima exposto, os objetivos do presente Capítulo foram: a) Analisar quantitativamente a distribuição da precipitação pluviométrica em um povoamento de *Pinus taeda* L., por meio da precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela copa; b) Quali-quantificar o fluxo de cátions e ânions na água da chuva antes e depois de passar pela copa das árvores de *Pinus taeda* L.

3.2 Material e Métodos

Para amostragem e quantificação da precipitação pluviométrica (P), foram utilizados 3 coletores, instalados a 100 m do plantio de *Pinus taeda* L., no campo adjacente, alinhados e distanciados 5 m um do outro. Os coletores eram compostos por tubos de PVC, com a abertura de coleta de 20 cm de diâmetro, posicionadas verticalmente a 150 cm de altura, a partir do solo. Internamente estes coletores possuíam a forma de um funil com um filtro, que por sua vez, foram acoplados em um reservatório com a capacidade de 6 litros (Figura 3.1B). Com base na área de captação do coletor (314,16 cm²) e no volume de água acumulada em seu reservatório, foi calculada quinzenalmente a precipitação pluviométrica (mm), para cada um dos 3 coletores.

Para determinação da precipitação interna (Pi), no interior do povoamento, foram instalados 9 coletores de água da chuva iguais aos utilizados para quantificação e amostragem da precipitação pluviométrica, diferindo apenas na disposição vertical, a 1,00 m de altura. Horizontalmente, os 9 coletores foram arranjados em 3 posições distintas, 3 na entre linha de plantio entre duas árvores, 3 na linha de plantio entre duas árvores e 3 na diagonal entre quatro árvores (Figura 3.1 A). Da mesma forma com base na área de captação do coletor (314,16 cm²) e no volume de água acumulada em seu reservatório, foi calculada quinzenalmente a precipitação interna (mm) para cada um dos 9 coletores. É importante salientar que para amostragem da precipitação pluviométrica foram utilizados 3 coletores pela maior homogeneidade devido a inexistência de vegetação sobre os mesmos. Ao contrário, no interior do pinus foram utilizados um maior número de coletores, devido a heterogeneidade das condições de amostragem, ocasionadas principalmente pela diferenças na disposição e arranjo das copas das árvores.

Para amostragem e quantificação da água do escoamento pelo tronco (Et), foram instalados 9 coletores. Estes coletores eram compostos por uma mangueira plástica presa ao tronco com espuma de poliuretano, formando uma calha, que por sua vez, era conectada a uma bombona de 50 litros onde a água ficava armazenada (Figura 3.2). Com base no número de árvores por hectare e no volume de água dos reservatórios foi calculada a quantidade, em milímetros, da água que escoou pelo tronco.



Figura 3.1 - Aspecto dos coletores da precipitação interna, instalados no povoamento de *Pinus taeda* L. (A); coletor da precipitação pluviométrica na área de campo adjacente (B). Fonte: elaborado pelo autor.

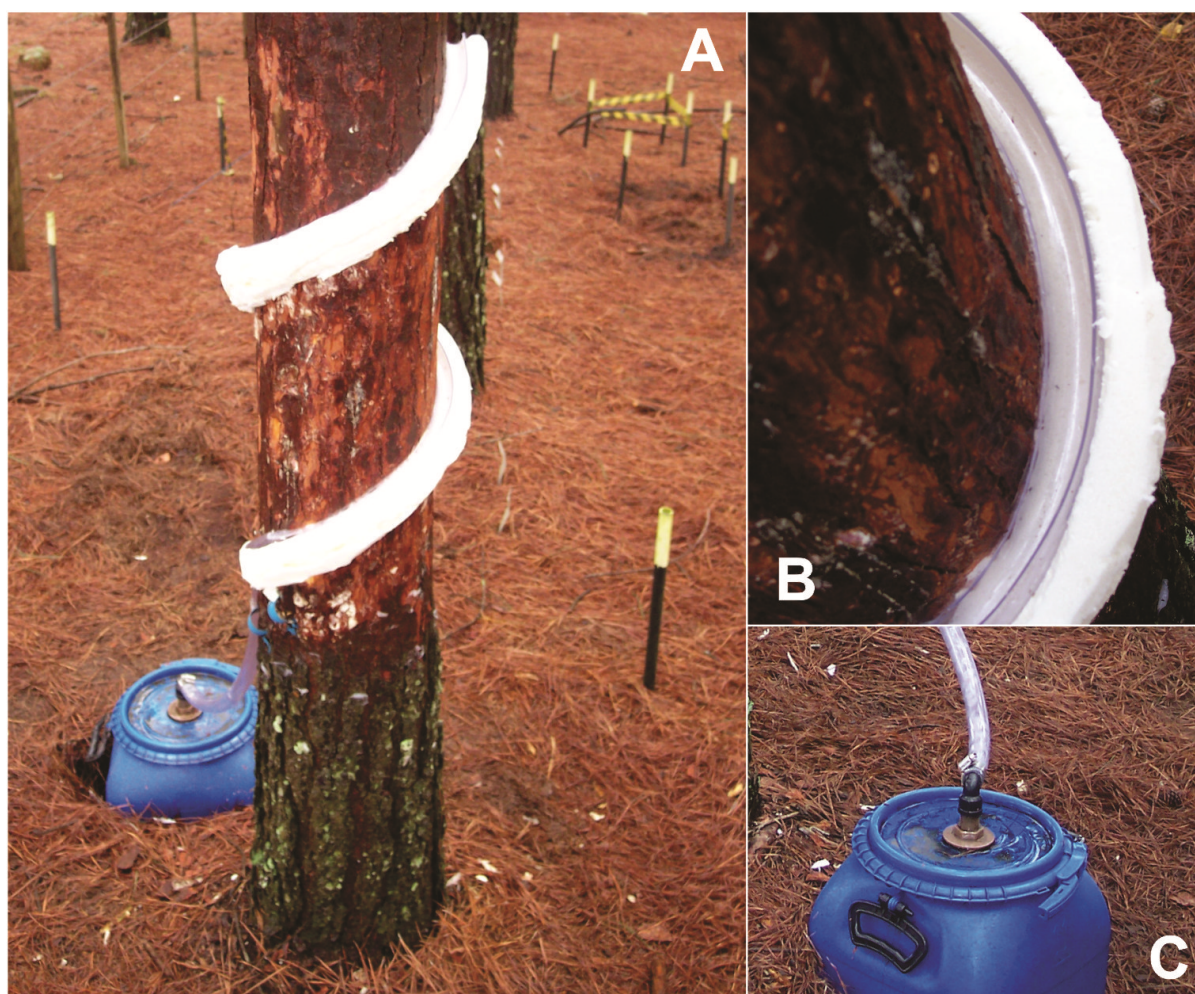


Figura 3.2 - Coletor de água do escoamento pelo tronco (A); detalhe da calha junto ao tronco da árvore (B); bombona plástica utilizada como reservatório (C). Fonte: elaborado pelo autor.

De posse dos volumes em milímetros foram calculadas médias aritméticas dos coletores em cada quinzena e, a partir destas foram calculadas as médias mensais, pela soma de duas quinzenas. Com base nos valores médios de precipitação e nos valores médios de concentração dos elementos analisados quinzenalmente, foi obtida a quantidade de nutriente depositado na área.

Os valores de interceptação pela copa (I_c) foram obtidos por meio da equação utilizada por Lima (1976):

$$I_c = P - (P_i + E_t)$$

Em que:

I_c = interceptação pela copa (mm); P = precipitação pluviométrica (mm); P_i = precipitação interna (mm); E_t = escoamento pelo tronco (mm).

A coleta de amostras para análise química e a quantificação individual do volume em cada coletor foi realizada quinzenalmente por uma equipe da empresa Cambará S/A. As coletas de água foram referentes a um período de 4 anos, compreendidos entre agosto de 2006 a julho de 2010.

A quantificação foi realizada com o auxílio de uma proveta graduada, com capacidade de 1 litro, e um balde graduado com capacidade de 20 litros. Para precipitação pluviométrica foram retiradas amostras individuais em cada um dos 3 coletores. Na precipitação interna foram retiradas 3 amostras compostas, formadas pela combinação dos 3 coletores de cada posição. Da mesma maneira, para o escoamento pelo tronco, foram coletadas 3 amostras compostas, formadas pelo agrupamento de 3 coletores.

Após coletadas e acondicionadas em potes plásticos de 0,5 litros, as amostras foram congeladas e armazenadas, para posterior envio ao Laboratório, onde, foram registradas, filtradas e analisadas, conforme metodologia APHA-Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). Na análise foram determinados valores de pH com pHmetro de bancada Metrohm 827 pH lab,. Após foram filtradas, com filtro poroso de 0,45 μm , para realização das análises químicas. A determinação dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} foi executada no espectrofotômetro de absorção atômica AAnalyst 200 Perkin Elmer, e os cátions Na^+ e K^+ no fotômetro de chama modelo DM-62 Digimed. Os ânions NO_3^- , NO_2^- , PO_4^- , NH_4^+ , SO_4^- , Cl^- foram analisados no cromatógrafo de íons Advanced 861 da Metrohm.

3.3 Resultados e Discussão

3.3.1 Distribuição da precipitação

Na Tabela 3.1 foram reunidos os valores médios mensais, para o período de 4 anos de monitoramento, da precipitação pluviométrica, precipitação interna, e escoamento pelo tronco. O volume médio de precipitação pluviométrica observado na área de estudo foi de 2.081,5 mm ano⁻¹, sendo, a menor média de precipitação pluviométrica, observada no mês de junho (87,3 mm ano⁻¹) e a maior, observada no mês de maio (226,8 mm ano⁻¹).

Conforme dados do INMET (2013), o valor observado para precipitação pluviométrica foi 2,9 % inferior à média histórica registrada 2.143,47 mm ano⁻¹, no mesmo período do estudo, numa estação meteorológica distanciada a 4 km. A diferença observada pode ser considerada muito baixa, e pode estar relacionada às chuvas esparsas, ocorridas principalmente no período de verão. Calil (2008), em um estudo realizado em outra região do estado do Rio Grande do Sul, no período de setembro de 2006 a agosto de 2007, também verificou uma diferença nos valores observados, porém, 13,6% acima da média histórica para região do município de Candiota.

No interior do povoamento, após a passagem da água pelas copas das árvores, verificaram-se os valores médios de 1.280,1 mm ano⁻¹ para precipitação interna e 89,0 mm ano⁻¹ para o escoamento pelo tronco, significando uma interceptação pela copa média de 712,4 mm ano⁻¹ (34,2%).

Na Figura 3.3 foi representada a distribuição percentual da P, Pi e Et, assim como a P (mm) e a P (mm) média histórica. Verificou-se que o comportamento da interceptação da água da chuva pelas copas das árvores mantém padrões diferentes em meses com maior e meses com menor pluviosidade, fato também observado por Arcova et al. (2003), sobre as perdas por interceptação pela copa com tendência a serem maiores em períodos pouco úmidos.

Conforme Arcova e Cicco (1987), a água da precipitação, ao interagir com o dossel da floresta, terá dois caminhos a seguir. Parte desta é retida pelos arbustos e árvores, sendo evaporada e retornando para a atmosfera. O restante pode passar diretamente pelos espaços vazios entre as folhas e as copas ou atingir o solo da floresta após escorrer pelas folhas, ramos e troncos. Parte ainda é interceptada pela

serapilheira acumulada sobre o solo mineral. Dependendo da idade do povoamento a camada de serapilheira poderá ser maior e por sua vez interceptar maiores quantidades de água que goteja das copas e mesmo escorre pelo tronco.

Zinke (1967) e Rutter (1963) apud Lima e Nicolielo (1983) observaram uma média em torno de 30% de interceptação pela copa para florestas de pinus nos Estados Unidos e Inglaterra. Em outras formações florestais no Brasil, foram observados valores de interceptação pela copa de 12,2% para o Eucalipto (LIMA, 1976), 27% no Cerradão (LIMA; NICOLIELO, 1983), 18,3% na Floresta Atlântica (ARCOVA et al., 2003) e 18,3% em um fragmento secundário da Mata Atlântica (OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2003).

Tabela 3.1 - Valores médios (mm) de precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação pela copa (Ic) para o período de monitoramento de agosto de 2006 a julho de 2010, realizado em um povoamento *Pinus taeda* L., localizado em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Período	P		Pi		Et		Ic	
Janeiro	171,3 a ¹	73,1 ² 42,7 ³	102,8 a	56,2 54,7	6,3 a	2,3 36,3	62,2 a	63,8 24,8
Fevereiro	201,5 a	59,8 29,7	124,2 a	43,9 35,3	8,1 a	3,3 40,5	69,3 a	30,9 43,4
Março	201,4 a	51,8 25,7	135,4 a	45,9 33,9	7,2 a	0,4 5,5	58,8 a	21,8 36,0
Abril	132,0 a	63,5 48,1	78,5 a	30,4 38,7	4,2 a	2,0 47,9	49,2 a	34,4 68,5
Maio	226,8 a	97,6 43,0	147,2 a	53,3 36,2	6,6 a	1,3 19,3	73,0 a	54,9 73,5
Junho	87,3 a	31,3 35,8	47,7 a	13,8 29,0	6,5 a	1,5 22,6	33,1 a	17,8 51,3
Julho	205,3 a	95,3 46,4	112,4 a	56,0 49,8	8,6 a	2,2 25,4	84,3 a	51,6 59,7
Agosto	162,6 a	88,7 54,6	91,0 a	37,7 41,5	5,9 a	2,1 35,6	65,6 a	50,9 74,2
Setembro	198,3 a	89,0 44,9	126,6 a	50,5 39,9	8,9 a	5,0 56,4	62,8 a	43,0 66,1
Outubro	157,8 a	80,3 50,9	99,0 a	59,0 59,6	8,9 a	3,7 41,8	50,0 a	23,4 44,9
Novembro	179,3 a	79,8 44,5	113,0 a	33,2 29,4	10,5 a	2,6 24,6	55,8 a	46,6 79,7
Dezembro	157,9 a	57,2 36,2	102,3 a	36,5 35,7	7,3 a	1,8 24,3	48,3 a	24,3 48,5
Média	173,5	75,0 43,3	106,7	47,0 44,1	7,4	2,7 36,3	59,4	35,4 57,8
Soma	2081,5		1280,1		89,0		712,4	

Onde: ¹ Médias na vertical, seguidas por mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey, sob um intervalo de confiança de 95%; ² Desvio padrão; ³ Coeficiente de variação (%).

Em um povoamento de eucalipto e de pinus, foram observados, para o escoamento pelo tronco, os valores de 4,2% para *Eucalyptus saligna* e 3,0% para

Pinus caribaea (LIMA, 1976). Já na Floresta de Mata Atlântica foi observado 0,2% de escoamento (ARCOVA et al., 2003), e em um fragmento secundário da Mata Atlântica foram 1,7% da precipitação em aberto e 2,2% da precipitação interna (OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2003). De acordo com Lima e Nicolielo (1983), após a interceptação pela copa a água pode ser redistribuída em dois processos, precipitação interna e escoamento pelo tronco, e sendo que o volume nos dois processos varia de espécie para espécie.

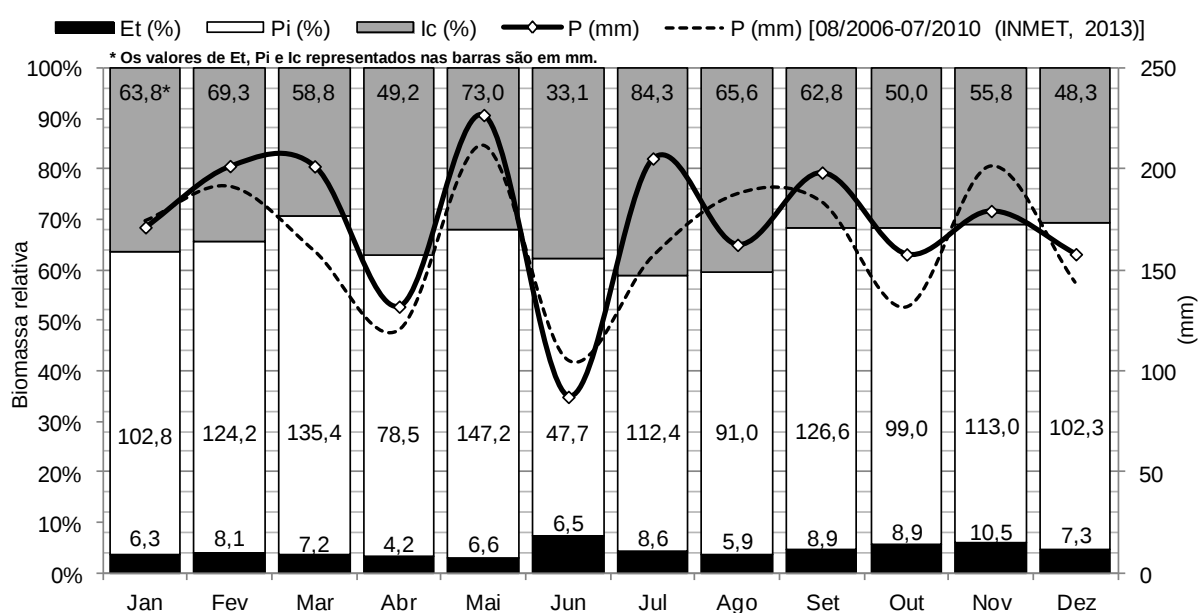


Figura 3.3 - Percentual de interceptação pela copa (Ic) e sua relação com a quantidade de precipitação pluviométrica (P), escoamento pelo tronco (Et) e precipitação interna (Pi). Fonte: elaborado pelo autor.

Para Oliveira Júnior e Dias (2003), esses percentuais apesar de pequenos devem ser considerados de grande importância, pois a quantidade e baixa velocidade da água que chega ao piso florestal, através do escoamento pelo tronco, facilita a infiltração da água no solo. Glegg (1963), estudando a interceptação pela copa em uma floresta tropical secundária relatou que, para uma precipitação média anual de 3302 mm, foram encontrados valores de escoamento pelo tronco de 1%, 2% e 3% para classes de precipitação de 7,6 a 15,2 mm, 15,2 a 22,8 mm e maior que 22,8 mm, respectivamente.

Krutsh apud Molchanov (1963), com suas observações num período de 16 meses concluiu que, quando a chuva é muito fraca (não superior a 0,5 mm), a água que atinge o solo totaliza apenas 9%, sendo 91% interceptada pelo dossel da floresta. Quando a chuva é de 1-7 mm, a água que atinge o solo é 18-57% e, em casos de fortes tempestades pode atingir 80-90%. O valor encontrado para interceptação da chuva pelas copas condiz com os valores encontrados em outras formações florestais como no Cerradão, onde verifica-se em torno de 27% (LIMA; NICOLIELO, 1983), na Floresta Atlântica gira em torno de 18,3% (ARCOVA et al., 2003).

No caso de culturas agrícolas de porte arbustivo-arbóreo como o café (*Coffea arabica*), os valores para interceptação pela copa apresentaram-se superiores ao cultivo de pinus, pois se verificaram interceptações de até 60%, em dias de pequenas precipitações, pelo excessivo adensamento da cultura (MIRANDA et al., 2004).

Recentemente Caldato (2011) encontrou valores de escoamento pelo tronco de 6%, interceptação pela copa de 25% do total de precipitação pluviométrica (2228 mm), ao estudar, no nordeste da Argentina, um povoamento de *Pinus taeda* com 12 anos de idade. O percentual de interceptação apresentado pela autora é menor que o verificado no presente estudo, fato que pode ser explicado pela maior quantidade de precipitação pluviométrica e pela diferença de idade entre os povoamentos.

3.3.2 Caracterização química da precipitação

3.3.2.1 Valores de pH

Na Tabela 3.2 estão os valores médios mensais de pH e concentração de íons na solução da água da chuva na precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), e escoamento pelo tronco (Et). Pode-se observar que os valores do pH da água da chuva na Pi são maiores que na P, isto pode ser atribuído à poeira, aerossóis (principalmente Na^+) e outros componentes depositados na copa das árvores, pela adição de bases, principalmente K, Ca e Mg.

Em consonância com Calil (2008), para eucalipto, os valores de pH não apresentaram uma variação muito acentuada entre os meses do ano. As médias anuais atingiram valores de 5,2 unidades de pH na P e 5,5 unidades de pH na Pi, sendo que o pH mínimo na Pi foi de 5,2 em abril e o máximo de 5,8 em novembro, já os valores extremos na P foram 4,7 em abril e 5,6 em dezembro.

Tabela 3.2 - Valores médios mensais de pH e concentração de íons na solução da água da chuva na precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), e escoamento pelo tronco (Et) ocorrido na área de estudo no período entre ago./06 e jul./10. Fonte: elaborado pelo autor.

	Período	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N-NO ₂ ⁻	P-PO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Cl ⁻
			-----mg l ⁻¹ -----									
<i>precipitação pluviométrica (P)</i>	Jan	5,2 ¹	0,80	0,11	n.d. ²	0,16	0,29	0,67	0,18	0,74	0,86	2,10
	Fev	5,2	0,86	0,11	0,07	0,23	0,45	0,61	0,19	0,57	1,06	1,17
	Mar	4,8	0,24	n.d.	0,25	0,12	0,45	0,56	0,21	0,55	0,96	1,58
	Abr	4,7	0,26	0,13	0,14	0,17	0,25	0,39	0,16	0,63	1,44	1,83
	Mai	5,1	0,25	0,09	0,06	0,16	0,12	0,60	0,18	0,48	1,15	0,98
	Jun	5,3	0,27	0,15	0,07	0,14	0,28	0,36	0,10	0,65	1,20	1,20
	Jul	5,4	0,24	0,12	0,08	0,21	0,60	0,80	0,07	0,59	0,72	1,03
	Ago	5,2	0,24	0,19	0,07	0,13	0,37	0,17	0,05	0,96	0,72	0,91
	Set	5,0	0,20	0,20	n.d.	0,12	0,32	0,47	0,17	1,09	1,09	1,61
	Out	5,2	0,31	0,13	n.d.	0,11	0,27	0,77	0,12	0,92	0,91	0,99
	Nov	5,1	0,27	0,07	n.d.	0,10	0,26	0,47	0,15	0,51	0,88	1,03
	Dez	5,6	0,79	0,08	n.d.	0,23	0,64	0,49	0,19	0,91	1,15	1,45
	Média (ano)	5,2	0,39	0,13	0,10	0,16	0,36	0,53	0,15	0,72	1,01	1,32
<i>precipitação interna (Pi)</i>	Desvio Padrão	0,49	0,47	0,07	0,07	0,11	0,31	0,48	0,13	0,49	0,76	1,27
	CV %	9,54	112,91	50,40	68,29	66,26	87,03	91,31	84,26	68,07	75,28	96,02
	Jan	5,5	0,29	0,18	0,08	0,08	1,42	0,92	0,40	1,37	1,24	2,59
	Fev	5,5	0,30	0,24	0,09	0,30	1,55	0,95	0,32	1,23	1,79	2,77
	Mar	5,4	0,31	0,15	0,03	0,09	1,65	0,75	0,36	1,59	1,89	3,01
	Abr	5,2	0,54	0,55	0,06	0,24	2,51	1,31	0,59	2,08	3,15	5,76
	Mai	5,4	0,17	0,09	0,08	0,08	1,27	0,56	0,22	0,87	2,01	2,59
	Jun	5,5	0,34	0,25	0,06	0,12	2,22	0,61	0,27	1,52	2,78	3,78
	Jul	5,5	0,15	0,17	n.d.	0,14	1,32	0,64	0,23	0,99	1,31	2,12
	Ago	5,3	0,14	0,23	0,08	0,15	1,77	0,56	0,15	1,21	1,60	1,84
	Set	5,3	0,17	0,30	0,09	0,14	2,04	1,53	0,46	1,76	1,65	3,10
	Out	5,6	0,54	0,18	n.d.	0,20	2,05	0,93	0,33	2,58	1,79	2,12
	Nov	5,8	0,40	0,11	n.d.	0,18	1,28	0,66	0,29	1,29	1,43	2,13
	Dez	5,7	0,53	0,15	0,11	0,12	1,46	0,69	0,34	1,83	1,48	2,21
<i>escoamento pelo tronco (Et)</i>	Média (ano)	5,5	0,32	0,22	0,08	0,15	1,71	0,84	0,33	1,53	1,84	2,83
	Desvio Padrão	0,44	0,35	0,24	0,04	0,15	0,90	0,64	0,29	0,87	1,15	2,07
	CV %	8,00	107,72	103,11	54,50	92,93	52,49	76,36	87,98	57,23	62,16	73,03
	Jan	4,4	0,16	0,09	n.d.	0,15	2,51	1,01	0,40	1,53	1,74	3,25
	Fev	4,4	0,72	0,26	n.d.	0,16	3,37	0,79	0,46	2,00	2,18	4,93
	Mar	4,7	0,65	0,21	n.d.	0,14	2,81	1,21	0,66	2,76	2,08	4,81
	Abr	5,1	n.d.	0,63	0,08	0,31	3,99	0,89	0,97	3,09	3,04	9,44
	Mai	5,4	0,09	0,17	0,10	0,09	1,99	2,16	0,75	1,24	2,35	3,06
	Jun	4,7	0,38	n.d.	n.d.	0,10	2,65	0,45	0,31	2,39	2,33	4,38
	Jul	4,6	0,10	0,04	n.d.	0,34	2,15	0,64	0,24	1,11	1,02	2,66
	Ago	4,5	0,05	0,10	0,07	0,11	1,30	0,60	0,22	0,56	0,76	0,62
	Set	4,5	0,05	0,23	n.d.	0,14	3,02	0,86	0,47	1,62	1,82	3,80
	Out	4,5	0,12	0,07	n.d.	0,10	2,19	0,68	0,33	3,34	1,53	2,06
	Nov	4,8	0,53	0,15	n.d.	0,19	3,06	0,67	0,44	2,39	1,99	4,52
	Dez	4,6	1,17a	0,12	n.d.	0,47	2,98	1,49	0,58	3,49	2,50	4,15
<i>escoamento pelo tronco (Et)</i>	Média (ano)	4,7	0,33	0,19	0,08	0,19	2,67	0,95	0,49	2,13	1,95	3,97
	Desvio Padrão	0,47	0,63	0,30	0,02	0,15	1,30	0,92	0,41	1,58	1,28	3,42
	CV %	9,97	165,73	127,37	18,33	76,42	48,20	95,17	82,51	71,33	64,81	81,97

¹ Pelo teste de Tukey não foi detectada diferença estatística entre as médias mensais; ² Não detectado.

Segundo Cunha et al. (2009) o pH da precipitação pluviométrica pode ser considerado levemente ácido ($5 < \text{pH} < 5,6$), com exceção do mês de abril que apresentou um valor considerado ácido (chuva ácida, $\text{pH} < 5$). No interior do povoamento, após a água passar pela copa das árvores, verificou-se um aumento nos valores do pH da água da precipitação interna, ficando sempre na faixa de levemente ácido, chegando no meses de outubro, novembro e dezembro a assumir valores considerados normais ($\text{pH} \geq 5,6$). Segundo Maier et al. (1992) a precipitação pluviométrica que apresenta valores de pH inferiores a 5,6 pode ser considerada ácida, ou seja, chuva ácida. Centros industriais ou regiões agrícolas onde se utilizam as queimadas podem influenciar a qualidade da precipitação pluviométrica.

Conforme os dados, registrados no período do estudo, referentes à velocidade e direção dos ventos (INMET, 2013), pode-se relacionar o efeito de redução da velocidade dos ventos alísios, pela ação da copa e tronco das árvores (ANDRAE, 1978), com a maior precipitação de aerossolúveis e particulados no interior do povoamento, ocasionando o aumento nos valores de pH e concentração dos elementos observados, no interior do povoamento (Tabela 3.2).

Esse comportamento demonstra a importância das árvores, funcionando como um filtro e estabilizador do pH da água da chuva. No mesmo sentido, a casca, que por sua forma, proporciona o acúmulo de elementos como o potássio, cálcio, enxofre e cloro, como pode ser visualizado nos dados de Et (Tabela 3.2). Schumacher et al. (2011), destacam que a interação da água da chuva com a copa das árvores impossibilita a acidificação do solo, pois ocorre a adição de inúmeros íons que vão elevar o pH da água que chega ao piso florestal.

Os valores de pH para o Et são um pouco mais baixos, apresentando uma média de 4,7 unidades de pH, isso ocorre devido ao aumento na concentração dos ânions $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{P-PO}_4^-$ presentes na solução. Além desses ânions observa-se um aumento na concentração de todos os parâmetros analisados, exceto para N-NH_4^+ e N-NO_3 .

Em um estudo realizado por Lima e Barbin (1975), com a finalidade de avaliar o efeito de plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* (aos 6 anos) sobre a qualidade da água da precipitação pluviométrica, estes verificaram que o povoamento de *Eucalyptus saligna* causou, de um modo geral, alteração qualitativa da água ligeiramente maior do que o povoamento de *Pinus caribaea*. O pH do escoamento

pelo tronco no *Pinus caribaea* foi ligeiramente, mas não significativamente, menor que o pH da água da precipitação pluviométrica.

