

JULIANO SCHWARZBACH

**DINÂMICA QUÍMICA DA SOLUÇÃO DO SOLO EM TRÊS FASES
SUCESSIONAIS DA FLORESTA OMBRÓFILA Densa DAS TERRAS BAIXAS NO
LITORAL DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Renato Marques

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann

Curitiba, 2005

Aos meus pais, Álvaro
Tadeu Schwarzbach e Graci
Jug Schwarzbach pelo amor,
apoio e compreensão a mim
dedicados todo o tempo,
tornando possível a realização
deste projeto.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder a alegria de viver entre bons amigos, por ter uma boa família, e por me presentear com a companheira Kaciane e com a minha filha Júlia.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Renato Marques por toda a sua dedicação, paciência e confiança dispensadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu Co-orientador Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann pelo valioso auxílio na resolução das dúvidas, ensinamentos e bom humor durante os trabalhos.

Ao CNPq e ao Ministério da Ciência e Educação da Alemanha (BMBF), através do Projeto Solobioma, pelo suporte financeiro à pesquisa.

Aos colegas Geferson Piazza, Leandro Berté, Aline Rocha, Jaime Barros, Joemir Brüske, Ligia Souza, Simone Kreutzer, Cheila Carafini, Andreza Pessoa e Wilson Saram pela ajuda prestada em diferentes etapas deste trabalho, nas coletas em campo, no laboratório ou ainda compartilhando dados indispensáveis.

Aos colegas integrantes do projeto Solobioma: Adriana Souza, Aline Rocha, Bernhard Förster, Carlos Bruno Reissmann, Carolina Benghi Pinto, Daniel Correa, Dirk Gabler, Eduardo Almeida, Fernanda Sereda, Hubert Höfer, Jaime Barros, Jeanette Lancé, Jochen Bihn, Joemir Brüske, Jörg Römbke, Joseliz Robassa, Kauana Dickow, Ligia Souza, Ludger Scheuermann, Manfred Verhaagh, Nadine Rumpler, Petra Schmidt, Phillip Hopp, Rainer Fabry, Renato Marques, Rüdger Schmelz, Werner Hannagarth (in memoriam) e Wilson Saram pelos momentos agradáveis tanto no campo quanto nas reuniões.

Ao professor Dr. Vander de Freitas Melo, pela brilhante atuação como coordenador do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo.

Ao funcionário Gerson Novick por resolver nossos problemas burocráticos.

Aos laboratoristas Aldair, Roberto, Reginaldo, Rui, Ana, Elda, José Roberto e Cristiane pela dedicação e bom humor dispensados durante os muitos dias de trabalho no laboratório.

À professora Dr^a. Maria Cristina Braga do Departamento de Hidrologia e Saneamento da UFPR, por disponibilizar o equipamento e o laboratório para análises de TOC.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 PLANÍCIE LITORÂNEA DO PARANÁ.....	14
3.1.1 Geologia.....	14
3.1.2 Solos.....	14
3.1.3 Vegetação.....	15
3.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES.....	17
3.2.1 Fluxo de Nutrientes no Ciclo Hidrológico.....	19
3.2.2 Solução do Solo.....	23
3.2.3 Produção de Serapilheira e Liberação de Nutrientes.....	28
3.2.4 Sucessão Vegetal e Sua Influência na Ciclagem de Nutrientes.....	30
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS.....	34
4.1.1 Localização.....	34
4.1.2 Clima.....	34
4.1.3 Solos.....	35
4.1.4 Vegetação.....	37
4.1.5 Histórico de Uso das Áreas de Estudo.....	38
4.2 INSTALAÇÃO DOS COLETORES DE SOLUÇÃO DO SOLO.....	38
4.3 COLETAS DE SOLUÇÃO DO SOLO.....	42
4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DAS SOLUÇÕES.....	43
4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SOLUÇÕES DE PRECIPITAÇÃO LIVRE, PRECIPITAÇÃO INTERNA E LENÇOL FREÁTICO.....	44
5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SOLUÇÕES DO SOLO.....	47
5.2.1 pH.....	48