Em um povoamento de *Pinus taeda* com 12 anos de idade localizado no nordeste da Argentina, Caldato (2011) verificou valores de pH de 5,4 para P, 5,8 para Pi e de 4,9 para o Et. Schumacher et al. (2009), na região de Quedas do Iguaçu no Paraná, observaram valores médios anuais de pH de 5,7 na P, 5,9 na Pi da floresta nativa e de 5,1 na Pi do pinus. Navroski et al. (2008), em estudo realizado no município de Itaara, em uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul, afirmam que o valor médio do pH na P foi de 6,28. Calil (2008), em um estudo realizado no município de Candiota, RS, encontrou o valor médio de pH de 5,6 para precipitação pluviométrica.

3.3.2.2 Concentração de íons

Os valores das concentrações dos íons, variaram de acordo com a distribuição da precipitação. O pinus apresenta casca grossa e escamada, que favorece a deposição e acúmulo de íons. Em geral no escoamento pelo tronco (Et) do pinus, foram observadas as maiores concentrações de íons, apresentadas na seguinte ordem de dominância $\text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{N-NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{N-NO}_3^- = \text{P-PO}_4^- > \text{N-NO}_2^-$. Na precipitação interna (Pi) a concentração de íons obedeceu a seguinte ordem $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{N-NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{N-NO}_3^- > \text{P-PO}_4^- > \text{N-NO}_2^-$. A precipitação pluviométrica (P) apresentou as menores concentrações de íons com a seguinte magnitude $\text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{N-NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{P-PO}_4^- > \text{Mg}^{2+} > \text{N-NO}_3^- > \text{N-NO}_2^-$.

Arcova e Cicco (1987), estudando o conteúdo de nutrientes que entram em uma floresta secundária de Mata Atlântica no estado de São Paulo por meio da precipitação atmosférica, relatam que o escoamento pelo tronco registrou os maiores teores de nutrientes, sendo que a Precipitação apresentou a seguinte ordem de dominância na concentração de nutrientes, $\text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$.

Conforme Schrijver et al. (2007) *apud* Corrêa (2011), devido as grandes dimensões das copas das árvores, com grande superfície de contato, elas possuem

grande capacidade de retenção da deposição seca, aumentando o aporte de elementos químicos na precipitação interna e escoamento pelo tronco.

Após a água passar pelas árvores houve um considerável incremento nos valores de cloro e sódio, da mesma forma que observado por Arcova e Cicco (1987). Esses autores ressaltaram que os elevados teores de sódio poderiam estar associados à proximidade do mar em relação à área de estudo, sendo que as concentrações poderiam ser influenciadas pelo vento e massas de ar oriundo da região costeira (Figura 3.4). Cabe destacar que a área estudada, em Cambará do Sul, fica a aproximadamente 47 km em linha reta do Oceano Atlântico. No mesmo sentido Rambo (1994), em sua descrição da fisionomia do Rio Grande do Sul, além de destacar a beleza dos Campos de Cima da Serra, enfatiza a importância da constante presença da umidade provinda da cerração, rica em nutrientes, ela garante a sustentação de um grande número de espécies características da região, assim como das áreas com culturas agrícolas ou mesmo florestais.



Figura 3.4 - Névoa de origem oceânica, rica em nutrientes, que são incorporados ao plantio de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Assim, como Caldato (2011), verificou-se que as concentrações dos nutrientes na precipitação ocorrem de forma homogênea durante os meses do ano, sem picos extremos, que poderiam estar relacionados a uma estação seca bem definida, o que geraria maior acúmulo de deposição seca no dossel, aumentando a

concentração dos nutrientes. A mesma autora diz que, com exceção para o Ca^{2+} , quanto maior a quantidade de chuva, menor é a concentração de nutrientes, devido ao efeito de diluição. O efeito de diluição, com o aumento na quantidade da chuva, também foi observado por Corrêa (2011).

A adição de íons na água da chuva está intimamente ligada a presença de partículas suspensas no ar. As queimadas realizadas nos campos (Figura 3.5), com a finalidade de limpeza e renovação das pastagens, podem ser apontadas como fonte das partículas suspensas no ar (SCHUMACHER et al., 2011). Laclau et al. (2005) encontraram altas concentrações de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , K^+ e SO_4^{2-} e relacionaram esse comportamento com a queima de biomassa, enquanto que as altas concentrações de cálcio estariam associadas com a deposição de poeira, também chamada de precipitação seca.



Figura 3.5 – Aspecto de queimadas, utilizadas por alguns produtores rurais, para limpeza do campo, na Região dos Campos de Cima da Serra no Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.2.3 Aporte de íons

Na Tabela 3.3 foram representados os dados referentes ao aporte mensal e anual de íons pela água da chuva, via precipitação pluviométrica, precipitação interna e escoamento pelo tronco.

Tabela 3.3 - Aporte mensal e anual de íons pela água da chuva pela precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi) e escoamento pelo tronco (Et), ocorrido na área de estudo no período entre agosto de 2006 e julho de 2010. Fonte: elaborado pelo autor.

	Período	Nutriente							
		N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
		kg ha ⁻¹							
<i>precipitação pluviométrica (P)</i>	Jan	0,64 ¹	0,10	0,24	0,49	0,16	1,25	1,62	3,60
	Fev	2,41	0,40	1,06	1,38	0,36	1,03	2,32	1,89
	Mar	0,33	0,10	0,27	0,46	0,09	0,82	1,53	1,37
	Abr	0,21	0,07	0,25	0,45	0,14	0,74	1,76	2,20
	Mai	0,18	0,09	0,21	0,93	0,22	1,08	2,68	2,37
	Jun	0,18	0,09	0,14	0,28	0,06	0,45	0,76	0,74
	Jul	0,41	0,10	0,64	1,66	0,07	1,22	1,59	1,87
	Ago	0,56	0,07	0,51	0,28	0,04	1,29	0,98	1,16
	Set	0,85	0,07	0,32	0,85	0,13	1,77	1,32	1,90
	Out	0,57	0,02	0,34	0,89	0,22	1,37	1,30	1,62
	Nov	0,35	0,15	0,29	0,77	0,26	0,91	1,33	1,77
	Dez	1,72	0,27	1,57	0,67	0,28	1,59	2,16	2,50
	Média	0,70	0,13	0,49	0,76	0,17	1,13	1,61	1,92
<i>precipitação interna (Pi)</i>	Desvio Padrão	1,14	0,16	0,72	0,82	0,22	0,98	1,57	2,08
	CV%	162,04	125,03	148,44	108,64	127,45	87,07	97,62	108,52
	Somatório (ano)	8,43	1,54	5,83	9,11	2,03	13,52	19,36	23,00
	Jan	0,27	0,04	1,30	0,67	0,28	1,36	1,41	2,42
	Fev	0,37	0,15	1,57	1,09	0,29	1,16	1,90	2,35
	Mar	0,28	0,03	1,26	0,81	0,27	1,12	1,81	1,77
	Abr	0,50	0,06	1,71	0,77	0,33	1,27	2,37	4,00
	Mai	0,15	0,03	1,24	0,66	0,24	1,09	2,82	3,00
	Jun	0,16	0,03	0,91	0,33	0,16	0,74	1,15	1,78
	Jul	0,19	0,06	1,23	0,67	0,23	1,12	1,82	2,14
	Ago	0,33	0,02	1,23	0,44	0,10	1,03	1,21	1,18
	Set	0,41	0,09	1,35	1,58	0,33	1,38	1,27	1,80
	Out	0,48	0,03	1,44	0,71	0,25	1,95	1,35	1,68
	Nov	0,49	0,16	1,34	0,71	0,30	1,36	1,46	2,18
	Dez	0,61	0,07	1,27	0,59	0,28	1,68	1,54	2,08
<i>escoamento pelo tronco (Et)</i>	Média	0,44	0,06	1,32	0,75	0,26	1,27	1,68	2,20
	Desvio Padrão	0,36	0,08	0,55	0,72	0,24	0,74	1,24	1,59
	CV%	100,54	128,67	41,36	95,90	95,31	57,97	73,70	72,29
	Somatório (ano)	4,24	0,77	15,85	9,04	3,06	15,26	20,12	26,36
	Jan	0,01	0,01	0,17	0,07	0,03	0,12	0,15	0,28
	Fev	0,01	0,01	0,26	0,04	0,03	0,14	0,18	0,35
	Mar	0,03	0,00	0,14	0,08	0,03	0,12	0,12	0,21
	Abr	0,10	0,01	0,16	0,03	0,04	0,13	0,14	0,36
	Mai	0,01	0,00	0,10	0,12	0,04	0,06	0,10	0,16
	Jun	0,01	0,00	0,16	0,03	0,02	0,16	0,15	0,24
	Jul	0,00	0,02	0,17	0,06	0,02	0,07	0,08	0,09
	Ago	0,01	0,00	0,07	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02
	Set	0,01	0,00	0,18	0,07	0,03	0,08	0,08	0,22
	Out	0,01	0,00	0,19	0,06	0,03	0,28	0,12	0,18
	Nov	0,07	0,01	0,37	0,09	0,06	0,30	0,23	0,59
	Dez	0,13	0,01	0,22	0,11	0,04	0,27	0,21	0,31
(Pi + Et)	Média	0,03	0,01	0,19	0,07	0,03	0,15	0,14	0,26
	Desvio Padrão	0,06	0,01	0,12	0,06	0,03	0,14	0,11	0,21
	CV%	245,95	169,90	62,88	90,69	82,32	92,42	81,37	79,57
	Somatório (ano)	0,30	0,07	2,19	0,79	0,37	1,76	1,61	3,02
		(-50%)²	(-55%)	(+309%)	(+8%)	(+69%)	(+26%)	(+12%)	(+28%)

¹ Pelo teste de Tukey não foi detectada diferença estatística entre as médias mensais; ² Valor percentual de incremento ou diminuição no aporte dos íons, comparado a precipitação pluviométrica.

Considerando o aporte anual ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) dos elementos analisados via precipitação interna, e somado o aporte do escoamento pelo tronco, o cloro e o sódio apresentaram os maiores valores com 29,39 e 21,73 respectivamente, os demais elementos seguem em ordem decrescente da seguinte forma: K (18,04) > S (17,02) > Ca (9,82) > N (5,64) > Mg (3,44) > P (0,84). A diminuição em (-50%) (-55%), respectivamente para o N e P, pode estar associada a absorção direta pelas acículas. Lima (1980), estudando a dinâmica entre a floresta e materiais particulados ou na forma de aerossóis, presentes na atmosfera, verificou a absorção de SO_2 e também de NO_2 , especialmente na parte superior da copa, ou seja na área com maiores taxas metabólicas.

Na Tabela 3.4, pode-se observar diferentes resultados do fluxo de nutrientes, verificados por distintos autores em diversos lugares e tipos vegetação pelo mundo.

Tabela 3.4 - Fluxo de nutrientes na precipitação pluviométrica (P), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e deposição seca (DS), em diferentes lugares e tipos vegetação. Fonte: elaborado pelo autor.

Autor e Local	Tipo de vegetação	Tipo de fluxo	$\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$					
			N	P	K	Ca	Mg	Na
Caldato (2011), Argentina	<i>Pinus taeda</i>	P	5,7	2,2	3,8	9,5	2,7	4,0
		Pi	5,5	3,3	54,1	11,2	10,4	4,0
		Et	0,5	0,3	3,9	0,7	0,1	0,3
Corrêa (2011), Alegrete-RS, Brasil	<i>Eucalyptus dunnii</i>	P	5,2	0,4	0,8	3,4	1,0	1,4
		Pi	5,3	0,5	7,5	5,3	1,96	3,06
		Et	0,07	0,01	0,7	0,5	0,15	0,22
Schumacher et al. (2009), Quedas do Iguaçu-PR, Brasil	<i>Pinus taeda</i>	P	4,4	1,4	13,7	4,6	1,8	32,1
	<i>Pinus taeda</i>	Pi	6,2	0,9	33,5	2,6	1,5	24,3
	Nativa	Pi	10,4	16,5	88,4	17,8	12,6	51,5
Calil (2008), Candiota-Okí, (2002), São	<i>Eucalyptus</i>	P	19,1	7,0	17,5	5,6	2,0	39,0
	<i>Pinus taeda</i>	P	3,9	0,3	8,6	19,2	1,8	-
** Dezzee e Chacón (2006), Venezuela	Savana aberta	P	1,3	0,0	2,2	0,8	1,3	-
	Floresta alta	Pi	0,6	0,2	36,4	5,7	4,8	-
	Floresta alta	Et	0,09	0,04	7,8	1,2	0,6	-
** Laclau et al. (2005), Congo	Savana	P	4,8	0,3	2,7	3,3	1,4	-
	<i>Eucalyptus</i>	DS	6,5	0,3	3,8	4,5	1,8	-
** Liu, Fox e Xu (2002), China	Floresta subtropical úmida	P	10,5	1,3	3,0	8,0	3,2	1,7
		Pi	12,1	1,5	33	15,3	8,0	2,2
** Lima (1985), Brasil.	<i>Pinus oocarpa</i>	Pi	-	-	13,9	3,3	1,7	0,0
	<i>Pinus caribaea</i>	Pi	-	-	18,6	5,8	1,6	0,8
	Cerradão	Pi	-	-	67,8	6,8	7,1	0,0
** Westman (1978), Australia.	<i>Eucalyptus</i>	P	60	0,2	3,4	3,2	5,9	50
		Pi	35	-	8,5	14	7,2	44
		Et	0,8	-	0,9	0,8	1,1	8,1

** Adaptado de Caldato (2011).

Calil (2008) verificou que o sódio foi o nutriente que entrou no sistema em maior quantidade totalizando $39,08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, nesse estudo a precipitação pluviométrica anual foi de $1.605,79 \text{ mm}$. Assim como no presente estudo, o autor acima citado relacionou as elevadas concentrações de sódio com a proximidade do oceano em relação à área estudada e considerou a possibilidade da influência dos ventos e massas de ar oriundas do oceano. Assim, acredita-se também que as concentrações dos dois últimos cátions devem ser influenciadas pelo vento e massas de ar oriundas da região costeira (Figura 3.4).

A quantidade de cálcio observada neste estudo, $9,82 \text{ Kg ha}^{-1}$ (Pi + Et) está abaixo do que as quantidades observadas por Oki (2002), Calil (2008), Schumacher et al. (2009), Corrêa (2011) e Caldato (2011). É interessante observar que na área do presente estudo não existe uma malha de estradas de terra com intensa utilização (fonte de deposição seca, poeira), os coletores estavam localizados nas proximidades do Parque Nacional de Aparados da Serra. Calil (2008) relacionou a alta quantidade de cálcio presente na precipitação pluviométrica com a poeira proveniente dos solos, afirmando ser esta a principal fonte de aporte desses íons.

Em consonância com Corrêa (2011), o aporte de N-NH_4^+ foi maior do que o de N-NO_3^- , e este maior do que o de N-NO_2^- , para todas as formas de precipitação (representado na Tabela 3.3 como N total). Ovalle (1985), pesquisando em área de Floresta Atlântica no Rio de Janeiro, concluiu que cerca de 80% do sódio ($48 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), 90% do magnésio ($5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), 25% do cálcio ($2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 20% do potássio ($2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) que saem de uma bacia hidrográfica por via fluvial, podem ser atribuídos às entradas atmosféricas.

Assim como no estudo realizado em um plantio de *Eucalyptus dunnii* por Corrêa (2011) a ordem de aporte de nutrientes variou conforme a partição da precipitação. No escoamento pelo tronco foi observado o predomínio do $\text{Cl} > \text{K} > \text{S} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P}$. Na precipitação interna, a ordem foi $\text{Cl} > \text{Na} > \text{K} > \text{S} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P}$, ocorrendo na mesma ordem se considerada a soma Pi + Et. Por fim, na precipitação pluviométrica, a ordem foi $\text{Cl} > \text{Na} > \text{S} > \text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$.

Nesse sentido, Likens e Eaton (1970) demonstraram que o escoamento pelo tronco contribui com valores entre 3 a 6% do total de potássio, cálcio, magnésio e sódio produzidos pela serapilheira e precipitação para o piso florestal. No presente estudo esse percentual variou de 7 a 12 %.

A água da chuva, após atravessar o dossel florestal, apresentou uma concentração mineral média dominada pelo potássio, na ordem: $K > Na > Ca > Mg > P$. Os menores teores de fósforo na água que atravessa o dossel devem-se ao fato de que este elemento está associado a moléculas orgânicas, assim como o nitrogênio, sendo menos susceptível a lixiviação, ao contrário dos outros nutrientes, que são encontrados na forma iônica na solução das células (Eaton et al., 1973).

O incremento percentual de íons verificado na Pi+Et para os elementos analisados ocorreu na seguinte ordem: $K (309\%) > Mg (169\%) > Cl (127\%) > S (125\%) > Na (112\%) > N (66\%) > P (54\%)$.

O enriquecimento de nutrientes na água que atravessa o dossel resulta da lixiviação de metabólitos e exudados das plantas pelos seus tecidos e pela lavagem de aerossóis atmosféricos que são depositados nas superfícies das plantas. O grau de modificação da qualidade da precipitação incidente varia de lugar para lugar e com as espécies arbóreas. Varia ainda através do tempo, em resposta às flutuações na qualidade da precipitação, variações na disponibilidade de aerossóis e exudados da vegetação e intensidade das precipitações (WALLING, 1980; ATTIWILL, 1966).

Chuyong, Newbery e Songwe (2004) apud Caldato (2011) afirmam que a precipitação interna e o escoamento pelo tronco são as principais vias responsáveis pelo retorno anual do potássio, sódio e enxofre, sendo mais importante que a devolução pela serapilheira. Os autores consideram que o fluxo de nutrientes pelas precipitações citadas ocorre de forma mais rápida, devido aos elementos se apresentarem na forma inorgânica, facilitando a absorção pelas raízes das árvores.

3.4 Conclusões

A caracterização volumétrica na entrada de água via precipitação pluviométrica, em ordem de dominância, é: precipitação pluviométrica > Precipitação Interna > escoamento pelo tronco.

As árvores são responsáveis pela interceptação pela copa, de parte da água que incide no povoamento, diminuindo a quantidade de água que chega ao solo.

A interação com a copa das árvores, aumenta os valores do pH da água que chega ao solo sob o povoamento.

A passagem da água pela copa das árvores proporciona um aumento substancial na quantidade de potássio, e em menores quantidades, em ordem decrescente, para o magnésio, cloro, enxofre, sódio e cálcio.

A interação da copa das árvores, com a água da precipitação pluviométrica, diminuiu os valores de nitrogênio e fósforo que chegam ao solo do povoamento.

3.5 Referências

ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1978. 230 p.

APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19 ed. Washington, D.C.: APHA/AWWAWPCF. 1998.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha-SP. **Bol. Téc. Inst. Flor.** São Paulo, v. 41, n. 1, p. 37-58, 1987.

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.

ATTIWILL, P. M. The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature eucalyptus forest. **Plant and Soil**, The Hague, v. 24, n.3, 390-406, 1966.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH/ EDUSP, 1993. 943p. p.177-241. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4)

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

CALIL, F. N. Aspectos Nutricionais de um Sistema Agroflorestal com Eucalipto no Sul do Rio Grande do Sul, Brasil. **Tese** apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (UFSM, RS), Santa Maria, RS, Brasil. 2008.

CASTRO, P. S. **Influência da Cobertura Florestal na Qualidade da Água em Bacias Hidrográficas na Região de Viçosa, MG.** 1980. 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, SP. 1980.

CORRÊA, R. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* estabelecido no bioma pampa. 2011. 99 p. **Tese** (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2011.

CUNHA, G. R. et al. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.44, n.4, p.339-346, abr. 2009.

EATON, S. J.; LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H. Throughfall and stemflow chemistry in a Northern hardwood forest. **The Journal of Ecology**, Oxford, Londres, v. 61, n. 2, p. 495-508, 1973.

GLEGG, A. G. Rainfall interception in a Tropical Forest. **Caribbean Forester**, Río. Piedras (Puerto Rico) v. 24, n. 2, p. 75-79, 1963.

GONZÁLEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de edafología y agrobiología**. p. 1130-1157, 1986.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Brasília. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 03 de janeiro de 2013.

JACKSON, I. J. Problems of throughfall and interception assessment under tropical forest. **Journal of Hydrology**, v. 12, n. 3, p. 234-254. 1971.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINTANDRE, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo 3. Input–output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, 210(1-3), 375-391, 2005.

LIKENS, G. E.; EATON, J. S. A polyurethane stemflow collector for trees and shrubs. **Ecology**, Durham, v. 51, n. 5, p. 938-939, 1970.

LIMA, W. P.; BARBIN, D. Efeito de plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre a qualidade da água da chuva. **IPEF**, São Paulo, n. 11, p. 23-35, 1975.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. **IPEF**. São Paulo, n. 13, p. 75-90, 1976.

LIMA, W. P. As florestas e a poluição do ar. **IPEF**. Piracicaba, v.1, n.1, p. 1 – 41, 1980.

LIMA, W. P.; NICOLIELO, N. Precipitação Efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **IPEF**, São Paulo, n. 24, p. 43 – 46, 1983.

LIMA, W. P. Ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em cerrado. **IPEF**, Piracicaba, n.30, p.13-17, 1985.

MAIER, M. H.; TAKINO, M., MIYAMARU, L. L. Alguns aspectos da composição da água da chuva. Microbacia do córrego do Salto Grande. **Acta Limnologia Brasileira**, Rio Claro, v. 4, n. 1, p. 247-254, 1992.

MARTINS, R. F. et al. Qualidade da Água de Chuva no Litoral de Santa Catarina. In: 5ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina, 2005, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em <http://www.sepex.ufsc.br/anais_5/trabalhos/840.html>. Acesso em: 29 jul. 2008.

McCOLL, J. G. Properties of some natural waters in a tropical wet forest of Costa Rica. **Bioscience**, Oakland, n. 20, p. 1096-1100, 1970.

MIRANDA, R. A. C.; PEREIRA, F. R.; MONAT, A. S. Interceptação de chuva em cafezais adensados da região serrana centro-norte fluminense. **Revista Brasileira de Agrometereologia**. Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 283 – 288, 2004.

MOLCHANOV, A. A. **The Hydrological Role of Forest**. Jerusalém, 1963. 407 p.

NAVROSKI, M. C.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. **Avaliação das características químicas da água da chuva em uma Floresta Estacional Decidual - Itaara, RS. Relatório parcial**, LABEFLO. Santa Maria, 2008.

OKI, V. K. Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias. 2002. 71p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

OLIVEIRA, R. R.; COELHO NETTO, A. L. Captura de nutrientes atmosféricos pela vegetação na Ilha Grande, RJ. **Pesquisa Botânica**, Rio de Janeiro, n. 51, p. 31-49, 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação Efetiva em fragmento secundário de mata atlântica. **Revista árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 257 – 262, 2003.

OVALLE, A. R. C. **Estudo Geoquímico das Águas Fluviais da Bacia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro**. Niterói, 1985. 79p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense, 1985. 79 p.

POGGIANI, F. Alterações dos ciclos biogeoquímicos em florestas. *Revista do Instituto Florestal*, n. 3, p. 734-739, 1992.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural**. 3. ed, UNISINOS: São Leopoldo, 1994. 473 p.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley and Sons, 1976. 409 p.

SCHUMACHER, M. V. et al. Aporte de cátions através da deposição atmosférica em uma floresta secundária de Itaara. In: Mauro V. Schumacher; Solon J. Longhi; Eleandro J. Brun; Ricardo V. Kilca. (Org.). **A floresta estacional subtropical: caracterização e ecologia no rebordo do planalto meridional**. Santa Maria: Mauro V. Schumacher, 2011, p. 311-319.

SCHUMACHER, M. V.; SZYMCZAK, D. A.; VIEIRA, F. Dinâmica comparativa da ciclagem de nutrientes em plantios de *Pinus taeda* e Floresta Estacional Semidecidual em Quedas do Iguaçu – PR. Santa Maria. Relatório de pesquisa, 2009. 41p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH/EDUSP, 1993. 943p. p.35-51. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4)

TUCCI, C. E. M. Interceptação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH/EDUSP, 1993. 943p. p.243-252.

WALLING, D. E. Water in the catchment ecosystem. In: GROWER, A. M. Ed. **Water quality in catchment ecosystem**. Chichester, John Wiley e Sons, p. 1-47, 1980.

WISLER, C. O.; BRATER, E. F. **Hydrology**. 2º ed. Michigan: John Wiley e Sons, Inc., 1964. 408 p.

4 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA SOLUÇÃO DO SOLO EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.

Resumo

A água é essencial para manutenção da vida no planeta Terra. A escala de utilização da água cresce a cada ano e os impactos sobre sua qualidade são cada vez maiores. A análise e monitoramento das características químicas da solução do solo são de extrema importância, pois a mesma reflete os processos biológicos e químicos ocorridos durante o transporte ou armazenamento da água no solo. O grau de modificação das características da solução do solo está diretamente associada a forma de uso da terra e ao tipo de cultura agrícola ou florestal utilizada. Nesse sentido o presente estudo teve como objetivo verificar as diferenças nas propriedades químicas da solução do solo entre um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de pastagem natural. As amostras da solução do solo foram coletadas em uma área de pastagem e um povoamento de *Pinus taeda* L., localizadas em Cambará do Sul, RS. Para as coletas foram utilizados 32 lisímetros, instalados a 30 e 60 cm de profundidade e acionados de maneira automatizada a cada 3 horas. As amostras, coletadas a cada 15 dias, foram enviadas ao laboratório, onde foram quimicamente analisadas. A média anual para o valor de pH na área de campo (pastagem) foi de 5,9 nas duas profundidades, na área com povoamento de pinus, o valor de pH médio anual foi de 7,0 na profundidade de 30 cm e de 7,4 na profundidade de 60 cm. Foi observado um aumento no valor do pH com o aumento da profundidade, porém os valores de pH no interior do povoamento de pinus foram superiores aos observados na área de pastagem. No povoamento de pinus a ordem decrescente de dominância na concentração dos elementos presentes na solução do solo à profundidade de 30 cm foi: $\text{Cl} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Nitrato} > \text{Amônio} > \text{P}$; e na profundidade de 60 cm houve uma pequena alteração nessa ordem, ficando da seguinte forma: $\text{Ca} > \text{Cl} > \text{Na} > \text{S} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{N-NO}_3^- > \text{N-NH}_4^+$. Na área de pastagem todos os íons analisados na solução do solo, apresentaram concentrações inferiores aos encontrados sob o povoamento de pinus. Considerando as diferenças nas concentrações entre as duas profundidades estudadas no povoamento de pinus, cabe destacar elementos como Cl (-41%) na profundidade de 60 cm e o Na com (-14 %) na profundidade de 60 cm. O efeito do tipo de vegetação interfere de forma decisiva nas concentrações dos elementos presentes na solução do solo.

Palavras – chave: Solos florestais. Nutrição florestal. Pastagem. Qualidade da água.

Abstract

Water is essential for sustaining life on Earth. The scale of water use grows every year and the impacts on its quality are increasing more and more. The analysis and monitoring of the chemical characteristics of the soil solution are extremely important, because it reflects the biological and chemical processes occurring during transport or storage of water in soil. The degree of change in the characteristics of the soil solution is directly tied to the form of land use and the type of crop or forest used. In this sense this chapter aimed to examine differences in the chemical properties of the soil solution between a *Pinus taeda* L. stand and a grassland area. Samples of soil solution were collected in an area of grassland and in a pinus stand, located in Cambará do Sul, RS. For collecting, were used 32 lysimeters installed at 30 and 60 cm deep and activated in an automated way every 3 hours. Samples were collected every 15 days, were sent to the laboratory where they were chemically analyzed. The average annual value of pH in the grassland was 5.9 at both depths, in the area with pinus, the annual average pH was 7.0 at a depth of 30 cm and 7.4 at a depth of 60 cm. It was observed an increase in pH with increasing depth, but the pH values within the pinus. were higher than those observed in the grassland. At the stand of pinus the descending order of dominance in the concentration of the elements present in the soil solution at a depth of 30 cm was: $\text{Cl} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Mg} > \text{K} > \text{nitrate} > \text{Ammonium} > \text{P}$, and in depth of 60 cm there was a slight change in that order, being as follows: $\text{Ca} > \text{Cl} > \text{Na} > \text{S} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{N-NO}_3^- > \text{N-NH}_4^+$. In the grassland all analyzed ions in the soil solution, presented concentration lower than those found under pinus stand. Considering the differences in concentrations between the two depths studied in pinus, we highlight elements such as Cl (-41%) at a depth of 60 cm and with Na (-14%) at a depth of 60 cm. Effect of vegetation type interferes decisively in the concentrations of elements present in the soil solution.

Keywords: Forest soils. Forest nutrition. Grassland. Water quality.

4.1 Introdução

A vida, no planeta terra, está diretamente associada à presença de água. A água é um elemento necessário para a vida dos vegetais e dos animais sobre o planeta, além disso, é extremamente importante para a manutenção do clima. Mesmo sendo um recurso renovável, a água não está sendo usada com o cuidado necessário para sua manutenção, os gastos excessivos e indiscriminados, aliados à poluição, poderão causar sérios transtornos no abastecimento futuro (SCHUMACHER; HOPPE, 1998). O aumento da utilização da água no planeta e sua contaminação por atividades desenvolvidas pelo homem tem aumentado a preocupação com sua manutenção, mobilizando todas as pessoas no sentido de preservar sua qualidade e garantir sua disponibilidade para gerações futuras (MARTINELLI, 2007).

Segundo Brandão e Lima (2002), a solução do solo é a água que ocupa parte dos espaços vazios existentes nos solos. A composição química da solução do solo retrata de forma mais dinâmica os efeitos do uso do solo, dessa forma é um importante fluxo de nutrientes, sendo muito significativo no processo de absorção de nutrientes pelas plantas (PARKER, 1983). O solo é um sistema dinâmico, influenciado pelas formas de uso e manejo adotadas. As florestas podem acarretar mudanças nas propriedades edáficas, principalmente pelo grau de proteção que oferecem ao solo contra a erosão, através da capacidade de penetrar no solo e extrair água e nutrientes e pela matéria orgânica produzida (ANDRADE, 1997). As raízes exercem uma significativa influência sobre o desenvolvimento do perfil do solo. Ao morrer, as raízes enriquecem a matéria orgânica do solo (LOPES, 2009).

A importância das florestas no balanço hídrico não está ligada ao aumento da água no solo, ou da precipitação, mas ao efeito regulador que as florestas exercem sobre esse balanço (SCHUMACHER; HOPPE, 1998). Uma característica diferencial e de extrema importância, presente nos ecossistemas florestais, e mesmo em plantações comerciais de árvores, é a presença da serapilheira. Essa camada de material orgânico depositada no piso florestal pode acumular significativa quantidade de água junto aos seus tecidos, fazendo a função de uma grande esponja e filtro, que se encharca logo após uma precipitação e, após isso, vai liberando lentamente a água acumulada e nutrientes para o solo, onde irá abastecer as raízes das plantas (LOPES, 2009).

A solução do solo, provavelmente, seja a característica que apresenta maior influência sobre o desenvolvimento e distribuição do sistema radicular (PRITCHETT, 1990; REICHERT et al., 2007). A maioria das árvores apresenta melhores taxas de crescimento em solos úmidos e bem aerados. O excesso de água no solo ocasiona uma deficiência de oxigênio e a acumulação de dióxido de carbono. Essas condições podem acarretar na redução do crescimento e ainda causar a morte das raízes (PRITCHETT, 1990). A distribuição das raízes no perfil do solo, em parte, determina o grau de aptidão da planta na retirada da solução do solo. Algumas plantas cultivadas, como o milho e a soja, ocupam majoritariamente os primeiros 25 a 30 cm do perfil, ao passo que, culturas perenes e árvores possuem sistema radicular profundo e são capazes de obter a solução do solo das camadas mais profundas do solo. Mesmo nesse caso, a absorção se dá com maior intensidade nas camadas superiores (BRADY, 1989).

A chuva que chega a copa das árvores sofre a adição de vários elementos, principalmente potássio e magnésio, essas entradas de nutrientes por meio da deposição atmosférica são uma importante fonte de reposição de nutrientes nos plantios florestais. A solução do solo sofre a influência do tipo de vegetação que ocupa o solo. De forma geral o solo sob a plantação de *Pinus taeda* apresenta valores de concentração de íons muito superiores aos verificados na solução do solo sob área de campo, principalmente de cátions básicos trocáveis e nitrogênio na forma de nitrato (CALDATO, 2011).

A análise e monitoramento das características químicas da solução do solo são de extrema importância, pois a mesma reflete os processos biológicos e químicos ocorridos durante o transporte ou armazenamento da água no solo. O grau de modificação das características da solução do solo está diretamente associada a forma de uso da terra e ao tipo de cultura agrícola ou florestal utilizada (CALIL, 2008). Medições qualitativas da solução do solo fornecem informações importantes sobre os processos envolvidos na ciclagem de nutrientes (MARQUES; RANGER, 1997).

Conforme Neu (2005), uma série de fatores bióticos como a atividade de organismos do solo e fatores abióticos de grande relevância, como as características físicas do solo, a sazonalidade pluviométrica, a acidez dos solos e os aportes atmosféricos, além do tipo de cobertura vegetal, podem interferir na dinâmica dos nutrientes na solução do solo.

A disponibilização de diversos elementos químicos, essenciais ao desenvolvimento vegetal, está relacionada aos valores de pH, tornando esse parâmetro um importante indicador das condições químicas do solo (BRANDÃO; LIMA, 2002). O fato dos vegetais obterem os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento basicamente da solução do solo, e o fato de que a solução do solo pode nos fornecer indicadores de fertilidade e acidez local, tornam de extrema importância e justificam o estudo da solução do solo (BRANDÃO; LIMA, 2002).

Nesse sentido este Capítulo teve como objetivo examinar as diferenças nas propriedades químicas da solução do solo entre um plantio de *Pinus taeda* L. e uma área de campo (pastagem).

4.2 Material e Métodos

Para realizar a coleta das amostras, utilizadas na análise e determinação da composição química da solução do solo, foram instalados lisímetros. Essa tecnologia desenvolvida no Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre – Alemanha, é utilizada pelo LABEFLO desde o ano de 2003 em estudos semelhantes, desenvolvidos no sul do Brasil.

Os lisímetros foram instalados em uma área cercada do povoamento de pinus e em uma área cercada de pastagem, localizada adjacente ao pinus. O conjunto de equipamentos automatizados, arranjados conforme a Figura 4.1, formava uma base de coleta da solução do solo. Cada base de coleta era composta por 16 lisímetros, 8 instalados a 30 cm de profundidade e outros 8 posicionados a 60 cm de profundidade.

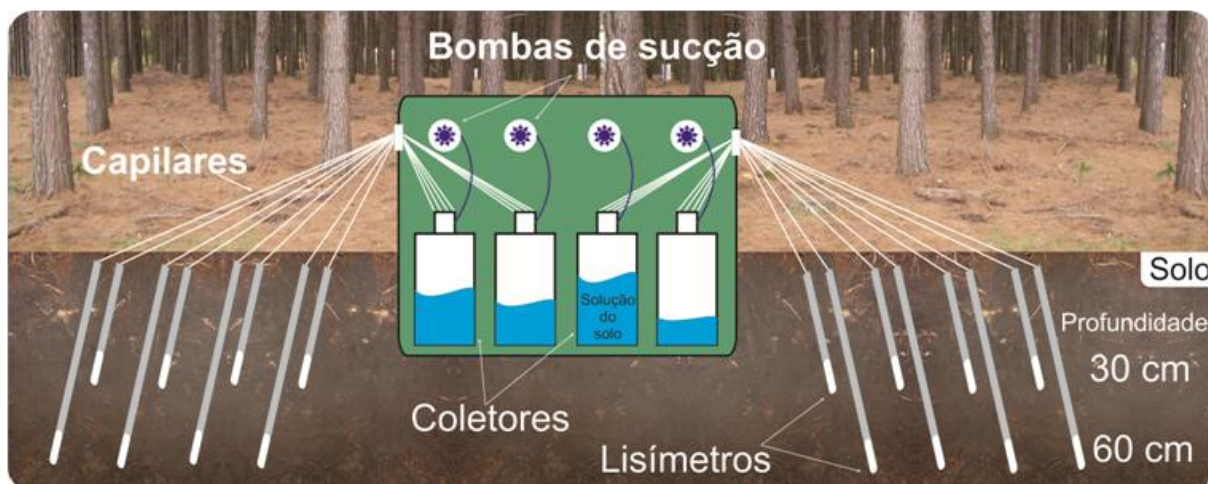


Figura 4.1 - Croqui de uma base de coleta da solução do solo, utilizada em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: Elaborado pelo autor. Fonte: elaborado pelo autor.

Na instalação, foi utilizado um trado de perfil para abrir um orifício cilíndrico até as profundidades de 30 e 60 cm, onde os lisímetros foram introduzidos e após cimentados com mesmo solo anteriormente retirado com o trado, visando manter o solo mais próximo das condições originais.

Os lisímetros eram compostos por um cano de pvc, com uma ponteira de cerâmica ultra porosa ($0,45 \mu\text{m}$). Conectado a esta cerâmica, um capilar plástico, seguia até os coletores (garrafas de vidro), que armazenam a solução do solo coletada. Cada base possuía 4 coletores, em cada coletor desembocavam 4 capilares, assim, formando-se uma amostra composta, portanto, 2 amostras compostas para profundidade de 30 cm e 2 amostras compostas para a profundidade de 60 cm.

A sucção das amostras era realizada por meio de microbombas de vácuo, acionadas por um temporizador eletrônico, ciclicamente a cada 3 horas, permanecendo ligadas durante 15 minutos, mantendo uma força de sucção entre 0,4 – 0,6 bar. No período de nov./2006 a ago./2010, a cada 15 dias, as amostras de solução do solo armazenadas nas garrafas coletoras foram coletadas pela equipe da empresa Cambará S/A, acondicionadas em potes de 0,5 litros, congeladas e encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO) da UFSM, onde foram analisadas como descrito anteriormente no Capítulo 3.

Na Figura 4.2, foi representada a área no interior do povoamento de *Pinus taeda*, onde foi instalada a base de coleta (Figura 4.2 C), assim como a disposição

dos lisímetros na linha e entre linha de plantio. Na mesma figura pode-se verificar o processo de instalação dos lisímetros com destaque para a tubulação de esgoto, utilizada para evitar danos pela fauna (roedores) (Figuras 4.2 B, E, F) e a ponteira de cerâmica ultra porosa (Figura 4.2 D).



Figura 4.2 - Aspectos da instalação do experimento em Cambará do Sul, RS, Brasil. Área após a instalação dos lisímetros (A); instalação da tubulação na área de campo (B); instalação da base de coleta da solução do solo no interior do *Pinus taeda* L. (C); Ponteira de cerâmica de um lisímetro (D); Detalhe da tubulação usada para proteção dos capilares (E) e instalação da base de coleta da solução do solo na área de campo (F). Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 pH na solução do solo

Na Figura 4.3 pode-se verificar os valores de pH da solução do solo, nas duas profundidades analisadas 30 e 60 cm, na área de campo (pastagem) e na área plantada com *Pinus taeda*, assim como os volumes em milímetros observados para precipitação pluviométrica. Durante o período estudado, nos mês de setembro para a profundidade de 60 cm no *Pinus*, assim como no mês de outubro, nas duas profundidades, não houve amostra suficiente de solução do solo para ser realizada a medição do pH.

A média anual para o valor de pH na área de pastagem foi de 5,9 nas duas profundidades analisadas (30 e 60 cm). Na área com plantio de *Pinus taeda* L. o valor médio anual foi de 7,0 na profundidade de 30 cm e de 7,4 na profundidade de 60 cm. A diferença observada entre as duas profundidades, para o pinus, está relacionada a maior demanda por nutrientes, associada a presença majoritária de raízes finas nos primeiros 30 cm de profundidade do solo (LOPES et al., 2010).

Em um estudo semelhante executado no nordeste da Argentina, Caldato (2011) analisando o pH na solução do solo sob um plantio de *Pinus taeda*, verificou um valor médio anual de 5,7 a 30 cm de profundidade e 5,9 na profundidade de 60 cm, já na área de campo os valores médios anuais ficaram em 6,2 para as duas profundidades.

Brandão e Lima (2002) analisaram o comportamento do pH em amostras de solução do solo, coletadas a 15, 30, 80, 120 e 200 centímetros de profundidade em áreas de Cerrado e de plantios de pinus, assim como amostras de água da chuva coletada nas duas áreas. Nas duas áreas, o pH apresentou um aumento nos valores, com o aumento da profundidade do solo. Em média, no pinus, o pH foi de 4,4, e na área de Cerrado de 5,0. Os autores atribuem a maior acidez nas áreas de pinus, à presença da serapilheira, produzida pela floresta, que durante sua decomposição produz compostos orgânicos, responsáveis pela acidificação do solo sob esse tipo de vegetação, fato este, não observado no presente estudo.

De forma semelhante, foi verificado um aumento no valor do pH com o aumento da profundidade, porém os valores de pH no povoamento de pinus foram

superiores aos observados na área de campo, diferindo do estudo anteriormente citado.

Esse comportamento pode estar relacionado com o constante aporte de elementos químicos originados no oceano. A névoa deposita os elementos nas copas das árvores, sendo posteriormente carregados pela chuva até o solo. No período estudado, no pinus, nos meses de julho, agosto e setembro, na profundidade de 30 cm, foram observados valores menores do que na profundidade de 60 cm, esse fato pode estar relacionado com a diminuição na concentração de elementos como o sódio e o cálcio (Tabela 4.1). Brady (1989) relacionou os baixos valores de pH com a diminuição da concentração de cálcio e magnésio e o aumento na contração de alumínio, assim como com a fixação do fósforo e a deficiência de micronutrientes.

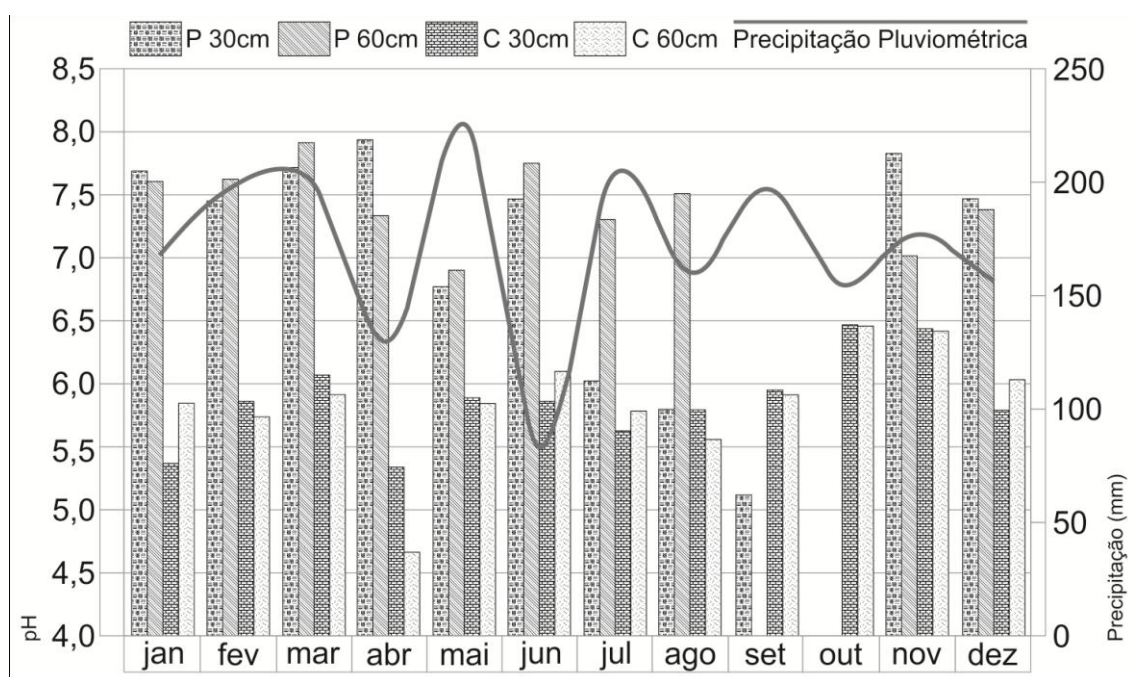


Figura 4.3 - Valores de pH observados na solução do solo a 30 e 60 cm na áreas de campo (C) e com *Pinus taeda* (P), no período de nov./2006 a ago./2010, em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Valores de pH abaixo de 4,5, podem estar relacionados a dissolução de elementos como o ferro, alumínio e manganês, podendo aumentar suas concentrações a níveis intoleráveis pelas plantas. Ao contrário, quando o pH

apresenta valores superiores a 8,0, ocorre a diminuição na capacidade de assimilação pelas plantas, interferindo no seu desenvolvimento (BRADY, 1989).

Calil (2008) avaliou o pH da solução do solo em duas profundidades distintas, 30 cm e 60 cm, em uma área de pastagem e eucalipto. Com o aumento da pluviosidade ocorreu a diluição da solução do solo, diminuindo o pH na área de pastagem, na floresta foi observado o comportamento inverso. O comportamento diferenciado da solução do solo na floresta é causado pela lavagem e carreamento de nutrientes, e outras substâncias depositadas nas copas, por meio da precipitação interna. Na área de pastagem, as águas das chuvas tem o incremento de íons provenientes do material particulado em suspensão no ar, podendo ter origens principalmente de queimadas realizadas neste ecossistema.

A maior concentração de amônia, potássio e outros elementos no povoamento do plantio de pinus, oriunda especialmente do efeito da lavagem das copas das árvores, pode explicar a elevação do pH da solução do solo, em relação a pastagem, atuando como um íon neutralizador de ânions como nitrato, sulfato e cloretos, juntamente com o sódio, potássio, cálcio e magnésio. O efeito de neutralização da amônia pode ser comprovado através do estudo de Leal et al. (2004), que avaliando o pH e composição iônica das precipitações no centro de São Paulo, SP, verificaram que a quantidade média de amônia presente na água das chuvas era de $8,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e que a mesma era a principal forma de neutralização de ânions.

4.3.2 Concentração de íons na solução do solo

De acordo com os dados da Tabela 4.1, no povoamento do *Pinus taeda*, a ordem de grandeza, na concentração dos elementos presentes na solução do solo à profundidade de 30 cm foi: $\text{Cl} > \text{Na} > \text{Ca} > \text{S} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Nitrato} > \text{Amônio} > \text{P}$; na profundidade de 60 cm houve uma pequena alteração nessa ordem, ficando da seguinte forma: $\text{Ca} > \text{Cl} > \text{Na} > \text{S} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Nitrato} > \text{Amônio}$. Esta ordem na concentração de íons esta diretamente associada às entradas observadas na Pi+Et, cuja ordem crescente foi a seguinte: $\text{Cl} > \text{Na} > \text{K} > \text{S} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P}$.

Caldato (2011), em uma plantação de pinus, observou elevadas concentrações de íons, principalmente de cátions básicos trocáveis e nitrogênio na forma de nitrato, em sua composição. Em comparação com a pastagem, os valores na concentração dos elementos estudados foram sempre superiores na solução do solo sob a plantação de pinus. Segundo a autora, a alta quantidade de nitrogênio presente na serapilheira ($219,7 \text{ Kg ha}^{-1}$) foi a principal fonte de entrada de nitrato na solução do solo sob o pinus. De forma semelhante, Neu (2005) verificou que as frações inorgânicas do nitrogênio são fortemente influenciadas pela precipitação e a vegetação. Com relação à vegetação, o autor, observou que os ecossistemas florestais apresentaram os maiores teores de nitrato verificados especialmente logo após eventos de chuva. Para o amônio e o nitrito, foi observado que o pico de maior concentração coincide com o final do período chuvoso, quando o solo apresentou o maior estoque de água, menor presença de oxigênio, e a atividade biológica passa a ser anaeróbia, que está correlacionado com fatores físicos do solo e a topografia local.

Dentre os compostos de nitrogênio, a amônia apresenta-se como uma das mais importantes fontes de nitrogênio presente na atmosfera emitida primordialmente de forma biogênica, pois sua origem se dá pela decomposição da matéria orgânica, eliminação metabólica (excretas de seres humanos e animais em geral) e através da agricultura intensiva e da queima de biomassa vegetal (atividades agrícolas e queimadas) (LEAL et al., 2004).

Souza (2006) estudando três tipologias florestais no litoral do Paraná observou, de maneira geral, que o alumínio é o cátion predominante, sendo seguido por cálcio e sódio, os quais se invertem em posição conforme a tipologia ou profundidade considerada. Com relação aos ânions, o cloreto predomina seguido pelo nitrato.

Na área de pastagem, todos os íons analisados apresentaram valores de concentração inferiores aos encontrados na solução do solo, sob o povoamento de *Pinus taeda*. Ainda na área de pastagem, os acréscimos ou decréscimos ocorridos entre as duas profundidades foram menores que no povoamento de pinus.

Assim como observado por Neu (2005), os diferentes tipos de vegetação apresentam influência na predominância dos íons presentes na solução do solo. Áreas com a presença de vegetação rasteira possuem como principal via de entrada de nutrientes a precipitação e a deposição atmosférica, nas áreas com a presença

da floresta observa-se além das entradas pela precipitação e deposição atmosférica a contribuição da serapilheira, especialmente com o cálcio e magnésio. O mesmo autor afirma que em ecossistemas sem cobertura vegetal, a principal entrada de cálcio e magnésio no sistema solo é através do intemperismo de silicatos e carbonatos, como a anortita, a calcita e a dolomita.

Considerando as diferenças nas concentrações entre as duas profundidades estudadas no plantio de *Pinus taeda*, cabe destacar elementos como cloro (-41%) na profundidade de 60 cm e o sódio (-14 %) na profundidade de 60 cm. Este comportamento da solução do solo pode ser atribuído à ação da extensa malha de raízes finas presentes nos primeiros 30 cm do solo. Conforme Lopes et al. (2010), na mesma área do presente estudo, foi verificada grande ocupação dos primeiros 10 cm de profundidade do solo por raízes finas e muito finas, no *Pinus taeda* com 32,3% e no pastagem 42,8%. A presença dessas raízes está diretamente ligada ao processo de ciclagem, possibilitando a disponibilização de nutrientes e água as duas tipologias vegetais em questão. Contribuindo a esta constatação, cabe destacar a capacidade de acumulação do spray marinho e particulados, pelas copas da árvores, que posteriormente são lavados pela chuva, diferenciando a composição química da solução do solo sob o povoamento de pinus.

Neu (2005) observou uma correlação entre o cloro e a precipitação, analisando picos de concentrações significativamente maiores no início do período chuvoso, com declínio no decorrer do período, caracterizando como principal via de entrada a precipitação pela reciclagem de sais marinhos na atmosfera. Outro aspecto verificado pelo autor foi a presença de significativas concentrações à grandes profundidades, fato atribuído à facilidade com que este é lixiviado.

Acredita-se que as consideráveis concentrações de enxofre presentes na solução do solo podem ser explicadas pelas entradas por meio da precipitação, refletindo as emissões terrestres pela presença de indústrias, por exemplo, este nutriente, após ser depositado na copa das árvores, é lixiviado até o solo. Segundo Cargil (1998), o dióxido de enxofre e outros gases da atmosfera, dissolvidos na água da chuva podem chegar contribuir com um aporte de $22 \text{ kg de S ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ao solo.

Mesmo o potássio sendo aportado em grandes quantidades pela Pi+Et, como visto anteriormente no Capítulo 3, não foram observadas concentrações elevadas na solução do solo. Isso evidencia o intenso processo de ciclagem biogeoquímica que ocorre com esse elemento. Assim que chega a solução do solo ou até mesmo antes

de chegar ao solo, ainda na camada de serapilheira (LOPES, 2009) o potássio é interceptado pela grande malha de raízes finas e volta a ser incorporado a planta.

Tabela 4.1 - Valores das concentrações médias mensais para a solução do solo no plantio de *Pinus taeda* e uma área de pastagem em Cambará do Sul, RS, Brasil. Fonte: elaborado pelo autor.

Mês	Na								Ca							
	mg l ⁻¹															
	Pinus		Pastagem		Pinus		Pastagem		Pinus		Pastagem					
	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm				
Jan	10,60	5,88	0,64	0,86	1,20	0,55	0,43	0,23	16,62	14,09	1,18	1,94				
Fev	9,50	6,88	1,33	1,29	0,80	0,75	0,26	0,28	13,29	8,22	1,41	1,66				
Mar	12,10	6,35	2,29	2,01	0,80	0,45	0,51	0,30	12,09	6,36	0,99	0,41				
Abr	13,00	7,45	1,65	1,63	0,70	0,45	0,32	0,38	0,57	2,26	0,59	1,00				
Mai	13,30	6,95	1,78	1,92	0,65	0,25	0,31	0,28	4,25	4,08	1,12	1,02				
Jun	10,80	6,40	1,56	1,89	0,50	0,50	0,22	0,16	s.a.	s.a.	1,25	0,86				
Jul	6,11	4,80	1,07	1,13	0,55	0,27	0,37	0,22	9,24	10,83	1,33	0,82				
Ago	3,49	7,48	1,10	1,28	0,80	1,45	0,27	0,37	2,37	13,62	0,80	0,54				
Set	1,82	s.a.	0,92	1,20	0,17	s.a.	0,32	0,20	2,33	s.a.	0,81	0,96				
Out	s.a. ¹	s.a.	1,88	2,42	s.a.	s.a.	0,34	0,34	s.a.	s.a.	4,60	1,93				
Nov	7,70	7,10	1,67	1,42	0,85	1,85	0,38	0,45	3,44	10,81	4,69	1,94				
Dez	1,30	6,21	1,62	1,28	0,85	0,60	0,92	0,50	15,14	6,78	2,43	2,84				
Média	8,16	6,55	1,46	1,53	0,72	0,71	0,39	0,31	7,93	8,56	1,77	1,33				

Mês	Mg				Amônio				Nitrato			
	mg l ⁻¹								mg l de N			
	Pinus		Pastagem		Pinus		Pastagem		Pinus		Pastagem	
	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm
Jan	0,92	0,76	0,29	0,43	0,03	0,03	0,06	0,11	n.d.	n.d.	0,06	n.d.
Fev	0,81	0,61	0,35	0,47	0,05	0,08	0,13	0,11	0,65	n.d.	0,10	n.d.
Mar	1,02	0,54	0,17	0,14	0,06	0,07	0,03	0,01	n.d.	0,12	n.d.	n.d.
Abr	0,99	0,50	0,18	0,27	0,02	0,01	n.d.	0,46	0,67	0,32	n.d.	n.d.
Mai	0,88	0,41	0,36	0,30	0,50	0,41	0,39	0,15	0,46	0,09	0,05	n.d.
Jun	0,74	0,71	0,18	0,25	0,59	0,42	0,25	0,21	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Jul	0,50	0,36	0,33	0,33	0,35	0,62	0,02	0,20	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Ago	0,32	0,43	0,23	0,23	0,29	0,12	0,17	0,13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Set	0,35	s.a.	0,36	0,45	0,51	s.a.	0,20	0,08	n.d.	s.a.	n.d.	n.d.
Out	s.a.	s.a.	0,63	0,63	s.a.	s.a.	0,16	0,20	s.a.	s.a.	0,12	n.d.
Nov	0,76	0,35	0,44	0,50	n.d.	n.d.	0,32	0,11	1,13	n.d.	n.d.	n.d.
Dez	1,37	0,61	0,47	0,52	0,05	0,14	0,02	0,09	0,67	0,39	n.d.	n.d.
Média	0,79	0,53	0,33	0,38	0,24	0,21	0,16	0,15	0,71	0,23	0,08	n.d.

Mês	P				S				Cl			
	mg l ⁻¹											
	Pinus		Pastagem		Pinus		Pastagem		Pinus		Pastagem	
	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm	30 cm	60 cm
Jan	n.d.	0,48	0,01	0,10	6,70	3,69	0,34	0,44	12,44	2,82	0,54	0,67
Fev	n.d.	n.d.	0,08	0,11	3,73	3,79	0,39	0,45	15,28	11,32	0,63	0,82
Mar	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,43	3,39	0,50	0,60	18,84	10,04	0,74	1,19
Abr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,64	3,56	0,37	0,42	24,97	12,41	0,74	0,99
Mai	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,26	3,42	0,40	0,56	23,84	12,44	0,80	1,05
Jun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,39	4,17	0,38	0,53	14,96	5,38	0,95	1,33
Jul	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,82	4,12	0,25	0,51	14,91	5,86	0,90	1,39
Ago	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,61	4,84	0,36	0,48	11,93	11,90	1,20	1,87
Set	n.d.	s.a.	n.d.	n.d.	2,06	s.a.	0,43	0,63	3,43	s.a.	1,22	1,52
Out	s.a.	s.a.	0,09	0,09	s.a.	s.a.	0,99	0,68	s.a.	s.a.	4,83	2,42
Nov	0,08	n.d.	0,10	0,09	1,92	7,58	0,60	0,57	6,36	4,86	1,29	1,33
Dez	n.d.	n.d.	0,09	0,10	2,01	7,67	0,52	0,58	13,50	8,43	1,08	1,19
Média	0,08	0,48	0,07	0,10	3,78	4,62	0,46	0,54	14,59	8,54	1,24	1,31

¹ Sem amostra; ² Não detectado.

O processo de lavagem das acículas é considerado como a segunda via de aporte de nutrientes no interior de povoamentos de pinus, pois por meio desta, ocorre uma aceleração na ciclagem de nutrientes principalmente de magnésio

(LIMA, 1979), assim como do potássio. Schumacher et al. (2011) também verificaram a importância da Pi+Et como principal fonte de entrada no solo de uma Floresta Estacional Subtropical de Encosta, principalmente para os seguintes elementos $K > Na > Ca > Mg$. É importante ressaltar a dinâmica de atuação do sistema radicular nos primeiros 30 cm do solo, com a absorção de bases como K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} . No caso do magnésio, por exemplo, verificou-se uma diminuição de 33% na concentração deste elemento dos 30 cm para os 60 cm de profundidade do solo.

4.4 Conclusões

Os valores de pH, foram superiores na solução do solo sob o povoamento de *Pinus taeda* do que na área com pastagem.

Na área de pastagem, o pH não se alterou, mantendo o mesmo valor para as duas profundidades de amostragem.

Na área do povoamento de *Pinus taeda*, foi verificado um aumento no valor do pH com o aumento na profundidade do solo.

O efeito do tipo de vegetação, interfere de forma decisiva nas concentrações dos elementos presentes na solução do solo.

A solução do solo, sob a plantação de *Pinus taeda*, apresenta elevada concentração, principalmente dos elementos cloro, sódio, cálcio e enxofre.

A concentração de elementos na solução do solo, sob a plantação de *Pinus taeda*, apresenta valores superiores aos verificados na solução do solo sob a área de pastagem.