5.2.2	Cálcio.....	48
5.2.3	Magnésio.....	49
5.2.4	Potássio.....	50
5.2.5	Sódio.....	51
5.2.6	Nitrato.....	51
5.2.7	Cloreto.....	53
5.2.8	Condutividade Elétrica.....	53
5.2.9	TOC(carbono orgânico dissolvido).....	54
5.2.10	Comparação com Resultados de Outros Autores.....	54
5.3	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO.....	56
5.4	DINÂMICA DOS ELEMENTOS AO LONGO DO PERÍODO DE COLE- TAS.....	58
5.4.1	Dinâmica do pH.....	58
5.4.2	Dinâmica do Cálcio.....	60
5.4.3	Dinâmica do Magnésio.....	61
5.4.4	Dinâmica do Potássio.....	63
5.4.5	Dinâmica do Sódio.....	65
5.4.6	Dinâmica do Nitrato.....	67
5.4.7	Dinâmica do Cloreto.....	69
5.4.8	Dinâmica do Carbono Orgânico Dissolvido(TOC).....	70
5.5	MUDANÇAS NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA ATRAVÉS DO ECOSSISTEMA.....	71
6	CONCLUSÕES.....	74
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE FIGURAS:

FIGURA 1-	Localização da Floresta Estadual do Palmito no Estado do Paraná.....	34
FIGURA 2-	Instalação dos lisímetros no solo em fase Inicial de sucessão florestal.....	39
FIGURA 3-	Coleta de solução do solo em fase Avançada da sucessão florestal.....	40
FIGURA 4-	Lisímetros instalados no solo em fase Inicial da sucessão florestal.....	40
FIGURA 5-	Lisímetros instalados no solo em fase Intermediária da sucessão florestal.....	41
FIGURA 6-	Lisímetros instalados no solo em fase Avançada da sucessão florestal.....	42
FIGURA 7-	Valores de pH nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	59
FIGURA 8-	Valores de pH nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	59
FIGURA 9-	Valores de pH no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.....	59
FIGURA 10-	Teores de cálcio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	60
FIGURA 11-	Teores de cálcio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	60
FIGURA 12-	Teores de cálcio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.....	61
FIGURA 13-	Teores de cálcio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.....	61
FIGURA 14-	Teores de magnésio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	62
FIGURA 15-	Teores de magnésio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	62
FIGURA 16-	Teores de magnésio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.....	62

FIGURA 17- Teores de magnésio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.....	63
FIGURA 18- Teores de potássio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15cm de profundidade, ao longo do tempo.....	64
FIGURA 19- Teores de potássio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	64
FIGURA 20- Teores de potássio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.....	64
FIGURA 21- Teores de potássio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.....	65
FIGURA 22- Teores de sódio na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	66
FIGURA 23- Teores de sódio na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	66
FIGURA 24- Teores de sódio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.....	66
FIGURA 25- Teores de sódio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.....	67
FIGURA 26- Teores de nitrato na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	68
FIGURA 27- Teores de nitrato na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	68
FIGURA 28- Teores de nitrato nas soluções do lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.....	68
FIGURA 29- Volumes precipitados e concentrações de nitrato na precipitação interna, ao longo do tempo, nas três fases sucessionais.....	69
FIGURA 30- Teores de cloreto na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	69
FIGURA 31- Teores de cloreto na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	70
FIGURA 32- Carbono orgânico total (TOC) nas soluções do solo, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	70

FIGURA 33- Carbono orgânico total (TOC) nas soluções do solo, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.....	71
FIGURA 34- Concentração média dos parâmetros nas soluções coletadas em diferentes compartimentos da floresta, na fase Inicial da sucessão vegetal.....	73
FIGURA 35- Concentração média dos parâmetros nas soluções coletadas em diferentes compartimentos da floresta, na fase Intermediária da sucessão vegetal.....	73
FIGURA 36- Concentração média dos parâmetros nas soluções coletadas em diferentes compartimentos da floresta, na fase Avançada da sucessão vegetal.....	73