Na área de pastagem, a concentração de íons, entre as profundidades de 30 e 60 cm, apresentou variação muito pequena.

A concentração de íons apresentou alterações entre as profundidades de 30 e 60 cm para a área com *Pinus taeda*, essencialmente para os elementos cloro, sódio e potássio.

4.5 Referências

ANDRADE, A. G. **Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas**. 1997. 182 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRANDÃO, S. L.; LIMA, S. C. pH e condutividade elétrica em solução do solo em áreas de *Pinus* e Cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**. 3(6). Junho/2002.

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

CALIL, F. N. **Aspectos Nutricionais de um Sistema Agroflorestal com Eucalipto no Sul do Rio Grande do Sul, Brasil**. Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal (UFSM, RS), Santa Maria, RS, Brasil. 2008.

CARGIL, FUNDAÇÃO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. Piracicaba: Potafos, 177 p., 1998.

LEAL, T. F. M.; FONTENELE, A. P. G.; PEDROTTI, J. J.; FORNARO, A. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. **Química nova**. São Paulo, v. 27, n. 6, p. 851 – 861, 2004.

LIMA, W. P. Alteração do pH, condutividade e das concentrações de Ca, Mg e P da água da chuva em floresta de *Pinus caribea* Morelet var. *caribea*. **IPEF**. São Paulo, n. 18, p. 37 – 54, 1979.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de Cima da Serra, RS**. 2009. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LOPES, V. G. et al. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul (RS). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, p.569 - 578, 2010.

MARQUES, R.; RANGER, J. Nutrient dynamics in a chronosequence of douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) France) stands on the Beaujolais Mounts (France). 1: Qualitative approach. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, p. 255–277, 1997.

MARTINELLI, S. Indicadores microbiológicos e padrões de qualidade da água. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Eds.). **Micro biota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. 312p.

NEU, V. **Influência da cobertura vegetal na ciclagem de nutrientes via solução do solo na região de Manaus – AM**. 2005. 110f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PARKER, G. G. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. **Advances in Ecological Research**, Great Britain, v. 13, p.57–133, 1983.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. Impreso no México, 1990. 634 p.

REICHERT, J. M. ; SUZUKI, L. E. A. S. ; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Org.). **Tópicos em Ciência do Solo**. v. 5 Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. A floresta e a água. 1. ed. Porto Alegre: Pallotti, 1998. 70 p.

SCHUMACHER, M. V. et al. Aporte de cátions através da deposição atmosférica em uma floresta secundária de itaara. In: Mauro V. Schumacher; Solon J. Longhi; Eleandro J. Brun; Ricardo V. Kilca. (Org.). **A floresta estacional subtropical: caracterização e ecologia no rebordo do planalto meridional**. Santa Maria: Mauro V. Schumacher, 2011, p. 311-319.

SOUZA, L. C. **Dinâmica de nutrientes na precipitação, em solução de solo e lençol freático em três tipologias florestais sobre espodossolo, no litoral do Paraná**. 2006. 131f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

5 BIOMASSA E ESTOQUE DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.

Resumo

A manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo bem como da produtividade de biomassa das espécies arbóreas de rápido crescimento esta ligada diretamente ao processo de ciclagem de nutrientes. Desse modo, destaca-se a importância na condução de estudos focados na quantificação de biomassa e nos diferentes componentes da árvore e do ecossistema. O objetivo do presente estudo foi de quantificar a biomassa e o estoque de nutrientes em uma plantação comercial de *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade localizada em Cambará do Sul, RS. A amostragem e determinação da biomassa foi realizada a partir do abate de 15 árvores, 3 por classe diamétrica. As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e a biomassa fracionada nos seguintes componentes: acícula, galho vivo, galho morto, casca do fuste, madeira do fuste, casca do ponteiro e madeira do ponteiro. Também foram coletadas 15 amostras de serapilheira acumulada. Após secas e moídas as amostras para a determinação dos teores de nutrientes foram enviadas ao Laboratório de Ciência do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Albert Ludwigs, na cidade de Freiburg, Alemanha. Com 701 árvores por hectare e um incremento médio anual de $25,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o povoamento de *Pinus taeda* L. apresentou um diâmetro médio de 29,4 cm, variando entre o mínimo de 21,8 cm e o máximo de 39,5 cm, a altura média foi de 19,9 m apresentando valor mínimo de 18,4 m e máximo de 21,4 m. A biomassa relativa de cada componente, nas cinco classes diamétricas (20-23,9; 24-27,9; 28-31,9; 32-35,9; 36-39,9), apresenta uma tendência decrescente da biomassa relativa de casca com o aumento do diâmetro das árvores. A sequência decrescente de acúmulo de biomassa foi: madeira do fuste > casca do fuste > galho vivo > galho morto > acícula > madeira do ponteiro > casca do ponteiro. A biomassa de serapilheira acumulada foi de $21,23 \text{ Mg ha}^{-1}$. Considerando a biomassa arbórea o estoque de nutrientes em Kg ha^{-1} foi de: 421,65 de N; 39,37 de P; 173,46 de K; 176,59 de Ca; 55,47 de Mg; 43,27 de S; 91,91 de Na; 0,790 de Cu; 8,83 de Fe; 27,51 de Mn e 1,06 de Zn.

Palavras – chave: Biomassa. Nutrição florestal. Silvicultura. Sustentabilidade.

Abstract

The maintenance of the stock of mineral nutrients in the soil and the biomass productivity of fast-growing tree species is linked directly to the process of nutrient cycling. Thus, we highlight the importance of conducting studies focused on the quantification of biomass and the different components of the tree and ecosystem. The objective of this chapter was to quantify the biomass and nutrient stocks in a 18 years commercial plantation of *Pinus taeda* L. at 18 years old located in Cambará do Sul, RS. The sampling and measurement of biomass has been performed from the falling of 15 trees, 3 per diameter class. Selected trees were cut at ground level and biomass fractionated into the following components: needles, live branch, dead branch, bole bark, bole wood, tree top bark and tree top wood. Were also collected 15 samples of litter accumulated. The samples were sent to the laboratory. After dried and ground the samples for were sent to the Laboratory of Soil Science and Plant Nutrition Albert Ludwigs University in the city of Freiburg, Germany for analyze the level of nutrients. With 701 trees per hectare and an average annual increment of $25.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, the stand of *Pinus taeda* L. had an average diameter of 29.4 cm, ranging between a minimum of 21.8 cm and a maximum of 39.5 cm, the average height was 19.9 m presenting minimum value of 18.4 m and a maximum of 21.4 m. Relative biomass content of each component in the five diameter classes (20-23,9; 24-27,9; 28-31,9; 32-35,9; 36-39,9), shows the descending tendency of the biomass relative to the bark with the increase of the trees diameter. The sequence of descending biomass accumulation was: stem wood > bark bole > branch > dead branch > needle > tree top wood > tree top bark. The accumulated litter biomass was 21.33 Mg ha^{-1} . Considering the tree biomass the stock of nutrients in kg ha^{-1} was: 421.65 N, P 39.37; 173.46 K, 176.59 Ca, Mg 55.47, 43.27 to S; 91.91 Na, 0, 790 Cu, 8.83 Fe, 27.51 Mn 1.06 and Zn.

Keywords: Biomass. Forest nutrition. Silviculture. Sustainability.

5.1 Introdução

A medida que novas tecnologias vão sendo desenvolvidas, proporcionam o desenvolvimento da população, aumentando as demandas por recursos provenientes da natureza. Com a crescente pressão sobre os recursos naturais, especialmente no que se refere à madeira, surgem novas técnicas de produção florestal, que visam o aumento da produtividade de biomassa no menor período de tempo possível.

Proporcional as altas produtividades serão as demandas por nutrientes, que poderão não ser supridas apenas pelo sítio, necessitando suplementação de nutrientes por meio de fertilizantes, especialmente em sítios com baixa fertilidade e submetidos a colheitas com intensa retirada de biomassa (SCHUMACHER et al., 2006).

Nos povoamentos florestais de rápido crescimento, ocorre intensa absorção de nutrientes do solo e consequente acúmulo de grandes quantidades de biomassa. Esta biomassa cumulada pelas árvores, quando retirada, por ocasião de desbastes ou colheita pode impactar negativamente no sítio, diminuindo sua capacidade produtiva. Para manutenção dos povoamentos florestais como recurso renovável é necessário que sejam conhecidos e respeitados princípios básicos de conservação (POGGIANI, 1980).

A ciclagem de nutrientes em florestas pode ser avaliada através da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos ou estágios de desenvolvimento e a quantificação das taxas de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos. Podem ser considerados como compartimentos a biomassa aérea das árvores, a serapilheira acumulada sobre o solo, a biomassa das raízes, a vegetação do sub-bosque e o solo (POGGIANI; SCHUMACHER, 2004).

As pesquisas sobre o ciclo de nutrientes de uma floresta ou mesmo em uma plantação são de fundamental importância, possibilitando a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazo, tanto em relação à produtividade, como em relação às características do solo, e possibilita a adoção de medidas que garantam a manutenção da capacidade produtiva dos sítios destinados a silvicultura.

Os principais mecanismos responsáveis pela transferência de nutrientes da biomassa de espécies arbóreas para o solo são a produção de serapilheira, a lavagem de vegetação pela chuva que extrai substâncias minerais e orgânicas das

estruturas da parte aérea e a decomposição da biomassa morta que inclui a serapilheira e raízes (SANCHEZ,1976; GONZÁLEZ; GALLARDO, 1986).

Desse modo, destaca-se a importância na condução de estudos focados na quantificação de biomassa em povoamentos florestais, considerando diferentes idades, bem como os diferentes componentes da árvore e do ecossistema (Watzlawick et al. 2004; Watzlawick et al. 2005)

A manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo bem como da produtividade de biomassa das espécies arbóreas de rápido crescimento esta ligada diretamente ao processo de ciclagem de nutrientes. Nesse sentido, este Capítulo teve por objetivo quantificar a produção de biomassa e o estoque de nutrientes em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, localizado em Cambará do Sul, RS.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Amostragem e determinação da biomassa

Com o objetivo de caracterizar o povoamento quanto às variáveis dendrométricas diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, em janeiro de 2011, quando o plantio estava com 18 anos, foi realizado um inventário florestal pela equipe de pesquisa da empresa Cambará S/A. A partir das informações do inventário, a amplitude diamétrica do povoamento foi dividida em 5 classes de diâmetro (20-23,9; 24-27,9; 28-31,9; 32-35,9; 36-39,9) com amostragem de três árvores distribuídas em cada classe (terço inferior, terzo médio e terzo superior da classe), totalizando 15 árvores. Em janeiro de 2011, as árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e a biomassa compartimentalizada nos seguintes componentes: acícula (A), galho vivo (GV), galho morto (GM), casca do fuste (CF), madeira do fuste (MF), casca do ponteiro (CP) e madeira do ponteiro (MP). Após, cada componente da biomassa foi pesado com balança de gancho (Figura 5.1).

A estimativa da biomassa foi obtida pela média das 15 árvores abatidas, ponderada pelo número de árvores por hectare em cada classe de diâmetro. Para o diâmetro mínimo do fuste (diâmetro comercial mínimo), foi considerado a medida mínima de 8 cm. Em janeiro de 2011, para avaliar a serapilheira acumulada sobre o

solo, foi utilizada, uma moldura de ferro de 25 cm x 25 cm. As 15 amostras, foram coletadas de forma aleatória, no interior do povoamento.

Foram coletadas amostras representativas de cada componente da biomassa, que foram pesadas no campo com balança de precisão e acondicionadas em sacos de papel. No Laboratório, as amostras foram secas a 70°C, em estufa de circulação e renovação de ar, até a estabilização do peso e pesadas novamente para determinação do teor de umidade. A determinação da biomassa seca das árvores foi realizada indiretamente através do teor de umidade das amostras de cada componente. No caso da casca e da madeira do tronco, foram coletadas 3 amostras (base, meio e ápice do tronco) e utilizado o teor de umidade médio. Pela pequena quantidade, a determinação do teor de umidade da serapilheira foi feito diretamente através da secagem e pesagem de cada amostra.



Figura 5.1 - Aspectos da metodologia utilizada na coleta de biomassa. Abate da árvore (A), separação das acículas (B), descasque dos toretes (C) e equipe separando acículas e galhos (D). Fonte: elaborado pelo autor.

5.2.2 Estimativa do estoque de nutrientes na biomassa

No Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM as amostras de biomassa, após terem sido secas e pesadas, foram moídas em um moinho do tipo Wiley, com peneira de 30 mesh. Para análise química, foram elaboradas amostras de acículas, galhos vivos e mortos, casca e madeira do ponteiro. As amostras da madeira e casca do fuste foram obtidas nas 3 diferentes posições (Base, meio e ápice do fuste), a fim de amostrar possíveis variações nos teores de nutrientes.

As determinações dos teores de nutrientes presentes na biomassa foram realizadas no Laboratório de ciência do solo e nutrição de plantas do Instituto de Ciência do solo e Ciências Florestais da Universidade Albert Ludwigs, na cidade de Freiburg, Alemanha (Figura 5.2). Foram determinados: N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Cu, Fe, Mn e Zn; o carbono orgânico total e o nitrogênio total por via seca no aparelho denominado CNS - Analysator Carlo Erba NA 1500. Os demais nutrientes foram obtidos por meio de digestão em ácido HNO_3 (65%) e posterior determinação no ICP (Inductively Coupled Plasma). O estoque de nutrientes foi estimado a partir do produto entre os teores médios determinados e a biomassa seca.

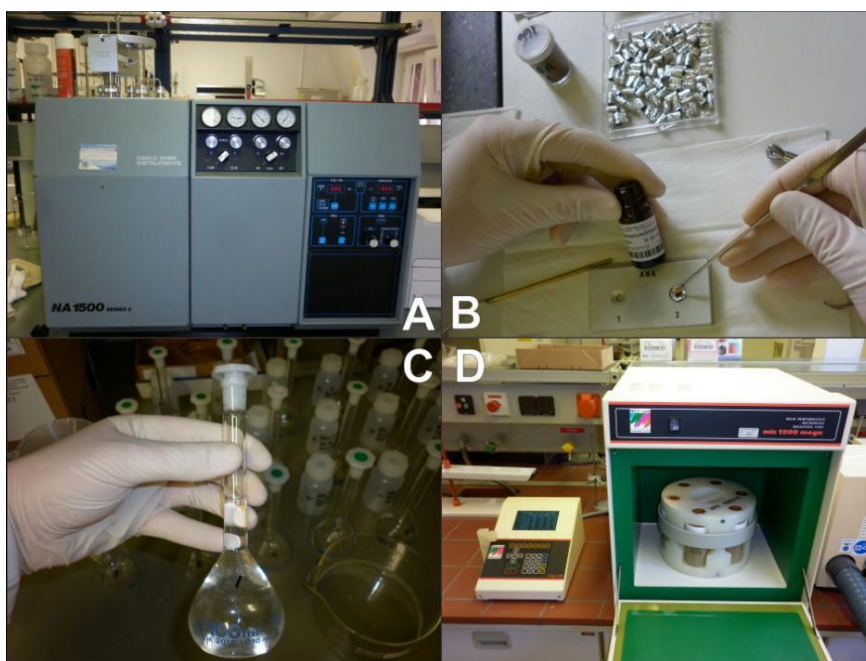


Figura 5.2 - Aspecto do equipamento CNS, utilizado na determinação do nitrogênio (A); processo de confecção das cápsulas usadas na determinação do nitrogênio (B); aspecto da solução obtida (C) após o processo de digestão realizado com o auxílio de um microondas (D). Fonte: elaborado pelo autor.

5.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 5.1 podem ser verificadas as variáveis dendrométricas obtidas no povoamento de *Pinus taeda*, aos 18 anos de idade, com 701 árvores por hectare e um incremento médio anual de $25,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O diâmetro médio foi de 29,4 cm, variando entre o mínimo de 21,8 cm e o máximo de 39,5 cm. A altura média foi de 19,9 m, apresentando valor mínimo de 18,4 m e máximo de 21,4 m.

Witschoreck (2008) estudando a mesma espécie com 17 anos de idade, no mesmo município, verificou valores semelhantes para o DAP (33,0 cm), altura (20,7 m) e volume com casca de $546,20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Caldato (2011), em um plantio com *Pinus taeda* no nordeste argentino, verificou valores de 23,1 cm, 21,0m, $491,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente para DAP, altura e volume com casca.

Tabela 5.1 - Médias, desvios-padrão, coeficientes de variação para variáveis dendrométricas obtidas no plantio comercial *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Variável	¹ DAP (cm)	² H (m)	³ G (m^2)	⁴ V_{clc} ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)
Média	29,41	19,93	48,55	460,88
Desvio padrão	4,03	0,98	4,37	47,80
Coeficiente de variação	13,70	4,89	9,00	10,37

¹ DAP = Diâmetro a altura do peito; ² H = Altura total; ³ G = Área basal por hectare; ⁴ V_{clc} = Volume com casca.

A amostragem da biomassa foi realizada com base na distribuição diamétrica abaixo exposta (Figura 5.3). A distribuição diamétrica do povoamento estudado apresenta conformação normal típica de povoamentos equiâneos, conforme Finger (1992), com as maiores frequências, em número de árvores por hectare, distribuídas em torno do diâmetro médio do plantio.

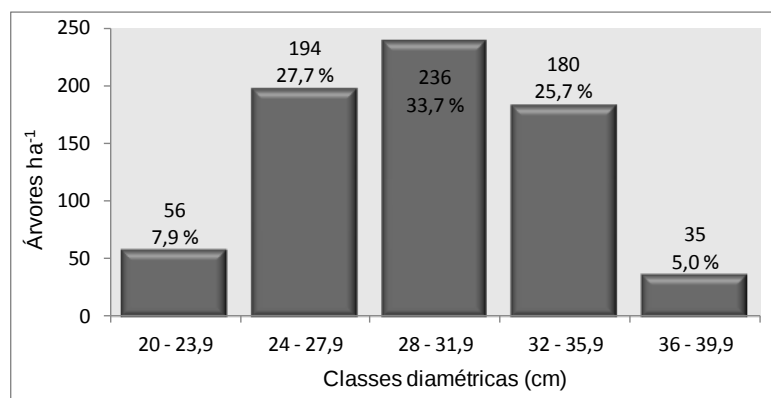


Figura 5.3 - Distribuição diamétrica do plantio comercial de *Pinus taeda* aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 5.2 podem ser visualizados os valores médios, desvios-padrão, coeficientes de variação, valores mínimos e máximos para biomassa individual das árvores e da serapilheira acumulada no solo, no plantio de *Pinus taeda* aos 18 anos de idade em Cambará do Sul. Observando os valores do coeficiente de variação obtido para os diferentes compartimentos da biomassa analisados, verificou-se uma variabilidade dos dados semelhantes à observada por Caldato (2011) e inferior à observada por Witschoreck (2008).

Na Figura 5.4, foi representado o comportamento da biomassa relativa de cada componente nas cinco classes diamétricas. Fica evidente a tendência decrescente da biomassa relativa de casca com o aumento do diâmetro das árvores. A biomassa relativa de cada componente varia conforme a classe diamétrica. A biomassa relativa de galhos vivos apresenta a tendência de aumento dos menores para os maiores diâmetros das árvores. A biomassa relativa de madeira e acículas apresentou uma pequena variação nas diferentes classes de diâmetro. Andrae (1978) explica que a biomassa do tronco tende a aumentar com o envelhecimento do povoamento. Esse aspecto pode ser influenciado ainda pela fertilidade do solo, alterando o acúmulo de biomassa no tronco em detrimento da priorização principalmente do desenvolvimento do sistema radicular.

Tabela 5.2 - Médias, desvios-padrão, coeficientes de variação, valores mínimos e máximos para biomassa individual, observados em um plantio comercial de *Pinus taeda* aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Compartimento	Média (kg árvore ⁻¹)	Desvio padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo
Acícula	12,21b	5,80	47,49	2,85	21,69
Galho vivo	24,52b	16,84	68,69	4,36	63,60
Galho morto	13,26b	6,09	45,91	4,89	23,48
Casca do fuste	27,17b	12,28	45,21	12,30	56,12
Madeira do fuste	195,92a	80,80	41,24	75,28	339,01
Casca do ponteiro	1,33b	0,14	50,32	0,13	0,51
Madeira do ponteiro	0,29b	0,46	35,30	1,10	4,74
Biomassa da copa	51,61	26,80	51,92	18,00	106,39
Biomassa arbórea	274,69	106,70	38,84	126,39	436,85
Serapilheira	30,42	9,60	31,56	20,04	59,72
Biomassa acima do solo	305,11	114,35	37,48	147,21	496,57

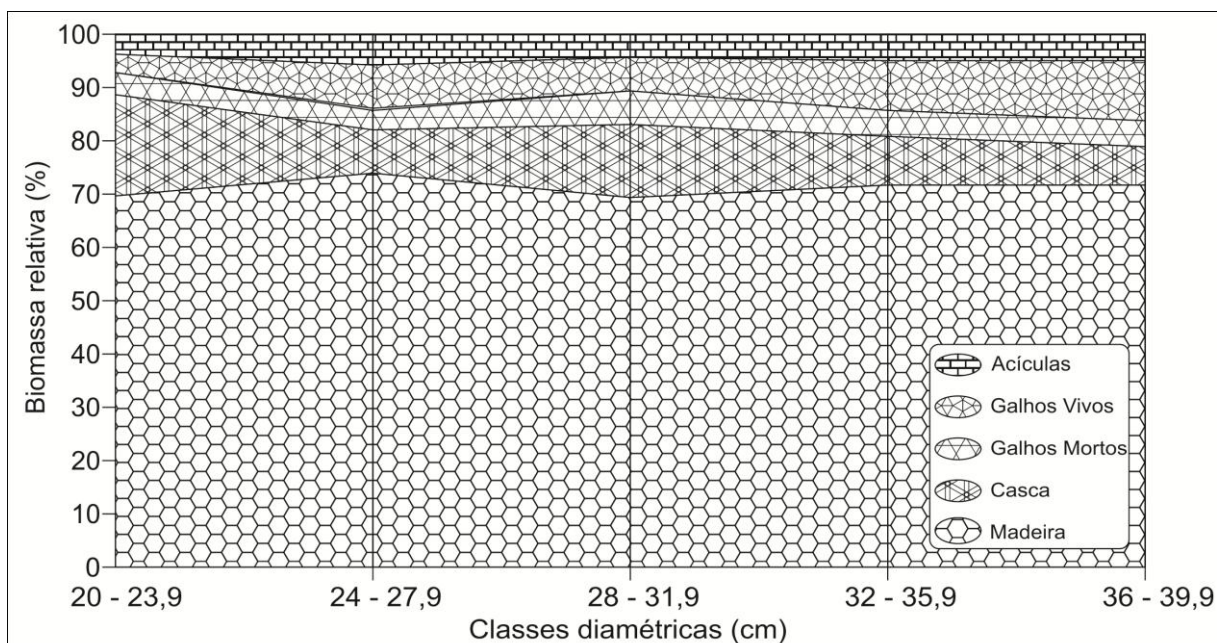


Figura 5.4 - Variação da biomassa relativa de cada componente nas cinco classes diamétricas em um plantio comercial de *Pinus taeda* aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 5.3, é possível verificar a distribuição absoluta e relativa da biomassa nos diferentes compartimentos do plantio em estudo. A compartimentalização da biomassa nas diferentes partes das árvores apresentou a seguinte sequência decrescente de acúmulo: madeira fuste > casca fuste > galho vivo > galho morto > acícula > madeira do ponteiro > casca do ponteiro.

Balbinot et al. (2008), estudando a biomassa em povoamentos de *Pinus taeda* com 14 e 32 anos, encontrou em ordem decrescente de produção de biomassa: madeira do fuste > galhos vivos > raiz > casca > acículas > galhos mortos, no povoamento com 14 anos. E no povoamento com 32 anos obteve a sequência: madeira do fuste > galhos vivos > casca > raiz > acículas > galhos mortos. Comparado a este estudo, verifica-se praticamente a mesma ordem na compartimentalização da biomassa arbórea, apenas com a inversão da casca, que foi maior que os galhos vivos.

Sixel (2012) trabalhando com aspectos relacionados à sustentabilidade da produtividade de madeira de *Pinus taeda* com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes, verificou que acúmulo de biomassa seca aumentou com o aumento dos valores de DAP. Divergindo, em parte, de Balbinot et al. (2008), que

verificaram um pequeno aumento no valor da biomassa do fuste e praticamente o mesmo valor de biomassa arbórea, em povoamentos de 14 e 32 anos.

Tabela 5.3 - Compartimentalização da biomassa em um plantio comercial de *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Compartimento	Biomassa (Mg ha ⁻¹)	Biomassa relativa (%)	
		Acima do solo	Arbórea
Acícula	8,65	4,1	4,5
Galho vivo	16,06	7,6	8,4
Galho morto	9,50	4,5	5,0
Casca ponteiro	0,20	0,1	0,1
Madeira ponteiro	0,95	0,4	0,5
Casca fuste	19,29	9,1	10,1
Madeira fuste	135,91	64,1	71,3
Biomassa da copa	35,36	16,7	18,6
Biomassa arbórea	190,56	89,9	100,0
Serapilheira acumulada	21,33	10,1	-
Biomassa acima do solo	211,89	100,0	-

Na Tabela 5.4 são apresentadas as concentrações de nutrientes, onde é possível verificar a variação entre os componentes da biomassa e os diferentes nutrientes dentro de cada componente. Segundo Pallardy (2008) os teores de nutrientes presentes na biomassa da planta diferem entre e dentro dos componentes da biomassa arbórea pela ação da ciclagem bioquímica que desloca nutrientes dos tecidos mais velhos para os locais com maior atividade metabólica.

Na acícula, para N, P e K, foram verificados os maiores teores, comparado aos outros componentes da biomassa. Witschoreck (2008), aponta o componente acícula como mais importante sob o ponto de vista metabólico da planta, fato evidenciado pelos altos teores de nutrientes nesse componente da biomassa, diferentemente, os componentes com função estrutural ou de condução apresentam teores inferiores.

Valeri (1988) estudando a exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades, verificou que os valores nos teores de N, P, K, Mg e Mn foram mais elevados nos ramos vivos do que nos mortos. Na serapilheira acumulada sob o povoamento de 14 anos verificou os seguintes pesos de nutrientes, em kg ha⁻¹: 184,96 de N, 13,39 de P, 8,42 de K, 87,52 de Ca, 14,20 de Mg, 21,31 de Fe, 6,25 de Mn, 0,114 de Cu, 0,2 31 de Zn e 0,751 de B.

Tabela 5.4 – Teores (g kg^{-1}) de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa de *Pinus taeda* L. aos 18 anos de idade em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Compartimento	N	P	K	Ca g kg^{-1}	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
								mg kg^{-1}			
Acícula	13,76	1,18	4,06	1,93	0,69	0,99	0,24	2,63	122,60	485,23	12,93
Desvio Padrão	0,10	140,08	416,65	428,43	103,88	65,03	90,64	2,56	38,43	141,94	7,48
CV%	7,59	11,88	10,25	22,23	15,15	6,56	37,51	97,20	31,35	29,25	57,85
Galho vivo	3,22	0,31	1,16	1,99	0,52	0,31	0,10	5,55	129,97	238,82	14,37
Desvio Padrão	0,06	69,00	236,80	385,49	79,83	48,46	34,75	2,08	31,85	56,86	13,88
CV%	17,44	22,41	20,44	19,33	15,30	15,49	33,26	37,47	24,51	23,81	96,59
Galho morto	2,78	0,17	0,45	2,58	0,44	0,33	0,70	4,57	187,09	289,54	5,80
Desvio Padrão	0,10	56,49	200,43	517,34	89,12	78,74	25,58	1,18	57,09	61,05	6,37
CV%	34,22	32,77	44,10	20,08	20,14	24,16	36,59	25,87	30,52	21,08	109,90
Casca ponteiro	6,38	0,72	3,44	1,01	0,79	0,68	0,89	5,45	196,17	136,02	36,86
Desvio Padrão	0,07	82,88	600,08	251,65	210,43	100,25	35,29	1,16	58,18	37,86	14,21
CV%	10,91	11,53	17,42	24,90	26,77	14,79	39,71	21,18	29,66	27,83	38,55
Madeira ponteiro	1,77	0,21	1,16	0,52	0,24	0,20	0,40	4,93	8,84	97,82	3,89
Desvio Padrão	0,03	36,39	204,95	91,51	24,27	33,46	33,52	1,72	11,78	28,64	2,87
CV%	19,12	17,65	17,73	17,68	9,95	16,92	84,46	34,77	133,27	29,28	73,78
Casca fuste	3,57	0,31	1,53	0,83	0,48	0,43	0,50	4,71	133,02	89,11	12,80
Desvio Padrão	0,09	117,35	637,69	269,66	175,81	115,90	35,85	1,19	69,91	34,20	10,63
CV%	24,12	37,51	41,60	32,47	36,35	27,18	72,28	25,37	52,56	38,38	83,06
Madeira fuste	1,09	0,12	0,60	0,63	0,20	0,13	0,52	3,92	8,59	108,54	2,78
Desvio Padrão	0,03	41,83	170,41	131,74	42,69	30,29	52,01	1,59	10,29	31,13	3,17
CV%	25,71	36,30	28,49	20,87	21,79	23,51	100,08	40,65	119,87	28,68	114,01
Serapilheira acumulada	9,92	0,73	0,71	3,15	0,61	1,08	0,37	14,39	3482,97	1213,19	15,63
Desvio Padrão	0,18	101,18	103,40	427,66	118,80	150,28	260,54	4,01	1490,31	362,22	11,14
CV%	18,11	13,82	14,56	13,59	19,46	13,96	70,50	27,86	42,79	29,86	71,29

Valeri e Reissmann (1989) estimaram a quantidade de serapilheira acumulada, bem como a sua composição química em povoamentos de *Pinus taeda* L. de diferentes idades no Paraná. A quantidade de serpilheira acumulada sob os povoamentos aumenta com a idade, levando a crer, porém, que pode ocorrer uma estabilização em idades posteriores, uma vez que a maior intensidade de aumento no acúmulo de manta se dá entre os 7 e 10 anos. Os maiores teores de elementos químicos foram encontrados no povoamento com 7 anos, o que pode representar a influência da qualidade do sítio na qualidade da manta. Tal fato é compensado pelo aumento na quantidade de manta acumulada com a idade, o que disponibilizará nutrientes para serem reabsorvidos a taxas proporcionais à velocidade de decomposição do material.

A ciclagem bioquímica é importante para a manutenção dos nutrientes de maior mobilidade, como é o caso do N, P, K e Mg, e menos importante para o Ca, S e micronutrientes, pouco móveis (POGGIANI; SCHUMACHER, 2004). Witschoreck (2008) verificou uma elevação no teor dos nutrientes, na madeira do tronco, aumentando da base da árvore em direção ao ápice. O mesmo autor relacionou esse comportamento com o importante processo de diferenciação de tecidos que é a

transformação de alburno em cerne. A diferença no teor dos nutrientes entre galho vivo e galho morto é outra evidência da ciclagem interna e da diferença de mobilidade dos nutrientes no tecido vegetal.

É importante chamar a atenção para os altos valores observados na serapilheira acumulada para o Fe, fato possivelmente causado pela contaminação por partículas de solo presentes na mesma.

Na Tabela 5.5 pode-se verificar a quantidade de nutrientes, nos vários compartimentos do povoamento de *Pinus taeda*. Considerando-se a biomassa arbórea total (Acícula+Galho vivo+Galho morto+Casca ponteiro+Madeira ponteiro+Casca fuste+Madeira fuste), o acúmulo de nutrientes apresenta a seguinte seqüência: $N > Ca > K > Na > Mg > S > P > Mn > Fe > Zn > Cu$, seguindo praticamente a mesma tendência observada por Witschoreck (2008) ($N > Ca > K > Mg \sim S > P > Fe > Mn > B \sim Zn > Cu$) em uma pesquisa realizada com a mesma espécie, idade e na mesma região do presente estudo.

Assim como observado por Witschoreck (2008), em função da grande diferença no teor de nutrientes entre os componentes das árvores, a partição de nutrientes não obedece ao padrão de alocação de biomassa. Tendo em vista que em termos médios, os componentes da copa apresentam maior teor de nutrientes, apesar de acumular somente 19% da biomassa arbórea, possui os teores superiores a 35 % com destaque para o N (48,6%) e exceto para o Na (12,7%) e o Cu (21,1%).

No mesmo sentido, Poggiani (1980) chama atenção para a grande quantidade de nutrientes acumulados na pequena quantidade de biomassa da copa das árvores quando comparado a biomassa total da árvore. Isto remete a importância desse compartimento da biomassa arbórea, revelando sua importância ecológica no ecossistema florestal.

Ainda mais diferenciado é o comportamento das acículas, que com apenas 4,5% da biomassa arbórea, acumulam 28,2 % do N, 25,9% do P e 20,3% do K.

Na Figura 5.5 foi representada a distribuição relativa dos nutrientes dentro de cada componente da biomassa arbórea. Cabe destacar que, mesmo que a madeira do fuste, em termos médios, apresente os menores teores de nutrientes, em decorrência da grande alocação de biomassa, esse componente possui os maiores estoques, para a maioria dos nutrientes, especialmente para o Na e o Cu.

Tabela 5.5 - Estoque de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa de *Pinus taeda* aos 18 anos de idade em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	Na				
	kg ha ⁻¹							g ha ⁻¹			
Acícula	119,05	10,20	35,15	16,67	5,93	8,57	2,09	22,75	1060,47	4197,25	111,82
Galho vivo	51,69	4,95	18,61	32,03	8,38	5,02	1,68	89,09	2087,39	3835,41	230,73
Galho morto	26,41	1,64	4,32	24,48	4,20	3,10	6,64	43,37	1777,36	2750,62	55,07
Casca ponteiro	5,23	0,59	2,82	0,83	0,64	0,56	0,73	4,47	160,86	111,54	30,23
Madeira ponteiro	2,58	0,30	1,69	0,76	0,36	0,29	0,58	7,20	12,90	142,82	5,68
Casca fuste	68,91	6,03	29,57	16,02	9,33	8,23	9,57	90,83	2565,87	1718,99	246,95
Madeira fuste	147,78	15,66	81,30	85,80	26,63	17,51	70,63	532,44	1166,80	14752,01	377,75
Biomassa da copa	204,96	17,68	62,59	74,77	19,51	17,53	11,72	166,88	5098,98	11037,64	433,53
Biomassa arbórea	421,65	39,37	173,46	176,59	55,47	43,27	91,91	790,15	8831,64	27508,64	1058,23
Serapilheira acumulada	211,49	15,62	15,15	67,10	13,02	22,96	7,88	306,99	74291,69	25877,32	333,36
Biomassa acima do solo	633,14	54,99	188,61	243,69	68,49	66,22	99,79	1097,14	83123,34	53385,95	1391,59

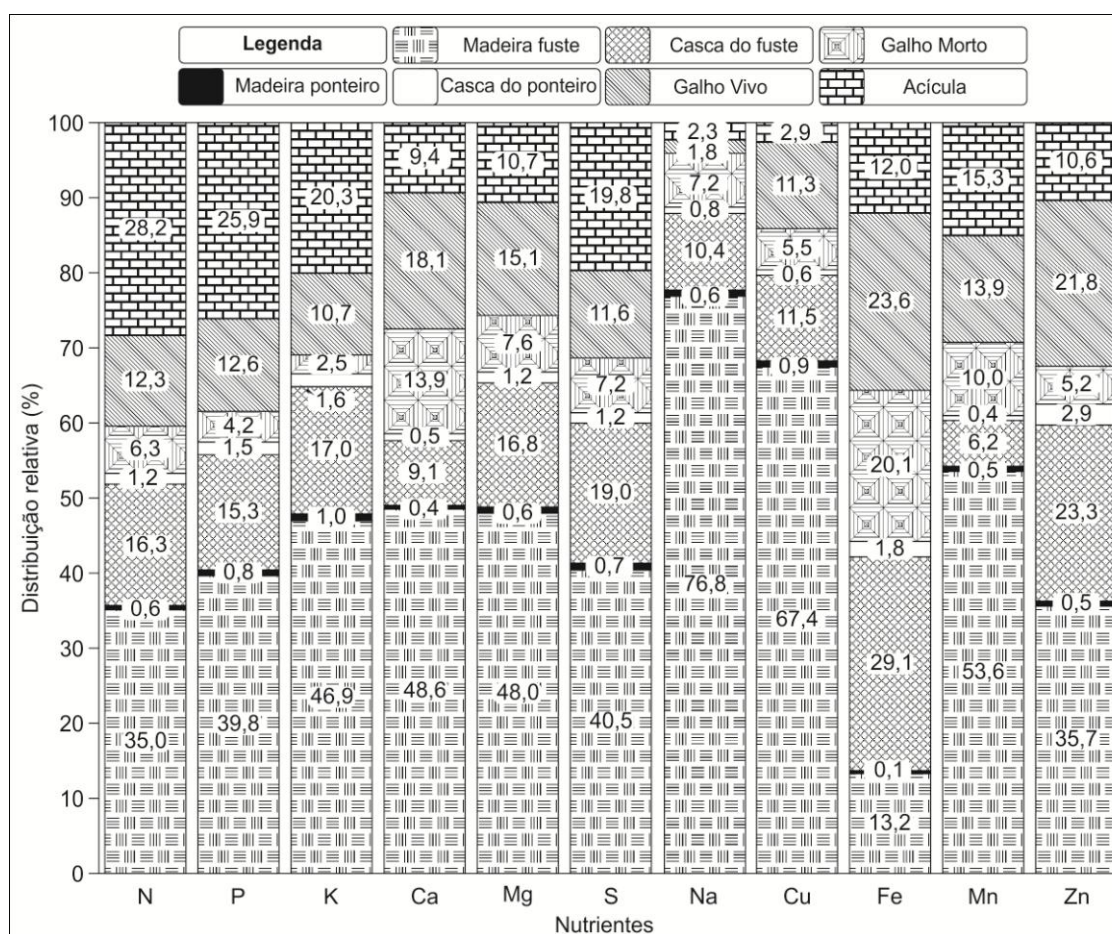


Figura 5.5 - Distribuição relativa dos nutrientes nos diferentes componentes da biomassa arbórea do *Pinus taeda* aos 18 anos de idade em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

5.4 Conclusões

A biomassa arbórea foi de 190,56 Mg ha⁻¹ distribuídos nos diferentes componentes da biomassa, na seguinte sequência de acúmulo, em Mg ha⁻¹: madeira do fuste 135,91; casca do fuste 19,29, galho vivo 16,06, galho morto 9,50, acícula 8,65, madeira do ponteiro 0,95 e casca do ponteiro 0,20.

Considerando a biomassa arbórea (madeira do fuste, casca do fuste, galho vivo, galho morto, acícula, madeira do ponteiro e casca do ponteiro) o estoque de nutrientes em Kg ha⁻¹ foi de: 421,65 de N; 39,37 de P; 173,46 de K; 176,59 de Ca; 55,47 de Mg; 43,27 de S; 91,91 de Na; 0,790 de Cu; 8,83 de Fe; 27,51 de Mn e 1,06 de Zn.

A biomassa do fuste (madeira + casca) apresentou mais de 50% do estoque de nutrientes, exceto para o Fe.

A biomassa de serapilheira acumulada foi de 21,33 Mg ha⁻¹, com um estoque de nutrientes, em kg ha⁻¹, de 211,49 de N; 15,62 de P; 15,15 de K; 67,10 de Ca; 13,02 de Mg; 22,96 de S; 7,88 de Na; 306,99 de Cu; 25,87 de Mn e 0,33 de Zn.

5.5 Referências

- ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1978. 230 p.
- BALBINOT, R. et al. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.
- CALDATO, S.L. **Ciclagem biogeoquímica dos nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L. no nordeste argentino**. 2011. 106 f. Tese (Doutorado em Silvicultura) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- FINGER, C. A. G. Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

GONZÁLEZ, M. I. M.; GALLARDO, J. F. El efecto hojarasca: una revisión. **Anales de edafología y agrobiología**. p. 1130-1157, 1986.

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

POGGIANI, F. Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. **IPEF**, Piracicaba, v.1, n.2, p.D.1 – D.11, Jul.1980.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Nutrient cycling in native forests. In: GONÇALVES, J.L. M.; BENEDETTI, V. (eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004, cap.5, p.287 – 305.

SANCHEZ, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York: John Wiley and Sons, 1976. 409p.

SCHUMACHER et al. Quantificação da biomassa e nutrientes em povoamentos de pinus. **Revista da madeira**, v. 99, p. 81-84, 2006.

SIXEL, R. M. M. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de *Pinus taeda* com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes**. 109f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

VALERI, S. V.; REISSMANN, C. B. Composição da manta florestal sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Telêmaco Borba, PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 19, n. 1 e 2, p. 55-61. 1989.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M.. V. W. Estimativa de biomassa e carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 371-380, 2004.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Estoque de carbono orgânico e biomassa em *Pinus taeda* L. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 1, p. 7-17, 2005.

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

6 PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA E DEVOLUÇÃO DE NUTRIENTES EM UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L.

Resumo

A serapilheira pode ser definida como todos os tipos de material biogênico em vários estágios de decomposição. A produção de serapilheira e a devolução de nutrientes tem grande importância na ciclagem biogeoquímica. Assim, o objetivo do presente estudo foi quantificar a produção de serapilheira e a devolução de nutrientes em uma plantação de *Pinus taeda* L., em Cambará do Sul, RS. Para amostragem foram instaladas três parcelas de 20 m x 20 m em cada uma delas foram distribuídos sistematicamente quatro coletores, alocados em quatro diferentes posições: na linha, na entrelinha, na diagonal e encostado no tronco de uma das árvores; totalizando 12 coletores de 1 m² de área. A amostragem do material depositado no interior dos coletores foi realizada mensalmente durante um período de 3 anos, contados a partir de setembro de 2007. O material coletado, mensalmente, foi enviado ao Laboratório, onde foi seco, pesado, moído e analisado. A deposição média anual de serapilheira foi de 5,85 Mg ha⁻¹ verificou-se que na primavera ocorreram as menores deposições de serapilheira para os três anos analisados. Entre os macronutrientes a ordem decrescente dos teores foi: N > Ca > Mg > K > S > P; os teores para os micronutrientes apresentaram-se na seguinte ordem decrescente: Mn > Fe > Zn > B > Cu. Os maiores teores de nutrientes foram observados nos períodos de primavera e verão. O maior aporte de nutrientes ocorreu no período de outono e inverno, destacando-se o mês de junho com os maiores valores. A ordem de dominância no aporte de macronutrientes ocorreu da seguinte forma: N > Ca > Mg > K > S > P; para os micronutrientes a ordem foi: B > Mn > Fe > Zn > Cu.

Palavras – chave: Ciclagem de nutrientes. Material senescente. Nutrição florestal. Sustentabilidade.

Abstract

Litter can be defined as all types of biogenic materials in different stages of decomposition. Litter production and nutrient return has great importance in biogeochemical cycling. The objective of this study was to quantify the production and return of nutrients through litter in a plantation of *Pinus taeda* L. stand in Cambará do Sul, RS. For sampling 3 plots of 20 m x 20 m were installed in which one of them 4 collectors were systematically distributed, placed in four different positions: in-line, between the lines, diagonal and leaning against the stem of a tree, totaling 12 collectors of 1 m² of area. Sampling of material deposited inside the collectors was done monthly over a period of three years, starting from September 2007. The material collected monthly, was sent to the laboratory where it was dried, weighed, ground and analyzed. The average annual litter deposition was 5.85 Mg ha⁻¹ it was found that in spring the lowest depositions of litter for the three years analyzed occurred. Among the macronutrient the descending order of the levels was: N > Ca > Mg > K > S > P; the levels for micronutrients presented themselves in the following descending order: Mn > Fe > Zn > B > Cu. Highest content of nutrients were observed in the spring and summer. The higher nutrient intake occurred during autumn and winter, especially in the month of June with the highest values. The order of dominance in macronutrient input was as follows: N > Ca > Mg > K > S > P; the order for micronutrients was: B > Mn > Fe > Zn > Cu.

Keywords: Nutrient cycling. Senescent material. Forest nutrition. Sustainability.

6.1 Introdução

A serapilheira pode ser definida como todos os tipos de material biogênico (folhas/acículas, ramos, caules, frutos, flores, cascas e outras partes das plantas depositadas no piso florestal, bem como restos de animais e material fecal) em vários estágios de decomposição. Este material representa uma fonte potencial de energia para as espécies consumidoras, que realizam a sua decomposição. Além disso, a serapilheira pode acumular significativa quantidade de água junto aos seus tecidos, fazendo a função de uma grande esponja e filtro, que se encharca logo após uma precipitação e após isso vai liberando lentamente a água acumulada para o solo, aonde irá abastecer as raízes das plantas.

De acordo com Schumacher e Hoppe (1998), a floresta desempenha papel fundamental na manutenção das condições ideais para que ocorra o processo de infiltração da água. Isso ocorre em função da maior absorção inicial da água e redução da velocidade da gota, impedindo que a mesma impacte sobre o solo de forma direta, causando a sua desagregação.

A serapilheira também se torna um eficiente anteparo às gotas da chuva, absorvendo esta umidade e liberando-a de forma lenta para o solo, facilitando a infiltração. A capacidade da serapilheira em acumular água varia em função da espessura da camada formada sobre o solo (SCHUMACHER; HOPPE, 1998), da umidade do material antes da precipitação (MOLCHANOV, 1963), da sua constituição e grau de decomposição.

Em valores absolutos, Barrichello et al. (1999) relataram 34687,8; 27288,5 e 19879,4 litros de água por hectare na serapilheira coletada, respectivamente em 30/11 e 15/12/1998 e 01/01/1999. Os autores ressaltam que, as diferenças na quantidade de água, acumulada na serapilheira, variaram de acordo com o regime de precipitações do período. De acordo com dados descritos em Pritchett (1990), a capacidade de retenção de água pela serapilheira pode chegar a 215% do seu peso, sendo considerada em função do peso acumulado no mesmo por unidade de superfície.

A ciclagem biológica de nutrientes é um processo importante na nutrição de *Pinus* sp., de forma que os fluxos de entrada, saída e armazenamento de nutrientes

nos horizontes orgânicos estão sendo estudados e levados em consideração nas decisões de manejo (REISSMANN; WISNIEWSKI, 1999).

Na ciclagem biológica, o fluxo mais estudado tem sido a produção de serapilheira e deposição de nutrientes. As estimativas mostram que a produção de serapilheira poderá variar entre 6,4 e 9,3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (DELITTI, 1984; POGGIANI et al., 1987; SOAVE; PAGANO, 1994; WISNIEWSKI; REISSMANN, 1996).

Vários estudos têm demonstrado que, para o pinus, a serapilheira produzida se acumula sobre o solo mineral formando um horizonte orgânico espesso, sendo em sua maioria formado por acículas (em torno de 70%) e o restante por estruturas reprodutivas, ramos, casca e pedaços de caule, apresentando características morfológicas bem definidas. Este acúmulo é atribuído a dificuldade de decomposição do material e às condições ambientais desfavoráveis para que os processos biológicos se processem numa velocidade mais acelerada, como por exemplo, deficiência hídrica ou mineral, fazendo com que ocorra a estratificação do material em sub-horizontes orgânicos distintos.

Reissmann (1983) distinguiu 5 horizontes orgânicos na manta de um povoamento de *Pinus elliottii* com 15 anos de idade, onde, na camada mais decomposta, o peso de raízes finas alcançou 16% do peso total do mesmo, demonstrando a importância da camada de resíduos na ciclagem de nutrientes, principalmente em sítios de baixa fertilidade.

Em três povoamentos de *Pinus taeda* com 17 anos de idade, situados em sítios de baixa, média e boa fertilidade, Trevisan et al. (1993) observaram que a espessura total do horizonte orgânico foi maior no sítio médio (13 cm) e no sítio ruim (12 cm) do que no sítio bom (8 cm) pela decomposição mais lenta nos dois primeiros devido às condições não favoráveis de ambiente.

No horizonte orgânico podem ficar armazenadas grandes quantidades de nutrientes, principalmente N, P e Ca, relativamente a outros componentes da biomassa (CURCIO et al., 1993). Parte destes elementos poderá ficar imobilizada se a decomposição for muito lenta, embora se observe, em povoamentos da espécie, grandes quantidades de raízes finas permeando os horizontes orgânicos, principalmente a partir da camada F (TREVISAN et al., 1993), estimando-se que possam contribuir, em alguns casos, com até 30% do peso do horizonte. Tal aspecto nutricional representa um importante fluxo de nutrientes reaproveitados diretamente dos horizontes orgânicos, antes da mineralização.

König et al. (2004) estimaram em 350 kg ha⁻¹ (2% do peso da serapilheira), a massa de raízes finas em meio a serapilheira de um plantio de *Pinus taeda* com 23,5 anos de idade, em Cambará do Sul, RS. Aspecto que vai além do peso de raízes finas nos horizontes orgânicos (serapilheira) é o seu comprimento, o qual atinge valores certamente maiores, em função do pequeno diâmetro destas raízes, mas lhes proporciona uma maior área a ser explorada em busca de nutrientes para serem absorvidos, quando da decomposição desta serapilheira.

As acículas que caem espontaneamente das árvores não são a única fonte vegetal de retorno de nutrientes ao solo. As desramas também se constituem em uma das entradas, incrementando o processo de retorno dos nutrientes das árvores ao solo. Neste sentido, Schumacher et al. (2003) quantificaram a biomassa proveniente da primeira desrama (aos 4,5 anos de idade) em um povoamento de *Pinus taeda* localizada em Cambará do Sul, RS. Estes autores encontraram 9,8 Mg ha⁻¹ de biomassa devolvida ao solo nesta intervenção, o que significou um aporte de, em kg ha⁻¹, 104,8 de N; 9,8 de P; 34,1 de K; 41,8 de Ca; 9,3 de Mg e 32,7 de S.

De acordo com Alves et al. (2006), o estudo quali-quantitativo da serapilheira é importante para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas florestais. Nesse sentido o objetivo do presente Capítulo foi de quantificar a produção e a devolução de nutrientes por meio da serapilheira em uma plantação de *Pinus taeda* L. do 14º ao 16º ano de idade, em Cambará do Sul, RS.

6.2 Material e Métodos

6.2.1 Amostragem e análises químicas

Para amostragem da serapilheira depositada pelo plantio de *Pinus taeda*, foram demarcadas 3 parcelas de 20 m x 20 m em cada uma delas foram distribuídos sistematicamente quatro coletores, alocados em quatro diferentes situações: na linha (L) entre duas árvores, outro na entrelinha (EL) de plantio entre duas árvores, outro na diagonal (D) entre quatro árvores e o último encostado no tronco de uma árvore (A); totalizando 12 coletores de serapilheira (Figura 6.1 A). A amostragem da serapilheira total (acículas + galhos finos + miscelânea), foi realizada com o auxílio de coletores formados por uma moldura de madeira com 1 m² de área, suspensa por

estacas de madeira (Figura 6.1 B). É importante ressaltar que a serapilheira não foi separada por que era composta basicamente por acículas.

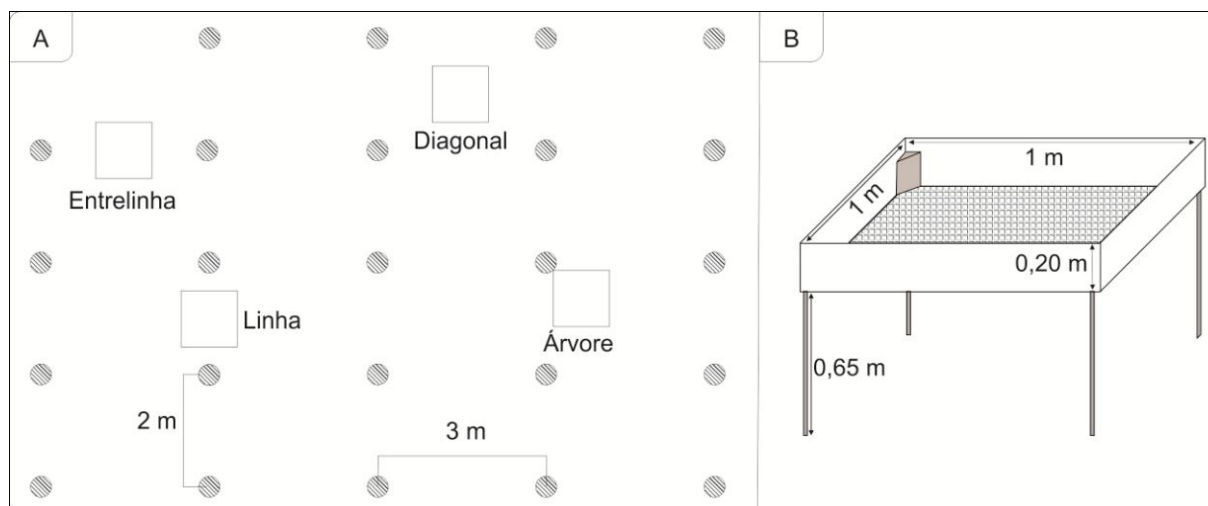


Figura 6.1 - Croqui demonstrativo da distribuição dos coletores no interior da parcela amostral (A). Aspecto do coletor de serapilheira (B). Fonte: elaborado pelo autor.

A amostragem do material acumulado no interior dos coletores foi realizada mensalmente, durante um período de 3 anos, contados a partir de setembro de 2007 até agosto de 2010. O material coletado foi enviado ao Laboratório onde foi seco em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C, por um período de 72 horas, sendo posteriormente pesado em balança digital de precisão (0,01 g), e após, moído em moinho do tipo Wiley, com peneira de 30 mesh, para posteriores análises químicas.

Para análise quantitativa, foram realizadas as pesagens individuais da serapilheira depositada em cada um dos coletores, de cada uma das parcelas, com quatro coletores. Para análise química, foi realizada uma amostra composta a partir dos 3 coletores, localizados na mesma posição, sendo 1 de cada parcela. Foram determinados os teores de nitrogênio pelo método Kjeldahl, fósforo e boro por espectrometria visível, potássio por fotometria de chama, enxofre por turbidimetria e o cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica, seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al.(1995) e Miyazawa et al. (1999) (Tabela 6.1).

Tabela 6.1 - Metodologia de análise de amostras de tecido vegetal utilizada no Laboratório. Fonte: elaborado pelo autor.

Nutriente	Digestão	Método	Comprimento de onda (nm)
N	Sulfúrica (H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂)	Kjeldahl	—
Ca	Nítrica-perclórica (HNO ₃ + HClO ₄) [3:1]	Espectrometria de absorção atômica	422,67
Mg			285,21
Cu			324,75
Fe			248,33
Mn			279,48
Zn			213,86
K		Fotometria de chama	—
P	Seca	Espectrofotometria	660,00
S		Turbidimetria	420,00
B		Espectrofotometria	460,00

A produção de serapilheira foi estimada segundo Lopes et al. (2002), tomando por base a seguinte equação:

$$PAS = (\Sigma PMS \times 10.000) / Ac$$

Onde: PAS = Produção média anual de serapilheira (kg ha⁻¹ ano⁻¹); PMS = Produção média mensal de serapilheira (kg ha⁻¹ mês⁻¹); Ac = Área do coletor (m²).

Por meio dos teores e da quantidade de material depositado, foram quantificados os conteúdos dos elementos analisados neste estudo.

6.2.2 Procedimentos estatísticos

A análise estatística foi realizada com o aplicativo Action (ESTATCAMP, 2011). Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para a separação dos contrastes de médias. A análise de correlação linear de Pearson (r) foi considerada significativa a 1 ou 5% de probabilidade de erro. As informações sobre as variáveis meteorológicas (**V_{dir.}** = direção média dos ventos; **V_{méd.}** = velocidade média dos ventos; **V_{máx.}** = velocidade máxima média dos ventos; **EPt** = evapotranspiração potencial; **Neb.** = nebulosidade média; **P_{dias}** = dias com precipitação pluviométrica; **P_{total}** = precipitação pluviométrica total; **T_{máx.}** = temperatura máxima média; **T_{méd.}** = temperatura média; **T_{mín.}** = temperatura mínima média; **UR** = umidade relativa média) utilizadas nesse estudo, para a análise de

correlação de linear de Pearson, foram provenientes da estação meteorológica automática de Cambará do Sul e obtida no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2013).

6.3 Resultados e Discussão

Na Tabela 6.2 verificam-se os valores observados para a deposição de serapilheira na plantação de *Pinus taeda*, localizado em Cambará do Sul, RS. A deposição média anual de serapilheira foi de 5,85 Mg ha⁻¹, sendo verificada uma redução de 0,73 Mg ha⁻¹ do primeiro para o segundo ano e outra de 0,69 Mg ha⁻¹ do segundo para o terceiro ano. No primeiro ano os meses que apresentaram os maiores valores foram junho e agosto, no segundo ano junho e julho e no terceiro ano maio e junho. Considerando o valor médio de deposição da serapilheira, a um nível de 5% de probabilidade de erro, apenas o mês de junho diferiu estatisticamente dos demais meses, representando 23,5 % do total depositado no ano.

Tabela 6.2 - Deposição mensal média de serapilheira (kg ha⁻¹) no período de set./07-ago./10, no povoamento de *Pinus taeda*, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Mês	Ano 07 - 08	% no ano	Ano 08 - 09	% no ano	Ano 09 - 10	% no ano	Média	Desvio Padrão	Total	% no ano
Jan	288,00	4,39	228,90	3,92	158,82	3,09	225,24 bc	64,67	675,72	3,85
Fev	270,72	4,12	413,55	7,08	185,14	3,60	289,80 bc	115,40	869,40	4,95
Mar	283,73	4,32	335,83	5,75	229,31	4,45	282,96 bc	53,26	848,87	4,84
Abr	754,57	11,49	248,76	4,26	582,36	11,31	528,56 bc	257,16	1585,68	9,03
Mai	631,24	9,61	856,46	14,66	1464,41	28,45	984,04 ab	430,99	2952,11	16,82
Jun	2155,45	32,82	1135,24	19,44	835,14	16,22	1375,28 a	692,11	4125,83	23,50
Jul	588,99	8,97	991,04	16,97	698,50	13,57	759,51 abc	207,85	2278,53	12,98
Ago	919,45	14,00	729,81	12,50	379,08	7,36	676,11 abc	274,15	2028,34	11,55
Set	287,79	4,38	420,84	7,21	181,49	3,53	296,71 bc	119,92	890,13	5,07
Out	115,73	1,76	111,48	1,91	142,68	2,77	123,30 c	16,92	369,90	2,11
Nov	188,53	2,87	147,57	2,53	124,12	2,41	153,40 c	32,60	460,21	2,62
Dez	83,54	1,27	221,23	3,79	166,31	3,23	157,03 c	69,31	471,08	2,68
Total	6567,73	100,00	5840,70	100,00	5147,36	100,00	5851,93	2982,88	17555,78	100,00

* médias seguidas por mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey com 95% de confiabilidade.