LISTA DE TABELAS:

TABELA 1- Resultados da análise química do solo, das fases em estudo, em diferentes profundidades e horizontes do perfil do solo.....	36
TABELA 2- Resultados da análise granulométrica do horizonte A do solo das fases sucessionais em estudo.....	36
TABELA 3- Espessura do Horizonte orgânico e quantidade acumulada de matéria orgânica sobre o solo das fases sucessionais em estudo.....	36
TABELA 4- Composição química média das soluções de precipitação livre, precipitação interna e lençol freático, coletadas na Floresta do Palmito durante o estudo.....	46
TABELA 5- Composição média das soluções do solo coletadas na Floresta do Palmito.....	47
TABELA 6- Resultados obtidos por diversos autores em monitoramentos de soluções do solo em ecossistemas florestais.....	55
TABELA 7- Correlações entre os pares de parâmetros observados nas soluções coletadas nas áreas em estudo.....	57

RESUMO

A solução do solo é a água presente nos macros e microporos do solo, resultado de entradas via chuva ou movimentação lateral. Sua composição química, além de indicar níveis de fertilidade, também permite inferir sobre o fluxo de entradas e saídas de nutrientes deste compartimento, como parte do processo de ciclagem biogeoquímica do ecossistema. O objetivo deste trabalho foi conhecer a composição química das soluções do Espodossolo Órtico-cárbico sob três fases serais da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Parque Estadual do Palmito, município de Paranaguá-PR. Identificar diferenças entre soluções do solo coletadas em três fases da sucessão vegetal distintas e avaliar possíveis relações entre as soluções do solo com as soluções de precipitação interna, volume precipitado e estações do ano. As três áreas estudadas encontram-se em regeneração após diferentes usos antrópicos. As fases denominadas Inicial e Intermediária sofreram corte raso e queima, curto ciclo agrícola e depois foram abandonadas em diferentes épocas. A fase denominada Avançada sofreu extração seletiva de madeira. Para coleta da solução do solo, foram instalados 12 lisímetros de cápsula porosa por área, 6 na profundidades de 15 cm e 6 a 40 cm. As coletas foram realizadas em intervalos de 21 dias entre as datas 12/09/2002 e 19/03/2004. Os parâmetros analisados foram: pH, CE, NO_3^- -N, Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e TOC. As concentrações dos nutrientes nas soluções do solo apresentaram diferenças entre as áreas de estudo e entre profundidades. A ordem de dominância dos íons nas soluções das fases Inicial e Intermediária ficou assim: $\text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^-$ -N $> \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$; e na fase Avançada: $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ -N $> \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. O pH das fases Inicial e Intermediária ficaram próximos a 5,0 e na área Avançada em torno de 3,8. A condutividade elétrica (CE) das fases Inicial e Intermediária foram semelhantes; a fase Avançada apresentou valores bem superiores às outras duas fases. As soluções do solo coletadas na fase Avançada foram geralmente mais concentradas em nutrientes do que nas outras duas fases, exceto para Ca^{2+} e K^+ , que se apresentam em maior concentração nas áreas Inicial e Intermediária. Os nutrientes apresentaram a mesma dinâmica nas duas profundidades para as soluções coletadas numa mesma área. O NO_3^- -N apresentou tendência de aumento nas concentrações no inverno, enquanto que o Mg^{2+} mostrou maiores concentrações na primavera e verão. As concentrações de K^+ diminuem com o aumento do volume de precipitação, caracterizando efeito de diluição. Estes resultados devem-se principalmente às diferenças na estrutura florestal, a qual possibilita maior entrada de nutrientes via precipitação interna na fase Avançada; também nesta fase observou-se maior proximidade do lençol freático em relação à superfície do solo e espessura da camada orgânica maior em relação às demais áreas estudadas. O histórico das fases e as características particulares de cada solo e vegetação contribuíram para os resultados obtidos. O contínuo monitoramento destas soluções deverá mostrar tendências mais claras dos comportamentos dos nutrientes neste ecossistema.