Na mesma região do presente estudo, Schumacher et al. (2007) estimaram uma deposição de serapilheira de 3,99; 4,72 e 4,84 Mg ha⁻¹, em povoamento de *Pinus taeda*, respectivamente para o 5º, 6º e 7º anos. Em outro estudo conduzido em São Paulo, Poggiani (1985) estudou a deposição de serapilheira em um povoamento de *Pinus caribaea* com 14 anos de idade, onde verificou uma deposição média de serapilheira de 8,37 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo superior a média observada neste estudo.

No presente estudo, analisando-se a sazonalidade na deposição de serapilheira, verificou-se que na primavera ocorreram as menores deposições de serapilheira para os três anos analisados. A ordem decrescente na deposição para o primeiro e segundo ano foi: inverno > outono > verão > primavera, de forma semelhante no terceiro ano e na média anual estacional a ordem foi: outono > inverno > verão > primavera.

Assim como no presente estudo Viera e Schumacher (2010a), para eucalipto, verificaram a ocorrência de uma variação estacional na deposição de serapilheira, ocorrendo da seguinte maneira: outono > verão > primavera > inverno, no segundo ano, a magnitude foi: verão > outono > inverno > primavera e no terceiro ano foi: outono > verão > inverno > primavera. Em relação à média anual estacional, a deposição na estação outono foi maior, não diferindo em relação ao verão e inverno; já na primavera a deposição foi significativamente inferior ao período outonal. No mesmo sentido, Poggiani (1985) verificou que a deposição de serapilheira ficou concentrada nos períodos secos durante a primavera e o outono.

A relação entre quantidade de serapilheira depositada e as variáveis climáticas foi avaliada por meio da análise de correlação de Pearson (r) (Tabela 6.3).

Não foi verificada correlação significativa entre a precipitação e a deposição de serapilheira. A partir da Figura 6.2 é possível observar que não existe uma tendência de aumento na deposição de serapilheira com a diminuição da pluviosidade, porém é razoável afirmar que nos meses de inverno, especialmente em junho, quando foram registradas as menores precipitações, ocorreram os maiores valores na deposição de serapilheira. Cabe também destacar que durante os meses de primavera e verão, quando a temperatura média do ar é mais elevada, foram verificados os menores valores na deposição de serapilheira. Mesmo existindo correlação significativa entre a temperatura e a deposição de serapilheira, esta foi negativa. Isso pode ser explicado pelo balanço hídrico excedente, que possibilita a

manutenção das acículas na copa das árvores, em plena atividade no período de maiores temperaturas e disponibilidade de radiação solar. Tendência oposta, em outra região do estado, no município de Eldorado do Sul, em um povoamento de eucaliptos, Viera (2012), verificou tendência oposta, com aumento da deposição de serapilheira com o aumento da temperatura e diminuição da precipitação.

Na Figura 6.2, é de fácil visualização que a quantidade depositada em cada uma das posições não tem muita variação, o que significa não haver relação significativa, a um nível de 5% de probabilidade de erro, entre a quantidade de serapilheira amostrada e a posição dos coletores, podendo estes serem alocados aleatoriamente dentro da parcela amostral sem que se prejudique a análise da deposição de serapilheira.

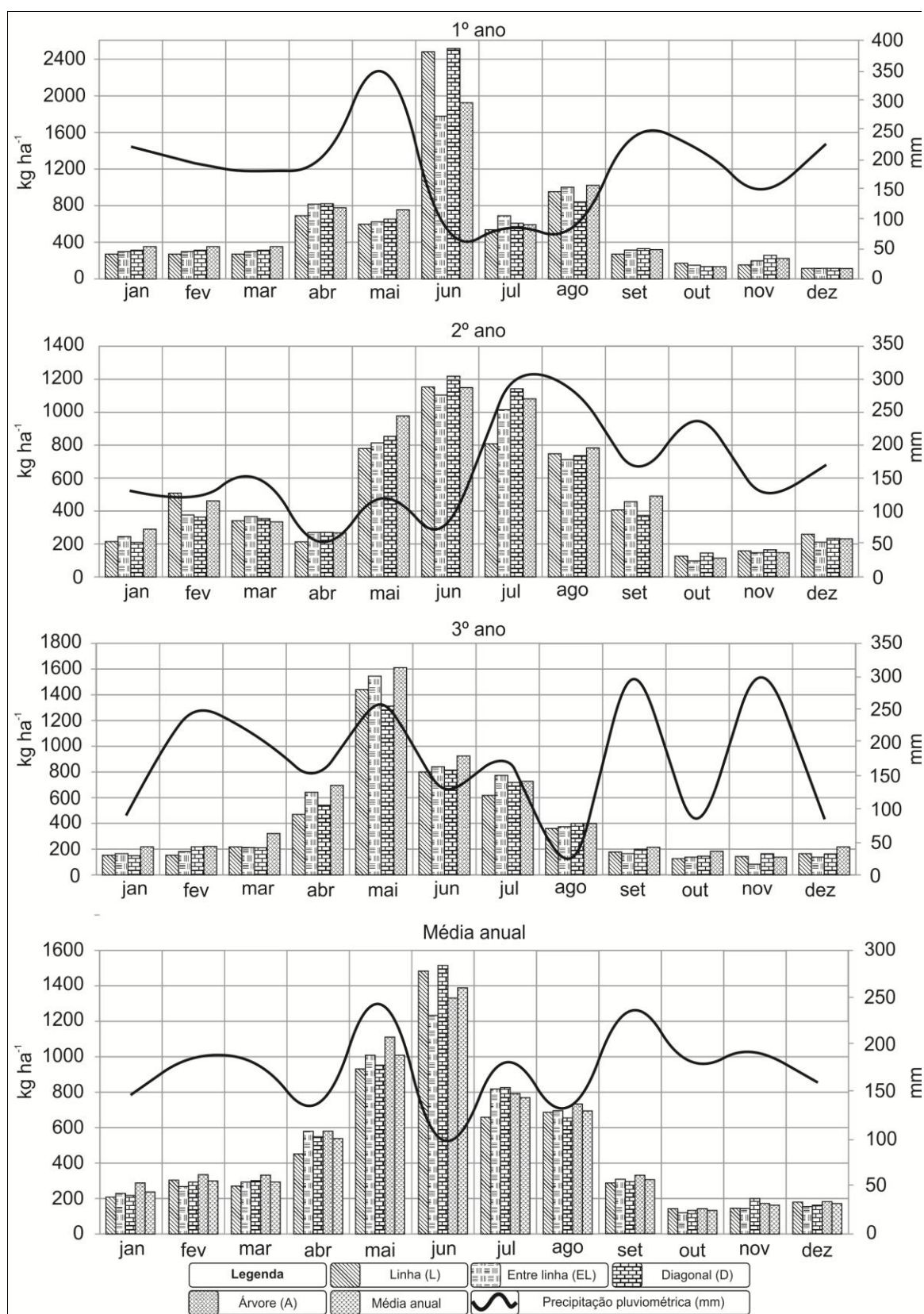


Figura 6.2 – Deposição mensal de serapilheira nas quatro posições de amostragem (L-linha; EL-entre linha; D-diagonal entre 4 árvores e A-árvore) e sua relação com a precipitação, no período de setembro de 2007 a agosto de 2010, em uma plantação de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 6.3 - Correlação linear de Pearson (r), entre a deposição de serapilheira e variáveis climáticas, durante o período de set/07-ago/10. Fonte: elaborado pelo autor.

	Posição do coletor	V _{dir.}	V _{méd.}	V _{máx.}	E _{Pt}	P _{dias}	P _{total}	T _{máx.}	T _{méd.}	T _{mín.}	r
Mensal	Linha	0,51*	0,23	0,09	-0,73*	0,15	-0,13	-0,66*	-0,64*	-0,61*	0,11
	P-valores	0,00164	0,17549	0,62127	0,00000	0,38930	0,45427	0,00001	0,00002	0,00007	0,53126
	Entre Linha	0,57*	0,19	0,08	-0,80*	0,15	-0,13	-0,74*	-0,72*	-0,68*	0,12
	P-valores	0,00026	0,27681	0,66316	0,00000	0,36742	0,45903	0,00000	0,00000	0,00000	0,47777
	Diagonal	0,52*	0,20	0,11	-0,77*	0,12	-0,15	-0,70*	-0,68*	-0,66*	0,08
	P-valores	0,00102	0,23946	0,52124	0,00000	0,47316	0,38661	0,00000	0,00000	0,00001	0,65539
	Árvore	0,58*	0,17	0,04	-0,79*	0,19	-0,10	-0,73*	-0,70*	-0,67*	0,15
	P-valores	0,00024	0,32593	0,79994	0,00000	0,27889	0,57704	0,00000	0,00000	0,00001	0,39499
Ano I 07 - 08	Média	0,55*	0,20	0,08	-0,78*	0,15	-0,13	-0,71*	-0,69*	-0,66*	0,11
	P-valores	0,00052	0,24244	0,64027	0,00000	0,37088	0,45906	0,00000	0,00000	0,00001	0,51034
	Linha	0,51	0,41	0,01	-0,86*	0,20	-0,24	-0,84*	-0,81*	-0,76*	0,10
	P-valores	0,08679	0,18680	0,96793	0,00032	0,52663	0,44298	0,00058	0,00148	0,00378	0,75113
	Entre Linha	0,64**	0,51	0,02	-0,92*	0,21	-0,26	-0,89*	-0,87*	-0,83*	0,02
	P-valores	0,02431	0,09010	0,95301	0,00002	0,51102	0,42363	0,00013	0,00026	0,00092	0,94147
	Diagonal	0,53	0,38	0,01	-0,87*	0,22	-0,22	-0,84*	-0,80*	-0,75*	0,10
	P-valores	0,07788	0,22370	0,98533	0,00022	0,49306	0,49659	0,00064	0,00175	0,00460	0,76105
Ano II 08 - 09	Árvore	0,62**	0,52	0,00	-0,92*	0,21	-0,20	-0,88*	-0,85*	-0,81*	0,08
	P-valores	0,03322	0,08003	0,98846	0,00002	0,51373	0,53890	0,00015	0,00040	0,00143	0,81011
	Média	0,57	0,45	0,01	-0,90*	0,21	-0,23	-0,87*	-0,83*	-0,79*	0,08
	P-valores	0,05219	0,14149	0,97922	0,00008	0,50768	0,47110	0,00027	0,00073	0,00222	0,80491
	Linha	0,83*	-0,13	0,43	-0,79*	0,16	-0,17	-0,64**	-0,68**	-0,70**	-0,30
	P-valores	0,00079	0,68590	0,16398	0,00210	0,62869	0,60505	0,02405	0,01433	0,01140	0,33755
	Entre Linha	0,76*	-0,24	0,51	-0,85*	0,09	-0,20	-0,73*	-0,76*	-0,78*	-0,26
	P-valores	0,00391	0,45056	0,09072	0,00046	0,77826	0,52602	0,00689	0,00375	0,00296	0,42357
Ano III 09 - 10	Diagonal	0,77*	-0,29	0,52	-0,85*	0,11	-0,21	-0,74*	-0,77*	-0,78*	-0,24
	P-valores	0,00351	0,36085	0,08020	0,00052	0,72278	0,51365	0,00566	0,00339	0,00281	0,44715
	Árvore	0,80*	-0,23	0,50	-0,83*	0,14	-0,16	-0,72*	-0,75*	-0,76*	-0,26
	P-valores	0,00196	0,47667	0,09405	0,00093	0,66848	0,61132	0,00894	0,00513	0,00380	0,40770
	Média	0,79*	-0,23	0,50	-0,84*	0,13	-0,19	-0,72*	-0,75*	-0,76*	-0,27
	P-valores	0,00201	0,47736	0,09959	0,00070	0,69770	0,55908	0,00887	0,00504	0,00394	0,40139
	Linha	0,45	-0,22	-0,04	-0,66**	0,24	0,16	-0,69**	-0,61**	-0,51	0,57
	P-valores	0,14502	0,48534	0,89124	0,01883	0,44548	0,61159	0,01270	0,03559	0,09020	0,05303
	Entre Linha	0,46	-0,21	-0,07	-0,69	0,24	0,12	-0,70	-0,62**	-0,53	0,55
	P-valores	0,13001	0,51520	0,82600	0,01232	0,45972	0,71522	0,01191	0,03155	0,07565	0,06640
	Diagonal	0,51	-0,20	-0,03	-0,72*	0,18	0,12	-0,71*	-0,64**	-0,56	0,51
	P-valores	0,08906	0,52872	0,92832	0,00893	0,56799	0,70193	0,00934	0,02399	0,05959	0,08890
	Árvore	0,44	-0,26	-0,11	-0,68**	0,27	0,11	-0,68**	-0,59**	-0,50	0,57
	P-valores	0,15516	0,41372	0,72648	0,01578	0,39079	0,72555	0,01525	0,04227	0,10109	0,05208
	Média	0,46	-0,23	-0,07	-0,69**	0,24	0,13	-0,70**	-0,62**	-0,52	0,55
	P-valores	0,12819	0,48191	0,83720	0,01332	0,45933	0,68883	0,01195	0,03258	0,08028	0,06260

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro; V_{dir.} = direção média dos ventos; v_{méd.} = velocidade média dos ventos; v_{máx.} = velocidade máxima média dos ventos; E_{Pt} = evapotranspiração potencial; Neb. = nebulosidade média; P_{dias} = dias com precipitação pluviométrica; P_{total} = precipitação pluviométrica total; T_{máx.} = temperatura máxima média; T_{méd.} = temperatura média; T_{mín.} = temperatura mínima média; UR = umidade relativa média.

Em um estudo conduzido, na mesma região de Cambará do Sul, sob um plantio de *Pinus taeda*, do 5º ao 7º ano de idade, Viera e Schumacher (2010 a), verificaram que com a diminuição da pluviosidade, ocorre o aumento na deposição

de serapilheira, em todo o período de estudo, assim como no presente estudo. O contrário foi observado para a temperatura média do ar, com a elevação da temperatura ocorre um aumento na taxa de deposição de serapilheira, diferindo da tendência observada no presente estudo, fato explicado pela diferença de idade entre os povoamentos, já que na fase inicial de desenvolvimento e prioridade de alocação de biomassa na copa (ANDRAE, 1978), pela alta atividade metabólica, o povoamento se apresenta mais sensível à falta de água e aumento das temperaturas.

Segundo Poggiani e Schumacher (2000), a quantidade de material de origem orgânica depositado em florestas ao longo de um ano esta relacionada com as condições climáticas, sendo maior nas regiões equatoriais quentes e úmidas e menores nas regiões frias.

Melo e Resck (2002) estudando a deposição de serapilheira verificaram que a maior queda de acículas ocorreu nas estações secas do ano. Os autores relacionam este comportamento como uma resposta fisiológica das plantas para minimizar as perdas de água por meio da transpiração.

Outra correlação significativa e importante na região dos Campos de Cima da Serra, sendo um aspecto importante na deposição de serapilheira é a presença constante de ventos com origem oceânica. Conforme Motta et al. (1971), os ventos dominantes na região são alísios, ou seja, sopram do mar para a terra, devido a região situar-se próximo ao litoral norte do estado do Rio Grande do Sul.

Na Tabela 6.4, foram representados os teores médios mensais dos nutrientes presentes na serapilheira produzida no período do estudo. Entre os macronutrientes a ordem decrescente dos teores foi: $N > Ca > Mg > K > S > P$; os teores para os micronutrientes apresentaram-se na seguinte ordem decrescente: $Mn > Fe > Zn > B > Cu$. Caldato (2011) analisando os teores mensais de macro e micronutrientes presentes na serapilheira em um plantio de *Pinus taeda* com 13 anos no nordeste da argentina, observou a mesma tendência na dominância dos teores.

Os maiores teores de nutrientes foram observados nos períodos de primavera e verão, coincidindo com o período em que ocorrem as menores deposições de serapilheira, e período de crescimento das árvores, que retranslocam nutrientes das acículas mais velhas para as mais novas. Da mesma forma que o observado no presente estudo, Viera e Schumacher (2010 b), verificaram que os maiores teores

de nutrientes, presentes na serapilheira de *Pinus taeda*, ocorreram no período de menor deposição.

Tabela 6.4 - Teores médios mensais dos nutrientes presentes na serapilheira produzida durante o período de set./07-ago./10, no povoamento de *Pinus taeda*, em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

Mês	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g Kg ⁻¹						mg Kg ⁻¹				
Janeiro	7,16	0,60	0,96	4,12	1,08	0,67	13,55	7,95	822,39	936,56	24,17
Fevereiro	7,23	0,60	0,99	4,50	1,12	0,81	13,16	4,59	256,94	939,94	19,88
Março	6,15	0,48	0,74	4,62	1,10	0,77	12,34	4,06	247,37	993,76	17,60
Abril	5,68	0,45	0,63	4,11	1,02	0,68	12,33	6,61	253,82	997,92	17,07
Mai	5,22	0,39	0,52	4,02	0,95	0,63	11,14	3,67	183,85	1007,61	13,89
Junho	5,13	0,39	0,53	3,62	0,92	0,63	12,50	2,62	188,44	1029,87	13,80
Julho	5,21	0,39	0,44	3,31	0,89	0,55	11,83	2,58	195,13	923,54	14,93
Agosto	6,32	0,46	0,64	3,53	0,89	0,60	12,43	3,06	256,19	937,36	16,36
Setembro	8,73	0,69	1,76	4,13	1,01	0,90	15,05	4,16	244,54	824,29	22,27
Outubro	9,44	0,76	1,48	4,10	1,06	1,00	17,43	5,34	349,78	796,62	26,55
Novembro	8,76	0,68	1,21	3,97	1,10	0,81	16,42	4,37	274,09	849,24	23,55
Dezembro	8,39	0,69	1,34	3,92	1,05	0,79	17,55	4,84	258,59	834,62	21,96
Média	6,95	0,55	0,94	4,00	1,01	0,74	13,81	4,49	294,26	922,61	19,34

A partir dos valores apresentados na Tabela 6.5 é possível verificar que o maior aporte de nutrientes no *Pinus taeda* ocorreu no período de outono e inverno, destacando-se o mês de junho com os maiores valores. Neste período foram verificados os menores teores de nutrientes nas acículas, porém a quantidade na deposição de acículas foi maior, reportando ao maior aporte de nutrientes observado. A ordem de dominância no aporte de macronutrientes ocorreu da seguinte forma: N > Ca > Mg > K > S > P; para os micronutrientes a ordem foi: B > Mn > Fe > Zn > Cu.

Caldeira et al. (2008) estudaram o aporte de nutrientes via deposição de serapilheira em fragmentos de Floresta Ombrófila Densa em diferentes níveis de regeneração, verificando para os estágios inicial e intermediário de regeneração a mesma tendência de dominância para o aporte de macronutrientes observada no presente estudo. Vogel (2005) verificou em um Floresta Subtropical de Encosta uma devolução em kg ha⁻¹ ano⁻¹ de 123,1 de N, 6,7 de P, 26,3 de K, 90, 7 de Ca, 15,4 de Mg, 9,0 de S, 0,9 de Mn, 0,6 de Fe e 0,2 de Zn. Os dados observados no presente estudo foram inferiores aos observados por Caldato (2011), com exceção

para o Fe e Mn. Novais e Poggiani (1983), estudando a deposição de nutrientes em um plantio de *Pinus caribaea* com 7 anos de idade, verificaram um aporte em kg ha⁻¹ ano⁻¹ de 20,32 (N), 1,06 (P), 9,89 (K) 12,73 (Ca), 2,78 (Mg).

Tabela 6.5 - Aporte mensal de nutrientes via deposição de serapilheira, no período de set./07-ago./10, no povoamento de *Pinus taeda* em Cambará do Sul, RS. Fonte: elaborado pelo autor.

	Mês	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		kg ha ⁻¹						mg ha ⁻¹				
Ano I 07 - 08	Janeiro	1,63	0,15	0,22	1,17	0,31	0,16	3,30	0,87	59,48	321,59	5,59
	Fevereiro	1,74	0,14	0,22	1,29	0,28	0,25	2,68	1,38	61,34	302,21	5,70
	Março	1,87	0,15	0,24	1,59	0,35	0,29	3,35	1,41	65,96	378,21	6,76
	Abril	4,44	0,37	0,51	3,60	0,80	0,67	8,69	3,76	158,23	915,55	14,74
	Maio	3,40	0,26	0,38	2,88	0,58	0,52	6,36	3,25	107,50	733,47	10,29
	Junho	10,99	0,93	1,42	8,87	2,03	1,71	27,17	5,79	411,95	2463,22	32,67
	Julho	2,72	0,24	0,33	2,26	0,52	0,31	7,62	1,37	104,14	677,51	8,61
	Agosto	4,91	0,44	0,60	3,67	0,85	0,57	13,41	2,34	187,86	1022,24	14,91
	Setembro	3,45	0,29	0,58	1,10	0,32	0,34	5,71	1,08	56,57	261,43	8,17
	Outubro	1,39	0,12	0,23	0,44	0,13	0,13	2,30	0,43	22,75	105,13	3,29
	Novembro	1,75	0,14	0,27	0,68	0,19	0,14	3,83	0,78	34,92	172,05	4,63
	Dezembro	0,53	0,04	0,09	0,28	0,08	0,04	1,74	0,36	15,31	80,06	1,62
	Total	38,83	3,26	5,10	27,84	6,44	5,14	86,16	22,83	1286,00	7432,68	116,99
Ano II 08 - 09	Janeiro	1,87	0,16	0,29	1,02	0,28	0,19	3,91	0,97	65,41	239,41	6,21
	Fevereiro	2,70	0,25	0,45	1,45	0,41	0,31	6,02	1,32	103,90	311,12	7,91
	Março	1,86	0,15	0,22	1,35	0,34	0,25	4,38	0,73	79,17	298,90	5,51
	Abril	1,40	0,11	0,14	1,04	0,29	0,16	3,36	0,63	59,10	271,23	3,87
	Maio	4,38	0,33	0,34	3,18	0,86	0,51	11,69	2,08	181,99	856,86	10,94
	Junho	5,78	0,43	0,43	4,16	1,09	0,65	15,92	2,33	239,77	1161,37	13,68
	Julho	5,51	0,38	0,34	3,03	0,90	0,57	11,52	2,27	238,03	790,34	13,83
	Agosto	4,94	0,31	0,34	2,83	0,72	0,49	8,54	1,68	184,12	684,84	12,75
	Setembro	2,54	0,23	0,34	2,08	0,41	0,27	5,57	1,77	110,11	429,99	7,18
	Outubro	0,77	0,06	0,11	0,60	0,12	0,09	1,96	0,63	54,23	115,73	2,67
	Novembro	1,04	0,08	0,13	0,61	0,16	0,12	2,11	0,49	35,31	122,40	3,13
	Dezembro	1,70	0,15	0,23	0,92	0,24	0,20	3,57	0,87	50,00	182,37	5,20
	Total	34,48	2,63	3,38	22,28	5,82	3,81	78,55	15,77	1401,14	5464,53	92,87
Ano III 09 - 10	Janeiro	1,22	0,09	0,14	0,61	0,15	0,10	1,92	2,63	313,64	102,78	4,12
	Fevereiro	1,62	0,13	0,20	0,96	0,25	0,14	2,78	1,01	54,24	176,10	3,61
	Março	1,44	0,11	0,17	0,97	0,24	0,12	2,79	1,15	62,81	173,87	2,88
	Abril	3,23	0,25	0,37	1,96	0,47	0,30	6,97	7,16	182,97	401,87	9,38
	Maio	7,54	0,55	0,82	5,56	1,34	0,70	14,18	5,03	247,12	1260,01	18,43
	Junho	4,34	0,30	0,46	2,57	0,72	0,44	9,08	2,60	136,13	771,50	11,84
	Julho	3,80	0,25	0,28	2,11	0,61	0,38	7,64	2,17	117,62	574,77	11,32
	Agosto	2,60	0,18	0,31	1,03	0,28	0,19	4,17	1,64	118,26	288,82	5,83
	Setembro	1,48	0,09	0,45	0,65	0,18	0,17	2,19	0,82	49,98	98,50	3,87
	Outubro	1,35	0,10	0,21	0,44	0,14	0,15	2,13	0,94	52,27	63,26	3,90
	Novembro	1,24	0,10	0,16	0,52	0,15	0,11	1,82	0,70	49,37	100,00	3,10
	Dezembro	1,84	0,15	0,30	0,70	0,19	0,15	2,62	1,03	60,96	119,93	3,82
	Total	31,69	2,30	3,86	18,10	4,70	2,93	58,27	26,90	1445,36	4131,41	82,10
Média anual	Janeiro	1,57	0,13	0,21	0,93	0,25	0,15	3,04	1,49	146,18	221,26	5,31
	Fevereiro	2,02	0,17	0,29	1,24	0,31	0,23	3,83	1,24	73,16	263,14	5,74
	Março	1,73	0,14	0,21	1,30	0,31	0,22	3,51	1,10	69,31	283,66	5,05
	Abril	3,02	0,24	0,34	2,20	0,52	0,38	6,34	3,85	133,43	529,55	9,33
	Maio	5,11	0,38	0,52	3,87	0,93	0,57	10,75	3,45	178,87	950,11	13,22
	Junho	7,04	0,55	0,77	5,20	1,28	0,93	17,39	3,57	262,62	1465,36	19,40
	Julho	4,01	0,29	0,32	2,47	0,68	0,42	8,93	1,94	153,26	680,87	11,25
	Agosto	4,15	0,31	0,42	2,51	0,62	0,42	8,71	1,88	163,41	665,30	11,16
	Setembro	2,49	0,20	0,45	1,28	0,30	0,26	4,49	1,22	72,22	263,31	6,41
	Outubro	1,17	0,09	0,18	0,50	0,13	0,12	2,13	0,67	43,08	94,71	3,28
	Novembro	1,34	0,10	0,19	0,60	0,17	0,12	2,59	0,66	39,87	131,48	3,62
	Dezembro	1,36	0,11	0,21	0,64	0,17	0,13	2,64	0,76	42,09	127,45	3,54
	Total	35,00	2,73	4,11	22,74	5,65	3,96	74,30	21,80	1377,50	5676,20	97,32

A grande quantidade de raízes presentes na camada de serapilheira observada por Lopes (2009) na mesma área do presente estudo, e Vogel (2005), destaca a grande importância da devolução de nutrientes pela deposição e acúmulo da serapilheira no piso da floresta. No mesmo sentido, Vogel (2005) constatou que em locais com solos rasos a devolução de nutrientes, via deposição de serapilheira é de extrema importância na manutenção do ecossistema do ponto de vista nutricional.

O maior teor de Mg nas acículas é atribuído provavelmente por esse elemento fazer parte da clorofila, sendo assim mais abundante nesses tecidos (MALAVOLTA, 1985). As grandes quantidades de ferro e manganês presentes na serapilheira em parte são devidas a baixa mobilidade desses elementos na planta (NEVES, 2000). Da mesma forma, por ser um elemento pouco móvel na planta, o Ca está mais concentrado nas partes mais lignificadas como acículas senescentes (VOGEL, 2005).

Viera e Schumacher (2010b) analisando o teor e a taxa de retranslocação de nutrientes nas acículas de *Pinus taeda*, verificaram que os maiores teores de Ca e N foram observadas nas acículas maduras e senescentes, nas acículas novas os maiores teores foram de K. Os autores destacam a baixa taxa de retranslocação e imobilidade do Ca.

Nutrientes como o Ca, Mg, K e P, presentes na serapilheira, relacionam-se diretamente com a quantidade desse elemento no solo, até a profundidade de 40 cm, respectivamente 316,30; 564,70; 117,22; 10,99 kg ha⁻¹. A chuva atua de maneira importante na lixiviação do K e do Mg, explicando os baixos níveis desses nutrientes na serapilheira (BORÉM E RAMOS, 2002 apud VIERA E SCHUMACHER, 2009).

Numa análise comparativa da composição química de acículas verdes e da manta sob um povoamento de *Pinus elliottii* aos 8 anos de idade em Santa Catarina, Brum (1979) relatou que os nutrientes N, P, K, Mg, Zn e Cu foram mais abundantes nas acículas que na serapilheira acumulada, a qual apresentou maiores concentrações de Ca, Mn, Fe e Al. Segundo a autora, as funções de cada nutriente na síntese de proteínas ou outras atividades metabólicas levam os elementos móveis a se concentrarem mais nas acículas verdes e jovens. O cálcio, representante típico dos elementos de baixa mobilidade, apresenta altos teores nas camadas da serapilheira acumulada, acumuladas no piso das florestas.

6.4 Conclusões

A deposição média anual de serapilheira foi de $5,85 \text{ Mg ha}^{-1}$;

Na primavera ocorrem as menores deposições de serapilheira; A deposição média anual estacional segue a seguinte ordem decrescente: outono > inverno > verão > primavera;

Os teores de nutrientes na serapilheira ocorrem da seguinte forma: macronutrientes ($\text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P}$) e micronutrientes ($\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$);

O material decíduo apresentou, para todos os macro e micronutrientes estudados, os maiores teores na primavera e verão;

A maior devolução de nutrientes, por meio da serapilheira, ocorre no período de outono e inverno;

A ordem de aporte médio de nutrientes para o período estudado foi: macronutrientes ($\text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P}$) e micronutrientes ($\text{B} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu}$).

A posição do coletor no interior do povoamento, não apresentou significativa interferência na amostragem da serapilheira.

6.5 Referências

ALVES, A. R. et al. Aporte e decomposição de serrapilheira em área de Caatinga, na Paraíba. **Revista de biologia e ciências da terra**. v. 6, n. 2, p. 194-203, 2006.

ANDRAE, F. H. **Ecologia Florestal**. Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1978. 230 p.

BARRICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M.; ALBERTI, L. F. Avaliação da quantidade de água armazenada na serapilheira em uma floresta de *Pinus elliottii* Engelman com 33 anos de idade. In: CICLO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL DO CONESUL. Santa Maria, 1999. **Anais...** Santa Maria, UFSM, 1999, p. 138-142.

BRUM, E. T. **Relação entre a altura dominante e fatores de sítio em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC.** Curitiba, 1979. 179 p. dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Paraná, 1979.

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

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

CURCIO, G. R.; WISNIEWSKI, C.; RACHWAL, M. G. F. Análise comparativa de características e propriedades químicas, físicas e morfológicas de um Cambissolo textura argilosa, sob plantio de *Pinus* e sob capoeira. In: CONGRESSO FLORESTAL PAN-AMERICANO, I e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, VII. Curitiba, 1993. **Anais...** Curitiba, SBS, 1993, p. 732.

DELITTI, W. B. C. **Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*.** São Paulo, 1984. 298 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Botânica, Universidade de São Paulo, 1984.

ESTATCAMP. **ACTION.** São Carlos, 2011. Versão 2.4.163.322. Disponível em: <www.statsoft.com.br>. Acesso em 30 jan. 2013.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2013.

KÖNIG, F. G.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; KLEINPAUL, I. S.; KLEINPAUL, J. J.; HECK, D. F. Raízes finas (< 2 mm) na serapilheira acumulada sobre o solo em um povoamento de *Pinus taeda* L., em Cambará do Sul, RS. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 2004, **Anais...** Manaus. 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL: Políticas públicas, científicas e perspectivas tecnológicas. Manaus, AM: INPA, 2004. p. 27-27.

LOPES, M. I. M; DOMINGOS, M.; VUONO, Y. S. Ciclagem de nutrientes minerais. In: **Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica.** SYLVESTRE, L. S. e ROSA, M. M. T. Seropédica, RJ: EDUR, p.72-103, 2002.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de Cima da Serra, RS.** 2009. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MALAVOLTA, E. Nutrição mineral. In: FERRI, M.G. (ed.). **Fisiologia Vegetal 1.** São Paulo: EPU, 1985. p. 97-116.

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

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

MOLCHANOV, A. A. **The Hydrological Role of Forest.** Jerusalém, 1963. 407 p.

MOTTA, F. S.; BEISDORF, M. J. C.; GARCEZ, R.B. **Zoneamento agrícola do Rio Grande do Sul e Santa Catarina: normas agro-climáticas.** Pelotas: Ministério da Agricultura, 1971. 80p.

NEVES, J. C. L. **Produção e participação de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo.** 2000. 191p. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2000.

NOVAIS, R. F. F.; POGGIANI, F. Deposição de Folhas e Nutrientes em Plantações Florestais Puras e Consorciadas de *Pinus* e *Liquidambar*. **IPEF**, n.23, p.57-60, abr.1983.

POGGIANI, F. Nutrient cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* plantations ecosystems. Silvicultural implications. **IPEF** V.31, p.33 – 40, 1985.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; MONTEIRO JÚNIOR, E. M.; GAVA, I. C. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração de xisto betuminoso. **IPEF**, v. 37, p. 21-29, 1987.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilidade florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. p. 287 – 308.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento.** Impreso no México, 1990. 634 p.

REISSMANN, C. B. Morfologia dos horizontes de húmus em florestas de coníferas exóticas no sul do Brasil. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, n. 5, 1983. p. 11 – 16.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: SIMPÓSIO DE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL. Piracicaba. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. ESALQ/USP. 1999.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. A floresta e a água. 1. ed. Porto Alegre: Pallotti, 1998. 70 p.

SCHUMACHER, M. V.; OLIVEIRA, J.; JUKOSKI, G. O.; BRUN, E. J. Biomassa e nutrientes da desrama e sub-bosque, num povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de Cima da Serra - RS. In: 9º CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2003, Nova Prata. **Anais...** 9º Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul: Floresta Função Social. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2003.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M.; PISSININ, L., Z.; WITSCHORECK, R. **Devolução de serapilheira e nutrientes em área de segunda rotação com *Pinus taeda* L.** Santa Maria, RS: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais, 2007. 27p. (Relatório Técnico).

SOAVE, R. C. F.; PAGANO, S. N. Aspectos da ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii* aplicando-se a diferentes técnicas de extração de resina. I – Produção de serapilheira. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 37, n. 3, p. 703-709. 1994.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim técnico, 5).

TREVISAN, E.; REISSMANN, C. B.; KOEHLER, C. W. Classificação e caracterização de horizontes orgânicos sob povoamento de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa, PR. In: CONGRESSO FLORESTAL PAN-AMERICANO, I e CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, VII. Curitiba, PR, 1993. **Anais...** Curitiba, SBS, 1993, p. 732.

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

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

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 375-382, Out.-Dez. 2009.

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

VOGEL, H. L. M. **Quantificação da biomassa e nutrientes em uma floresta estacional decidual em Itaara-RS, Brasil**. 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Silvicultura) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C. B. Deposição de serapilheira e nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa, PR. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v, 39, n. 2, p. 435-442, 1996.

7 ASPECTOS NUTRICIONAIS E ECOLÓGICOS SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE UTILIZAÇÃO DA BIOMASSA DE *Pinus taeda* L.

Resumo

A colheita florestal é um fator preocupante com relação à manutenção da produtividade dos solos em sítios destinados a silvicultura. Esses aspectos forçam a busca pela silvicultura de produção sustentada. O objetivo deste estudo foi de caracterizar o estoque e o fluxo dos principais nutrientes e as implicações nutricionais e ecológicas, causadas pela simulação de diferentes intensidades de colheita, na produção de *Pinus taeda* L., no nordeste do Rio Grande do Sul. A determinação da entrada de nutrientes via precipitação atmosférica baseou-se nas informações descritas anteriormente no Capítulo 3. As diferentes intensidades de utilização da biomassa florestal foram estimadas a partir dos dados de biomassa apresentados no Capítulo 5. A estimativa do balanço nutricional foi obtida pela diferença entre a entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica e a saída, em decorrência da exportação de nutrientes por meio da colheita da biomassa no corte raso aos 18 anos de idade e nos desbastes aos 9 e 12 anos. O coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes foi obtido pela razão entre a quantidade de biomassa e nutrientes, ambos com a mesma unidade. Foram considerados três intensidades de colheita florestal: a) Colheita somente da madeira do tronco até um diâmetro mínimo com casca na extremidade do fuste de 8 cm, b) Colheita da madeira e da casca do tronco até um diâmetro mínimo com casca na extremidade do fuste de 8 cm e c) Colheita de toda a biomassa acima do solo, permanecendo como resíduo apenas a serapilheira acumulada e o sistema radicular das árvores. Verificou-se uma tendência de decréscimo do conteúdo de nutrientes com o aumento da profundidade do solo. Verificou-se uma queda abrupta do cálcio da profundidade inicial de 0 - 10 cm para as profundidades subsequentes. O compartimento madeira do fuste apresentou os maiores valores para o CUB. As acículas apresentaram os menores valores para o CUB, exacto para o Ca, apresentando a menor eficiência na conversão dos nutrientes em biomassa. O coeficiente de utilização de nutrientes da madeira do fuste decresceu na seguinte ordem $P > Mg > K > Ca > N$. Sem exceção, todos os nutrientes tiveram sua exportação aumentada com o aumento da intensidade de uso da biomassa. Chama-se a atenção para a simulação em que é colhida a árvore inteira, no valor de biomassa, o aumento na exportação foi de 41 %, porém, quando considerada a exportação dos nutrientes, todos tiveram um incremento superior a 100%, chegando a 185 % para o nitrogênio. A sequência de nutrientes, quanto ao risco de limitação da produtividade, quando se consideram, principalmente níveis mais intensos de utilização da biomassa foi de: $N > P > K > Mg > Ca$.

Palavras – chave: Produção florestal. Sustentabilidade. Balanço nutricional. Nutrição florestal. Silvicultura.

Abstract

Harvesting is a concerning issue regarding the maintenance of the productivity of forest sites. These issues force the quest for sustainable production silviculture. The aim of this chapter was to characterize the stock and flow of the main nutrients and nutritional and environmental implications, caused by different intensities of harvest, in the production of *Pinus taeda* L., in northeast of Rio Grande do Sul, Brazil. The determination of the nutrient input via rainfall was based on information previously described in Chapter 3. The different intensities of use of forest biomass were estimated from biomass data presented in Chapter 5. The estimate of the nutrient balance was obtained by the difference between the input of nutrients via rainfall and removal, due to the export of nutrients through crop biomass in shallow cut to 18 years of age and in the two thinnings at 9 and 12 years. The coefficient of biological utilization (CUB) of nutrients was obtained by the ratio between the amount of biomass and nutrients, both with the same unit. Three harvesting methods were considered: a - harvest of only the bole timber to a minimum diameter with bark at the end of the stem of 8 cm. b - Harvest of wood and bark of the stem to a minimum diameter with bark at the end of the stem of 8 cm. c - Harvesting of the whole aboveground biomass, remaining as residue only litter and the root system of trees. There was a tendency of decrease of the content of nutrients with increasing depth of the soil. A sharply decrease of calcium at initial depth of 0-10 cm for subsequent depths was verified. Bole wood compartment had the highest values for CUB. The needle had the lowest values for the CUB, except for Ca, with the lowest efficiency in converting nutrients into biomass. The coefficient of utilization of nutrients from the stem wood decreased in the following order $P > Mg > K > Ca > N$. Without exception, all had their nutrient export increased with increasing intensity of use of biomass. The attention is called to the simulation in which the whole tree is harvested, the amount of biomass, the increase in exports was 41%, however, when considering the export of nutrients, all had increased over 100%, reaching 185 % for nitrogen. The nutrients sequence, regarding the risk of limiting productivity, when you consider, especially more intense levels of biomass use: $N > P > K > Mg > Ca$

Keywords: Forest production. Forest sustainability. Nutritional balance. Forest.

7.1 Introdução

O crescimento populacional e tecnológico da sociedade, com o passar do tempo, tem aumentado a demanda por energia, impactando diretamente nos recursos naturais. No sentido de buscar matrizes energéticas alternativas, o governo, a iniciativa privada e a sociedade, tem incentivado a busca por novas fontes e novas tecnologias que possam suprir a demanda energética com o mínimo de impacto sobre o meio ambiente.

No Brasil, o setor de produção de florestas está ligado a, pelo menos, oito cadeias produtivas, gerando produtos para consumo direto ou para exportação, contribuindo com impostos e empregos em todo país. As florestas plantadas, são de extrema importância para a preservação dos remanescentes florestais nativos, pois fornecem bens naturais renováveis, suprimindo a demanda por madeira e outros insumos industriais (GONÇALVES et al., 2011).

Atualmente a conversão de povoamentos florestais em energia vem sendo estudado e debatido pelo setor florestal. Além da queima da madeira e/ou resíduos para geração de energia termoelétrica, existe a possibilidade de utilização de madeira para produção de etanol combustível. As florestas energéticas são produzidas em ciclos mais curtos, se comparadas a florestas destinadas a produção de madeira para serrarias, por exemplo. Esses aspectos forçam a busca pela silvicultura de produção sustentada, onde segundo Gonçalves et al. (2011), são utilizadas técnicas de produção que buscam não afetar negativamente a capacidade produtiva do sítio, ao contrário, o objetivo é proporcionar melhorias das características do sítio e do ambiente.

A colheita florestal é um fator preocupante com relação à manutenção da produtividade dos sítios florestais, principalmente quando o solo possui baixo suprimento de nutrientes. As explorações intensivas com rotações curtas, sem período mínimo necessário à reposição de nutrientes, são apontadas como as principais responsáveis pela diminuição da fertilidade do solo (FERREIRA et al., 2001). A retirada de nutrientes de determinado sítio florestal está intimamente relacionada com a espécie plantada, densidade de plantio; idade de corte; condições edafoclimáticas e capacidade de absorção, distribuição e utilização de nutrientes.

Outro aspecto é a compartimentalização da biomassa nas árvores, assim como a distribuição dos nutrientes nos diferentes componentes (BELLOTE et al., 1980).

Para que sejam compensadas ao máximo as retiradas de nutrientes que acontecem com a colheita da madeira, todas as entradas devem ser computadas, via os mais diversos processos naturais ou influenciados pelo manejo, de forma a tornar o balanço positivo. Witschoreck (2008) destaca o grande estoque de nutrientes presentes na biomassa do tronco, segundo o autor esse padrão de distribuição dos nutrientes se reveste de importância uma vez que o tronco perfaz grande parte da biomassa exportada através da colheita florestal.

Para cada região que apresente características climáticas, edáficas e topográficas diferenciadas, poderão ocorrer diferentes taxas de crescimento das espécies do gênero *Pinus*, devendo as mesmas serem estudadas de forma específica, de forma a alcançar ótimos de produção, adequando cada espécie ao ambiente mais propício a mesma, de forma que não sejam necessárias a adoção de técnicas de adubação muito pesadas e que as plantações não se tornem mais susceptíveis à pragas e doenças, o que levará ao uso de outros produtos químicos, quase sempre danosos ao ambiente.

As técnicas utilizadas no manejo de um povoamento florestal requerem o conhecimento de seu balanço nutricional a cada ciclo, e tal quantificação depende da estimativa dos fluxos de entrada e dos fluxos de saída dos nutrientes neste ecossistema (BARROS et al., 2000). A quantidade de nutrientes em um determinado ecossistema está intimamente associada ao balanço entre as entradas e saídas do ciclo geoquímico. A sustentabilidade do sítio está relacionada com a manutenção de um balanço geoquímico positivo de crescimento, limitando nutrientes de rotação para rotação (KIMMINS, 1994).

Ranger e Turpault (1999) e Vital et al. (1999) afirmam que as entradas de nutrientes em florestas, acontecem principalmente por intemperismo das rochas e através da atmosfera, que podem ser medidos de forma direta através da chuva. Nota-se, portanto, que a avaliação precisa de todas as entradas e saídas de nutrientes dos povoamentos florestais torna-se essencial para prever futuros problemas nutricionais (FERREIRA et al., 2001). As saídas são representadas pelas perdas pela colheita, perdas durante queimadas, perdas erosivas e lixiviação (VITAL et al., 1999).

Conforme Schumacher et al. (2000), o pH do solo refere-se ao logaritmo negativo da molaridade dos íons hidrogênio e quanto maior a concentração dos íons hidrogênio livres na solução do solo, menor será o valor do pH, assim, mais ácido. Dentre as características químicas do solo, as que apresentam maior relação com o crescimento radicular, estão a acidez e a deficiência de nutrientes. Solos com pH baixo, aumentam a solubilidade do alumínio causando toxidez e consequente limitação no crescimento das raízes.

Espécies do gênero *Pinus*, possuem a capacidade de produzir extensos sistemas radiculares, são capazes de sobreviver a severas condições de falta de nutrientes e falta de água, pois por meio de seu sistema radicular, conseguem explorar um grande volume de solo, concentrando suas raízes nas camadas que apresentem melhores condições edáficas ao seu desenvolvimento (PRITCHETT, 1990).

Segundo Raij (1991) a faixa de variação do pH dos solos é ampla podendo-se encontrar valores menores de 3 até maiores de 10. Este mesmo autor afirma que a condição mais apropriada para a maioria das culturas é a faixa de reação que vai de solos ligeiramente ácidos a ligeiramente alcalinos. A maioria das características físicas, químicas e biológicas estão intimamente ligadas ao valor de pH (SCHUMACHER et al., 2000).

Características nutricionais gerais das espécies do gênero *Pinus* são relatadas em algumas pesquisas. Com base nas quais podem ser feitas inferências a respeito das relações das espécies do gênero com o ambiente: as acículas de *Pinus* geralmente apresentam altos teores de carbono, mas baixos de N (alta relação C/N), o que leva a um acúmulo de matéria orgânica ou serapilheira na superfície do solo (OVINGTON, 1958); ocorrem correlações significativas entre o crescimento de *Pinus elliottii* e os níveis de N (negativa), Mg (positiva), Fe, Cu, Zn e B nas acículas (GOOR, 1965).

De acordo com Mirov (1967), os macro-elementos mais importantes absorvidos do solo por espécies de *Pinus* são o nitrogênio, o fósforo, o potássio, o enxofre, magnésio e cálcio, em seqüência. Entre os micro-elementos, o ferro é indispensável e os demais são necessários em menores quantidades. Reconhece-se, além da importância dos elementos presentes no solo, os da serapilheira depositada sobre o piso da floresta, principalmente para N e P, os quais são chave na determinação do potencial produtivo do sítio.

Os balanços nutricionais são um indicador chave da variação da fertilidade do solo e da sustentabilidade do manejo florestal. É um indicador que torna possível o prognóstico de mudanças no solo, antes que ocorram danos ao solo e a vegetação (RANGER; TURPAULT, 1999). Segundo Gonçalves et al. (2011), conhecer os diferentes modelos de exploração e/ou exportação de nutrientes, permite relacionar se estas perdas causarão ou não impactos sobre a capacidade produtiva dos diferentes sítios. A exportação de nutrientes via colheita deve ser levada em consideração por parte dos empreendedores, durante o planejamento das atividades, evitando que haja diminuição de produtividade em futuros plantios e também contribuindo para o manejo sustentável (VIERA, 2012).

Considerando o acima exposto, o objetivo deste Capítulo, foi de caracterizar o estoque e o fluxo dos principais nutrientes e as implicações nutricionais e ecológicas, causadas pela simulação de diferentes intensidades de colheita, na produção de *Pinus taeda* L., no nordeste do Rio Grande do Sul.

7.2 Material e Métodos

Para estimar o estoque de nutrientes até 40 cm de profundidade no solo, foram abertas 3 trincheiras, onde foram coletadas amostras a 5, 15, 25 e 35 cm, ou seja, no ponto médio de cada camada de amostragem. Durante a coleta de solo para a análise química, também foram coletados, nos mesmos pontos amostrais, anéis volumétricos para avaliação da densidade do solo. A determinação da densidade do solo foi realizada em Laboratório, segundo a metodologia de Kopeck (EMBRAPA, 1997).

As análises químicas de P, K, Ca e Mg foram realizadas em Laboratório, segundo descrição exposta na Tabela 7.1, seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995), preconizada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS / SC (2004). As análises de nitrogênio total foram realizadas em Laboratório, por via seca, no aparelho denominado CNS - Analysator Carlo Erba NA 1500.

Tabela 7.1 - Descrição dos procedimentos analíticos utilizados nas amostras de solo.

Parâmetro	Extração	Método	Comprimento de onda (nm)
N total	Combustão seca		—
P disponível	Mehlich-1 (HCl + H ₂ SO ₄)	Espectrofotometria	660,0
K trocável		Fotometria de chama	—
Ca trocável	KCl (1mol L ⁻¹)	Espectrofotometria de absorção atômica	422,7
Mg trocável			285,2

A estimativa do estoque de nutrientes nas camadas de 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm de profundidade no solo, foi realizada por meio do produto entre o volume de solo, o teor de nutrientes e a densidade de solo obtidos no ponto médio de cada camada. No caso do nitrogênio, como a maioria do N total está contida em formas pouco ou não-disponíveis (frações húmicas muito estáveis), para efeito de cálculo, foi considerado apenas 10% como disponível para as plantas (GONÇALVES; MENDES; SASAKI (2001) apud WITSCHOREK (2008).

A determinação da entrada de nutrientes via precipitação atmosférica baseou-se nas informações descritas anteriormente no Capítulo 3, intitulado “Partição da precipitação, fluxos e variação de nutrientes no povoamento de *Pinus taeda* L”.

As diferentes intensidades de utilização da biomassa florestal foram estimadas a partir dos dados de biomassa apresentados no Capítulo 5, intitulado “Biomassa e estoque de nutrientes em um povoamento de *Pinus taeda* L.”.

A estimativa do balanço nutricional foi obtida pela diferença entre a entrada de nutrientes via deposição atmosférica e a saída, em decorrência da exportação de nutrientes por meio da colheita da biomassa no corte raso aos 18 anos de idade e nos dois desbastes nos desbastes aos 9 e 12 anos. Os dados de exportação de nutriente nos desbastes e raízes foram adaptados do trabalho realizado por Witschoreck (2008), em um povoamento de *Pinus taeda* L. de 17 anos, na mesma empresa florestal, conduzido em condições de sítio e manejo muito semelhantes às do presente estudo.

A estimativa do número de rotações de 18 anos para *Pinus taeda* L. considerou o estoque de nutrientes no solo até a profundidade de 40 cm (nutrientes disponíveis ou trocáveis); o estoque de nutrientes na biomassa que permanece no sítio como resíduo; e as entradas via precipitação atmosférica, de acordo com a

metodologia utilizada por Bizon (2005). Para estimativa do número de rotações, foi utilizada a equação abaixo.

$$NR = \frac{\text{estoque no solo} + \text{estoque no resíduo}}{\text{saída pela colheita} - \text{entrada via precipitação}}$$

Em que:

NR = número de rotações de 18 anos;

estoque no solo = nutrientes disponíveis ou trocáveis, até 40 cm de profundidade, em kg ha⁻¹;

estoque no resíduo = nutrientes contidos no resíduo dos desbastes e do corte raso, dependendo do método de colheita, em kg ha⁻¹;

saída pela colheita = nutrientes exportados pela colheita nos desbaste e no corte raso, dependendo do método de colheita, em kg ha⁻¹ rotação⁻¹;

entrada via precipitação = entrada de nutrientes via precipitação atmosférica, em kg ha⁻¹ rotação⁻¹;

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

Assim como realizado por Witschoreck (2008) e Caldato (2011), para avaliação das implicações nutricionais e ecológicas conforme as diferentes intensidades de colheita da biomassa, na sustentabilidade nutricional, por meio da estimativa do balanço de nutrientes e do número de rotações, foram considerados três métodos de colheita florestal (18 anos de idade): a) Colheita somente da madeira do tronco até um diâmetro mínimo com casca na extremidade do fuste de 8 cm, b) Colheita da madeira e da casca do tronco até um diâmetro mínimo com casca na extremidade do fuste de 8 cm e c) Colheita de toda a biomassa acima do solo, permanecendo como resíduo apenas o litter e o sistema radicular das árvores.

7.3 Resultados e Discussão

7.3.1 Estoque de nutrientes no solo

Na Tabela 7.2, foram apresentados os resultados da análise química do solo da área em estudo, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm de profundidade. No geral, o solo apresenta fertilidade baixa a muito baixa, cabe

salientar que grande parte dos nutrientes no povoamento de pinus, estão imobilizados na biomassa aérea das árvores (CQFS, 2004).

Conforme Brady (1989), o valor de densidade do solo indicado como limitante ao crescimento radicular e a infiltração de água é de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$. Os valores observados para a densidade do solo aumentaram com a profundidade do solo, variando entre 0,97 e $1,39 \text{ g cm}^{-3}$.

Por meio da mesma Tabela 7.2, verificou-se que os valores de pH do solo são, comparativamente a uma área de pastagem adjacente (pH 4,6-4,8) (LOPES et al., 2013), menores sob o plantio de *Pinus taeda*, devido a grande absorção de bases (K, Ca e Mg) pela intensa atividade do sistema radicular das árvores e pela eliminação de ácido carbônico por ocasião da atividade de respiração das raízes. Na profundidade de até 20 cm, ocorre uma grande atividade de organismos vivos do solo, que durante o processo de decomposição produzem dióxido de carbono, o que por sua vez, resulta num aumento da acidez da solução do solo (SCHUMACHER et al., 2000).

Tabela 7.2 - Densidade do solo e teor de nutrientes, no povoamento de *Pinus taeda* L. de 18 anos de idade, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

Parâmetro	Profundidade de solo (cm)			
	0 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40
pH	4,5	4,5	4,6	4,6
Densidade do solo (g cm^{-3})	0,97	1,03	1,23	1,39
N total (g kg^{-1})	2,99	2,55	1,75	0,99
P disponível (mg dm^{-3})	3,74	2,19	2,14	1,78
K trocável (mg dm^{-3})	44,33	27,00	22,67	13,33
Ca trocável ($\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$)	0,14	0,06	0,04	0,05
Mg trocável ($\text{cmol}_c/\text{dm}^{-3}$)	0,19	0,13	0,11	0,08

Onde: N total determinado por combustão seca; extração do solo: P e K, solução Mehlich – 1; Ca e Mg, por solução de KCl (1 mol L^{-1}).

Na Tabela 7.3 foi representado o estoque de nutrientes disponíveis até a profundidade de 40 cm. Assim como verificado por Witschoreck (2008), verificou-se uma tendência de decréscimo do estoque de nutrientes com o aumento da profundidade do solo. Segundo o mesmo autor, o maior conteúdo de nutrientes nas camadas mais superficiais do solo está diretamente associado ao processo de ciclagem de nutrientes, proporcionado pelos resíduos orgânicos no interior do povoamento florestal.

Moreau (2007) constatou que, em solos com limitação na disponibilidade de nutrientes ou ainda pela menor capacidade de absorção desses nutrientes, devido ao maior grau de coesão do solo, as plantas adaptativamente tendem a investir no desenvolvimento de raízes finas. Nesse sentido, Laclau et al. (2005), destacaram a importância da camada de serapilheira na retenção de umidade sobre sua superfície, especialmente durante as estações secas quando ocorrem chuvas de curta duração. Essa característica associada à alta densidade de raízes finas presentes nas camadas mais superficiais do solo, aumenta consideravelmente a habilidade da planta em absorver água e nutrientes.

Ainda na Tabela 7.3 foi possível verificar uma queda abrupta do cálcio da profundidade inicial de 0 - 10 cm para as profundidades subsequentes. A grande quantidade de cálcio presente na camada de 0 – 10 cm pode ser atribuída ao grande estoque deste elemento na serapilheira acumulada sobre o solo (67,10 kg ha) e as entradas pela precipitação (9,11 kg ha ano⁻¹) e pela devolução de serapilheira (22,74 kg ha ano⁻¹). As menores quantidades desse nutriente nas camadas inferiores do solo, podem ser explicadas pela grande presença e atividade das raízes finas na camada de solo até 10 cm de profundidade (LOPES et al., 2010). Conforme Schucmacher et al. (2000) a importância fundamental do cálcio está nas características estruturais da membrana celular. O cálcio exerce um efeito direto na divisão celular, resultando sua carência em uma mitose irregular. O desenvolvimento do sistema radicular é inibido ocorrendo uma diminuição dos pelos absorventes quando o nível de cálcio se torna baixo.

O magnésio tem um comportamento análogo ao do cálcio, pois sua origem primária é também das rochas ígneas e os principais minerais que o contêm são biotita, dolomita, clorita, serpentina e olivina componentes também de rochas metamórficas e sedimentares. Uma diferença importante do magnésio para o cálcio é que este faz parte da estrutura de minerais de argila, ocorrendo em illita, vermiculita e montmorilonita. Logo quanto mais intemperizado o solo, menor a ocorrência desses minerais, até que reste somente magnésio trocável adsorvido ao solo ou retido na biomassa da vegetação (RAIJ, 1991).

Tabela 7.3 - Estoque de nutrientes disponíveis, no povoamento de *Pinus taeda* de 18 anos de idade, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

Profundidade (cm)	N	P	K	Ca	Mg
			kg ha ⁻¹		
0 – 10	290,03	3,63	43,00	135,80	184,3
10 – 20	262,65	2,26	27,81	61,8	133,9
20 – 30	215,25	2,63	27,88	49,2	135,3
30 – 40	137,61	2,47	18,53	69,5	111,2
Total	905,54	10,99	117,22	316,30	564,70

Onde: N = fração disponível considerando 10% do nitrogênio total determinado por combustão seca; P e K, extraído com solução Mehlich – 1; Ca e Mg, extraído por solução de KCl (1mol L⁻¹).

Segundo Schumacher et al. (2000), com a produção de biomassa nos povoamentos florestais ocorre um decréscimo na quantidade de fósforo no solo sob o povoamento. Isso acontece pela alta intensidade que este elemento é absorvido e armazenado na biomassa das árvores (bioacumulação). O fósforo é de extrema importância no crescimento vegetal, pois está diretamente envolvido na transferência de energia na síntese de substâncias orgânicas (PRIMAVESI, 1988).

7.3.2 Fluxos e estoque de N, P, K, Ca e Mg

“É necessário para o manejo florestal sustentável, o entendimento dos aspectos inerentes à dinâmica dos processos envolvidos na ciclagem dos nutrientes [...], são poucos os conhecimentos sobre os ecossistemas naturais e sobre a ciclagem de nutrientes” (CALDEIRA et al., 2010, p. 74).

Considerando o exposto, foram elaboradas as Figuras 7.1, 7.2, 7.3, 7.4 e 7.5 abaixo, nelas foram caracterizados os fluxos e o estoque dos nutrientes estudados. O fluxo de nutrientes, estabelecido pela devolução de serapilheira, que é depositada no solo, e posteriormente decomposta, promove a liberação de nutrientes, estes podendo assim ser assimilados novamente pelas raízes das plantas (Schumacher et al., 2006).

Esta importância na devolução de nutrientes se pronunciou de forma mais intensa para o N, Ca e Mg. Verificação semelhante foi feita por La Torraca et al. (1984), evidenciando que a ciclagem estabelecida pelas acículas e ramos é de extrema importância, principalmente para Ca, Mg. Da mesma forma é importante o conhecimento do estoque e nutrientes nos diferentes componentes da biomassa.

Não podem ser desconsiderados os fluxos de entrada de nutrientes, pela precipitação pluviométrica, e especialmente após sua passagem pelas copas das árvores, provendo um incremento na quantidade de nutrientes que entram no sistema, como é o caso do K (Figura 7.3).

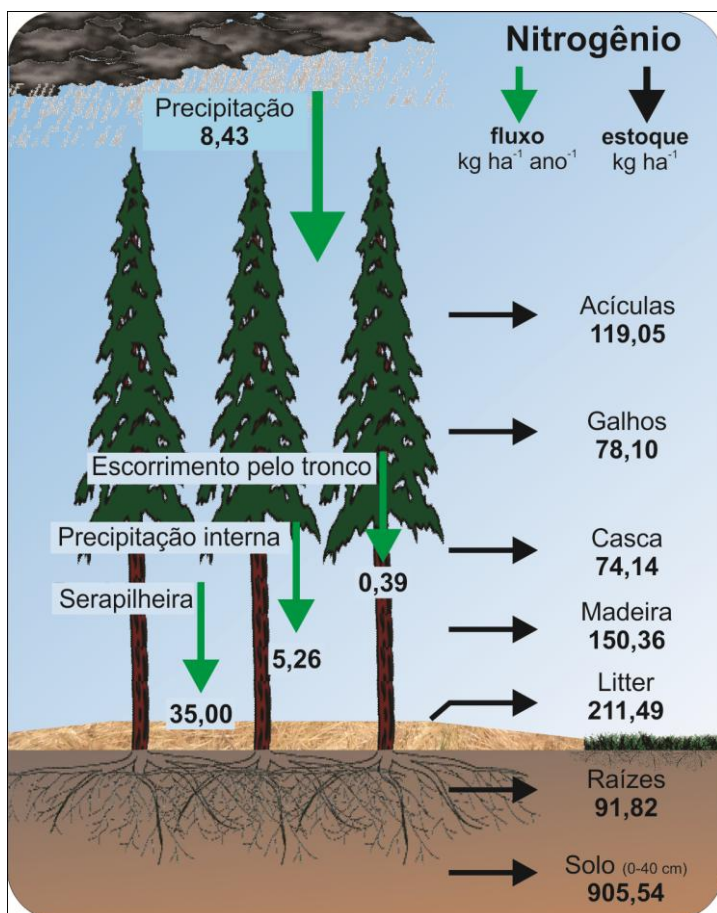


Figura 7.1 - Dinâmica nutricional do nitrogênio em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

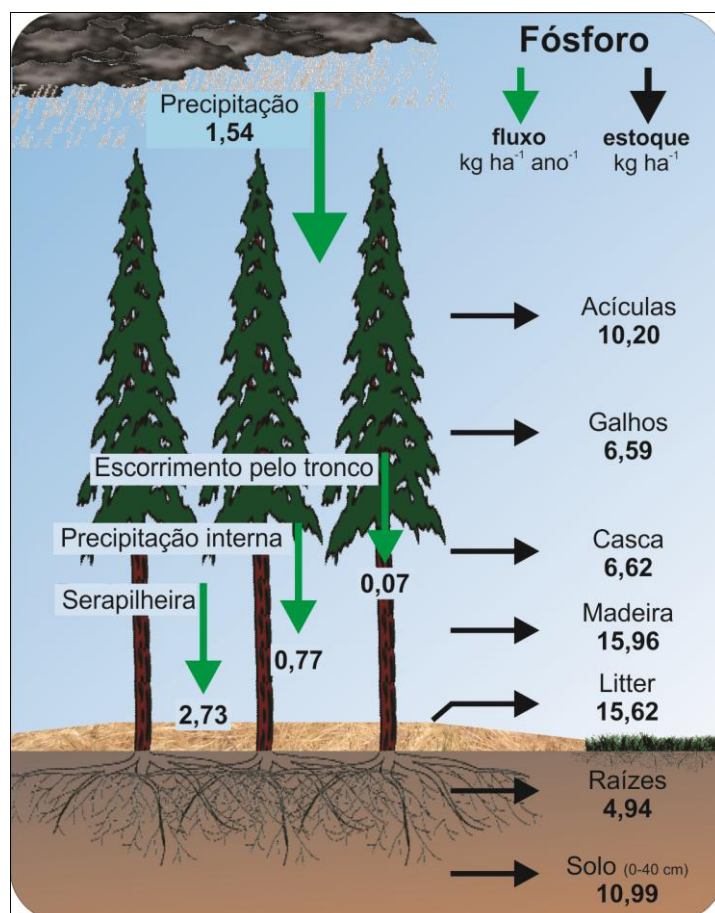


Figura 7.2 - Dinâmica nutricional do fósforo em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

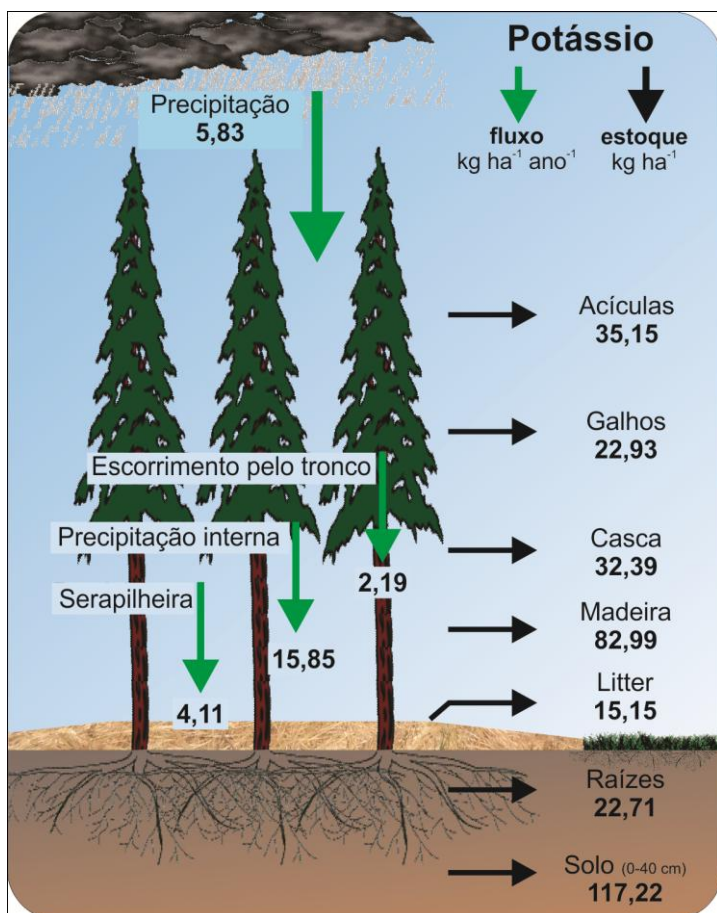


Figura 7.3 - Dinâmica nutricional do potássio em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

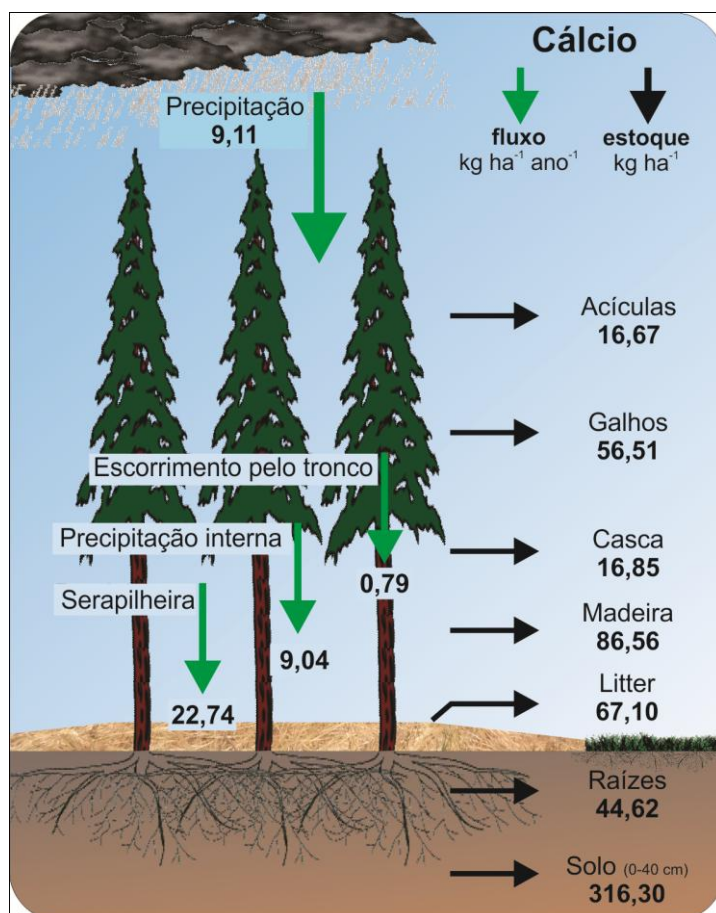


Figura 7.4 - Dinâmica nutricional do cálcio em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

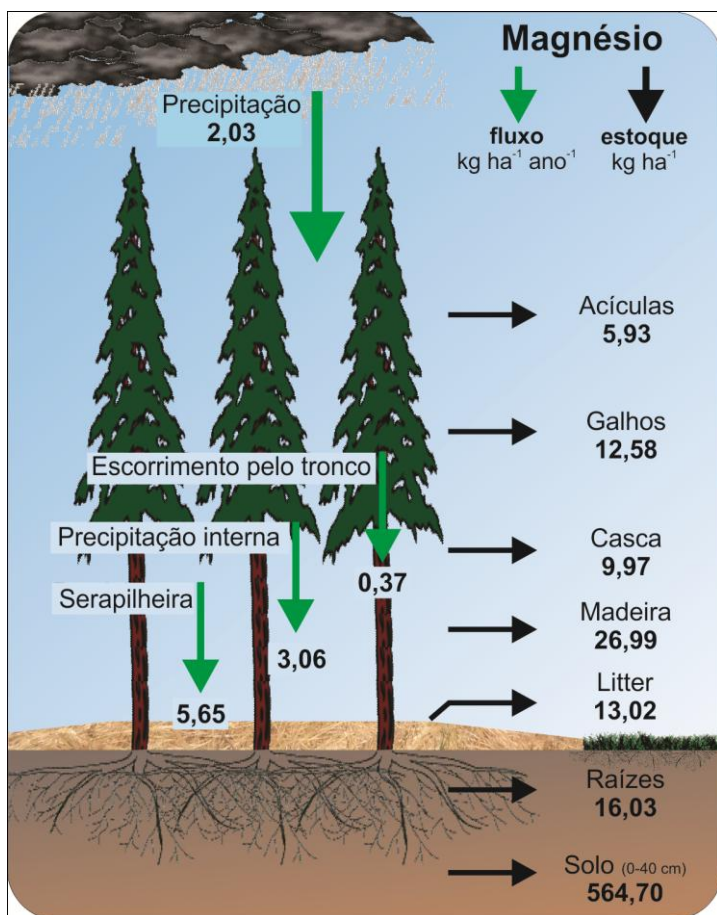


Figura 7.5 - Dinâmica nutricional do magnésio em um povoamento de *Pinus taeda* L., aos 18 anos de idade, no nordeste do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

7.3.3 Estimativa do número de rotações com base no balanço de nutrientes

Na colheita de povoamentos florestais ocorrem grandes retiradas de biomassa, e nessa biomassa estão acumuladas grandes quantidades de nutrientes, variando suas quantidades nos diferentes compartimentos da biomassa nas árvores. Segundo Witschoreck (2008), a reposição de parte desses nutrientes exportados, pode ser feita pela adição de fertilizantes, porém, dificilmente serão alcançados níveis originais em termos quantitativos e principalmente qualitativos. Normalmente, tal reposição, se restringe aos elementos nitrogênio, fósforo e potássio.

O coeficiente de utilização biológica (CUB), é uma ferramenta que auxilia na visualização conjunta, dos fatores que influenciam a diferenciação nas quantidades de nutrientes na biomassa, dentro de uma mesma planta, ou mesmo em diferentes espécies. Este coeficiente corresponde à taxa de conversão de nutrientes em biomassa, obtida através do quociente entre a biomassa e a quantidade de nutriente, ambos com a mesma unidade. Esse valor demonstra quantas unidades de

biomassa é formada por unidade de nutriente, e quanto maior o valor, mais eficiente é a conversão dos nutrientes em biomassa. Em termos práticos, esse coeficiente deve ser o maior possível, com isso, será exportado menos nutriente por unidade de biomassa (WITSCHORECK, 2008).

O compartimento madeira do fuste apresentou os maiores valores para o CUB. As acículas apresentaram os menores valores para o CUB, excepto para o Ca, apresentando a menor eficiência na conversão dos nutrientes em biomassa. Os dados mostraram que, proporcionalmente, a colheita das acículas seria responsável pela exportação de grandes quantidades de N, P e K (Tabela 7.4), revelando-se uma prática indesejável do ponto de vista ecológico e de manutenção da produtividade do sítio. Dessa forma, é necessário, que esse componente da biomassa seja mantido no sítio após a realização da colheita (VIERA, 2012). Nesse sentido, o mesmo autor, recomenda a utilização de materiais genéticos que possuam eficiência compatível com a fertilidade do solo.

Witschoreck (2008), estudando um povoamento, em condições de sítio semelhantes, no mesmo município, encontrou a mesma tendência para acículas e madeira. No caso da madeira, o autor considerou bastante desejável que este componente, de maior interesse para a silvicultura, apresenta-se os maiores valores para o CUB. Reis e Barros (1990) relatam que, em sítios de melhor qualidade, numa mesma região, a madeira constitui 60% da biomassa total, enquanto que em sítios de pior qualidade a madeira constitui apenas 45%. Conforme os autores, esta redução na proporção de biomassa na madeira pode ocorrer, principalmente, em razão da maior alocação de assimilados na produção de raízes.

O coeficiente de utilização de nutrientes da madeira do fuste decresceu na seguinte ordem $P > Mg > K > Ca > N$.

Tabela 7.4 - Coeficiente de utilização biológica para os diferentes componentes da biomassa de *Pinus taeda* de 18 anos de idade, em Cambará do Sul.
Fonte: elaborado pelo autor.

Nutriente	Acículas	Galho vivo	Galho morto	Casca ponteiro	Madeira ponteiro	Casca fuste	Madeira fuste	Raiz*
N	73	311	360	157	566	280	920	375
P	848	3244	5793	1390	4867	3199	8679	6969,6
K	246	863	219	291	864	652	1672	1516,1
Ca	519	501	388	988	1921	1204	1584	771,6
Mg	1459	1916	2262	1281	4056	2068	5104	2147,8

*Valores adaptados de Witschoreck (2008)

Na Tabela 7.5, foram apresentados 3 diferentes simulações para a exportação de nutrientes pela colheita em 3 diferentes intensidades de utilização da biomassa. Sem exceção, todos os nutrientes tiveram sua exportação aumentada com o aumento da intensidade de uso da biomassa. Chama-se a atenção para a simulação em que é colhida a árvore inteira, no valor de biomassa, o aumento na exportação foi de 41 %, porém, quando considerada a exportação dos nutrientes, todos tiveram um incremento superior a 100 %, chegando a 185 % para o nitrogênio. Da mesma forma, quando considerada a segunda simulação, com a colheita da madeira com casca, foi verificado o mesmo comportamento, com aumento, em menor escala, da exportação dos nutrientes estudados.

O incremento desproporcional entre biomassa e nutrientes para os tipos de colheita florestal, deve-se à diferença nos teores nutricionais entre a madeira e os demais componentes, especialmente para acículas que, via de regra, possuem os maiores teores de nutrientes (ver Figura 5.5, Cap. 5). A colheita somente da madeira do tronco é a modalidade mais conservadora de utilização da biomassa e a condição ideal no que se refere à redução do impacto nutricional dessa atividade (WITSCHORECK, 2008).

Valeri (1988) destaca a importância em se considerar o volume de biomassa retirada com a execução de desbastes, pois ainda que se retire do sistema um pequeno volume de biomassa de casca, em termos de nutrientes, os valores são expressivos, e, portanto ambos deverão ser considerados nos planos de manejo nutricional, devido à rápida decomposição da casca e a imediata disponibilização dos nutrientes às plantas. Da mesma forma, Sixel (2012) chama a atenção para os benefícios dos resíduos florestais, com significativas contribuições nutricionais e proteção do solo, associando estes aspectos diretamente a manutenção da sustentabilidade e da produtividade em povoamentos de *Pinus taeda*.

Tabela 7.5 - Exportação de biomassa (Mg ha⁻¹) e nutrientes (kg ha⁻¹) em função da intensidade de colheita da biomassa de *Pinus taeda* L., com 18 anos de idade em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

		Intensidade de colheita da biomassa		
		Madeira ¹	Madeira + casca ¹	Árvore inteira ²
Biomassa	(Mg ha ⁻¹)	135,91	155,22 (14,2%) ³	190,56 (41,0%)
N		147,78	216,69 (46,6%)	421,65 (185,3%)
P		15,66	21,69 (38,5%)	39,37 (151,4%)
K	(kg ha ⁻¹)	81,30	110,87(36,4%)	173,46 (113,4%)
Ca		85,80	101,82 (18,7%)	176,59 (105,8%)
Mg		26,63	35,96 (35,0%)	55,47 (108,3%)

Onde: (1) Colheita da madeira ou madeira mais casca do tronco até um diâmetro mínimo de 8 cm com casca na extremidade do fuste; (2) biomassa arbórea acima do solo (acícula, galhos, madeira e casca do tronco); (3) valores entre parênteses referem-se ao aumento percentual de biomassa ou nutrientes, em relação à colheita apenas da madeira.

7.3.4 Estimativa do número de rotações com base no balanço nutricional

Considerando o estoque de nutrientes disponíveis no solo e no resíduo florestal (de acordo com os diferentes métodos de colheita da biomassa) e as entradas via precipitação atmosférica, foi possível estabelecer o balanço nutricional e a estimativa do número potencial de rotações de 18 anos, para o povoamento de *Pinus taeda* (Tabela 7.6). Conforme Witschoreck (2008), é importante salientar que quando o balanço nutricional for positivo, ou seja, entrada maior de nutrientes via precipitação do que a saída através da colheita, o NR será negativo, indicando uma condição de sustentabilidade ou infinitos ciclos produtivos.

Nos cenários de exploração da madeira e da casca, comuns na colheita do pinus, cuidados devem ser tomados quanto ao P visando a suprir as demandas da espécie e a retardar os efeitos da exportação de nutrientes sobre a produtividade florestal, de modo a, assim, promover a formação de ciclos geoquímicos sustentáveis (SIXEL, 2012).

Tabela 7.6 - Balanço biogeoquímico de nutrientes e a estimativa do número de rotações (NR) para o povoamento de *Pinus taeda*, com 18 anos de idade, em Cambará do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

		N	P	K	Ca	Mg
		Kg ha ⁻¹				
Estoque (+) a		905,54	10,99	117,22	316,3	564,7
Entrada (+) b		151,74	27,72	104,94	163,98	36,54
Simulação 1	1° desbaste*	27,22	3,33	8,99	15,98	4,16
	2° desbaste*	29,49	3,61	9,74	17,32	4,51
	Madeira	147,78	15,66	81,3	85,8	26,63
	Colheita (-) c	204,49	22,6	100,03	119,1	35,3
	Resíduo (+) d	577,18	44,27	130,02	202,51	57,89
	Balanço (b-c)	-52,75	5,12	4,91	44,88	1,24
	NR (a+d)/(c-b)	28	∞**	∞	∞	∞
Simulação 2	1° desbaste*	38,46	4,5	12,65	20,89	5,58
	2° desbaste*	41,66	4,87	13,71	22,64	6,04
	Madeira + casca	216,69	21,69	110,87	101,82	35,96
	Colheita (-) e	296,81	31,06	137,23	145,35	47,58
	Resíduo (+) f	508,27	38,24	100,45	186,49	48,56
	Balanço (b-e)	-145,07	-3,34	-32,29	18,63	-11,04
	NR (a+f)/(e-b)	10	15	7	∞	56
Simulação 3	1° desbaste*	96,4	9,91	27,55	50,86	11,99
	2° desbaste*	104,43	10,73	29,85	55,1	12,99
	Madeira + Casca + Copa	421,65	39,37	173,46	176,59	55,47
	Colheita (-) g	622,48	60,01	230,86	282,55	80,45
	Resíduo (+) h	303,31	20,56	37,86	111,72	29,05
	Balanço (b-g)	-470,7	-32,29	-125,92	-118,57	-43,91
	NR (a+h)/(g-b)	3	1	1	4	14

*Dados adaptados de Witschoreck (2008). ** infinitas rotações.

Observa-se que quando o balanço nutricional for positivo, ou seja, entrada maior de nutrientes via precipitação do que a saída através da colheita, o NR será negativo, indicando uma condição de sustentabilidade ou infinitos ciclos produtivos, simbolizado por “∞”.

Considerando o balanço nutricional, mesmo que considerada apenas a colheita da madeira, o nitrogênio apresentou balanço negativo em todas as simulações propostas. O número de rotações apresentou uma queda drástica, de 28 para apenas 3 rotações, com a utilização de toda biomassa da árvore. Para os outros nutrientes foram verificados balanços positivos, significando que as entradas compensam a exportação pela colheita da biomassa de madeira (Tabela 7,6).

A manutenção no sítio, especialmente das acículas é de fundamental importância. Conforme Schumacher et al. (2000), a vegetação em geral, contém teores muito altos de potássio. Quando esta vegetação é cortada e incorporada ao solo, altos teores de potássio são devolvidos ao mesmo. Outra forma de pronta disponibilização de nutrientes, como o potássio, por exemplo, é a queima da biomassa, porém, esse procedimento, não é recomendado, pelas grandes desvantagens que acarreta ao meio ambiente.

Conforme Witschoreck (2008), o esgotamento absoluto dos nutrientes não acontece, o número de rotações é uma ferramenta de manejo e indica uma transição para um nível de produtividade inferior. Assim, se considerarmos duas rotações sucessivas, com colheita total da biomassa, provavelmente, no segundo ciclo produtivo será verificado uma redução da produtividade, em decorrência da limitação pela falta de determinado nutriente. O mesmo autor, afirma que o aproveitamento das partes terminais do tronco, aqui neste trabalho denominado de ponteiro, além de matéria-prima de baixa qualidade, acarretará maior exportação de nutrientes por unidade de biomassa colhida.

Em termos absolutos, a madeira é responsável por maior exportação de nutrientes, quando comparado aos outros compartimentos da biomassa arbórea. Considerando a madeira e a casca, em termos relativos, a casca é responsável por grande exportação de nutrientes do sistema. Assim o descascamento das toras no campo torna-se mais uma alternativa para a busca da sustentabilidade da produção florestal (GONÇALVES et al., 2011).

A remoção dos resíduos (folhas, cascas e galhos), após a colheita florestal, deve ser evitada, como forma de se preservar a produtividade dos sítios florestais (VALERI, 1988). A decomposição desse material, contribui com a sustentabilidade do ecossistema florestal, através do incremento da disponibilidade de nutrientes. Com a manutenção dos resíduos é possível diminuir o uso de adubação (redução de custos e passivos ambientais), para reposição nutricional do sítio florestal (VIERA, 2012).

Por fim, com base no que foi analisado, é possível definir uma seqüência de nutrientes, quanto ao risco de limitação da produtividade, quando se consideram, principalmente níveis mais intensos de utilização da biomassa (Madeira +Casca + Copa): $N > Ca > P > Mg > P$. Conforme Valeri (1988), os nutrientes N e Ca são os elementos mais expressivamente exportados através da casca e no caso do Ca, K e

Mg poderão expressar as maiores deficiências na nutrição do pinus. A permanência das acículas e ramos das árvores desbastadas no sistema florestal poderão ser de grande importância para a ciclagem dos nutrientes, principalmente para o K.

POGGIANI (1980) chama a atenção quanto a utilização dos resíduos florestais, alertando para o acréscimo de quase 100% na exportação de nutrientes. Podendo tais efeitos serem piorados caso seja usada a queimada ou exploração com máquinas, culminando na diminuição da qualidade do sítio e consequente aumento nos custos de produção.

7.4 Conclusões

O nitrogênio é o nutriente mais abundante no estoque de nutrientes do solo, seguido em ordem decrescente pelo magnésio, cálcio, potássio e fósforo.

O nitrogênio apresentou balanço negativo, independentemente da intensidade de colheita da biomassa (madeira; madeira e casca ou biomassa total).

O aumento na intensidade de utilização da biomassa proporcionou um aumento na exportação de N, P, K, Ca e Mg, diminuindo o número de rotações possíveis.

As diferentes quantidades de entrada de nutrientes no sistema e o estoque de nutrientes no solo determinam se um nutriente será mais ou menos limitante na produção florestal.

Considerando a colheita de toda biomassa arbórea (Madeira + Casca + Copa), os nutrientes apresentaram a seguinte sequência quanto ao risco de diminuição do número de rotações: $P = K > N > Ca > Mg$.

7.5 Recomendações

Os resíduos, gerados no momento da colheita da madeira, assim como a camada de serapilheira acumulada sobre o solo, devem ser mantidos na superfície do solo. A manutenção desta camada orgânica sobre o solo, esta diretamente ligada a manutenção da qualidade e sustentabilidade produtiva do sítio.

7.6 Referências

BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. Recomendação de fertilizantes minerais em plantios de eucalipto. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p.270-286.

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

BIZON, J. M. C. Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada e saída de nutrientes. **Dissertação de mestrado**. Piracicaba, 95 p., 2005.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades** dos solos. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 898p.

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

CALDEIRA, M. V. W. et al. Ciclagem de nutrientes, via deposição e acúmulo de serapilheira, em ecossistemas florestais. In: CALDEIRA, M. V. W. et al. **Tópicos em ciências florestais**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2010, cap. 2, p. 57-82.

CQFS – RS/SC. COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, C. A. et al. Nutrição de pinus no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa. **Documentos EMBRAPA Florestas**, Paraná, n.60, p.1-23, nov.2001.

GONÇALVES, E. O. et al. Exportação de nutrientes pela colheita florestal. In: CALDEIRA, et al. **Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil**. Alegre: Suprema, 2011, cap. 6, p. 117-139.

GOOR, C. P. V. Reflorestamento com coníferas no Brasil. Aspectos ecológicos dos plantios na região sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*. **Boletim do Setor de Inventários Florestais**, v. 9, São Paulo, 88 p, 1965.

KIMMINS, J. P. Identifying key processes affecting long-term site productivity. In: DYCK, W.J.; COLE, D.W.; COMERFORD, N.B. **Impacts of forest harvesting on long-term site productivity**. Britain: 1994, p.119-150.

LACLAU, J.P. et al. Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo. 3. Input–output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 210, p. 375-391, 2005.

LA TORRACA, S. M.; HAAG, H. P.; MIGLIORINI, A. J. **Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. IPEF n.27, p.41-47, ago.1984**

LOPES, V. G. et al. Quantificação de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. e uma área de campo em Cambará do Sul (RS). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.20, p.569 - 578, 2010.

LOPES, V. G. et al. Variáveis físicas e químicas 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, p.14 - 23, 2013.

MIROV, N. T. **The genus Pinus**. New York: Ronald Press, 1967. 602 p.

MOREAU, A. M. S. S. et al. Distribuição de biomassa de raízes de eucalipto em solos coesos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Gramado, 2007.

OVINGTON, J. D. Studies of the development of woodland conditions under different trees. **Journal of Ecology**, v. 42, p. 391-405, 1958.

POGGIANI, F. Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes. **IPEF**, Piracicaba, v.1, n.2, p.D.1 – D.11, Jul.1980.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel. 9. ed. 1988. 549 p.

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

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343 p.

RANGER, J.; TURPAULT, M. Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable forest management. **Forest Ecology and Management**, v.122, p.139-154, 1999.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (eds). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, 1990. cap.7, p.265-302.

SCHUMACHER, M. V. et al. **Caracterização física e química de um solo em uma área de campo nativo, com floresta de *Pinus taeda***. Santa Maria, RS: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais. 2000. 30 p. (Relatório Técnico).

SCHUMACHER et al. Quantificação da biomassa e nutrientes em povoamentos de pinus. **Revista da madeira**, v. 99, p. 81-84, 2006.

SIXEL, R. M. M. **Sustentabilidade da produtividade de madeira de *Pinus taeda* com base no estoque, na exportação e na ciclagem de nutrientes**. 109f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

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

VALERI, S. V. **Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades**. 180f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

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

VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; CAMARGO, F.R.A. Efeitos do corte raso de plantação de *Eucalyptus* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e as perdas de solo e de nutrientes em uma microbacia no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.55, p. 5-16, jun.1999.

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