Palavras chave: Mata Atlântica, ciclos biogeoquímicos, solução do solo, lisímetros.

ABSTRACT

The soil solution can be defined as the water present in the macro and micropores of the soil, result of entrances through rain or lateral water movement. Its chemical composition besides indicating fertility levels, also allows to infer on the flow of nutrients input-output of this compartment, as part of the biogeochemical process of the ecosystem. The aim of this work was to know the chemical composition of an Espodosol solution collected at three successional stages of the Lowland Ombrophilous Dense Forest in the State Park of Palmito, district of Paranaguá-PR. To identify differences between soil solutions collected at three distinct successional stages and to evaluate possible relationships between soil solution and the throughfall, bulk precipitation and seasons. The successional stages denominated Initial and Intermediary suffered clearcut and burn, short agricultural cycle and later they were abandoned in different times, the area denominated Advanced it suffered selective wood extraction. Twelve porous cap lysimeters were installed for soil solution extraction in each area, six in the depth 15 and six in the depth 40 cm. Extractions were accomplished in intervals of 21 days (12/09/2002 to 19/03/2004). The analyzed parameters were: pH, EC, NO_3^- -N, Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ and TOC. Nutrient concentration in the soil solutions showed differences among successional stages and soil depths. Concentration of ion in the soil solution in the Initial and Intermediate successional stages were: $\text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^-$ -N $> \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ and in the Advanced stage: $\text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ -N $> \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$. The pH of the stages Initial and Intermediary were close to 5,0 and in the Advanced area around 3,8. The electrical conductivity (EC) of the phases Initial and Intermediary are similar; the Advanced phase presented very superior values than the others two phases. The soil solutions collected in the Advanced successional stage were in general more concentrated in nutrients than the other areas, except for Ca^{2+} and K^+ with higher concentration in the Initial and Intermediary stages. Nutrient dynamics were the same for the two depths in the same area. NO_3^- -N presented increasing tendency in concentrations in the winter, while Mg^{2+} showed higher concentrations in the Spring and Summer. K^+ show the same dynamics of the throughfall, with concentration decrease when the precipitation volume increase, characterize the dilution effect. These results are due mainly to the differences in the forest structure, which makes possible larger inputs of nutrients by throughfall in the Advanced stage; also in this phase the water table in the ground was closest to the soil surface and the thickness of organic layer is larger than in the other studied stages. The former use of the areas and morphological characteristics of the soil also contributed to the results observed. The continuous monitoring of solutions will elucidate the nutrient dynamics in this environment.

Key words: Rainforest, biogeochemical cycles, soil solution, lysimeters.

1 INTRODUÇÃO

O litoral do Paraná está coberto, em sua maior parte, pela Floresta Ombrófila Densa, a qual é conhecida por sua grande biodiversidade. Este fato deve-se principalmente à grande variedade de ecossistemas que a formam, os quais se diferenciam por suas características de solo, relevo, vegetação, altitude, microclima entre outros.

Dentre estes ecossistemas, encontram-se: a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, a Floresta Ombrófila Densa Submontana, a Floresta Ombrófila Densa Montana, a Floresta Ombrófila Densa Alto-montana e ainda as formações de manguezais e restingas.

A Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas desenvolve-se sobre diversos tipos de solos, tais como, Argissolos, Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos, Neossolos flúvicos e Organossolos.

No Paraná, os Espodossolos geralmente são de textura essencialmente arenosa, apresentam um horizonte de perda E (eluvial) logo abaixo do horizonte A e um horizonte de acumulação (iluviação) de matéria orgânica e/ou sesquióxidos de ferro e alumínio (Bh ou Bir), em profundidade (RACHWAL e CURCIO,1994). Estes solos possuem baixa capacidade de retenção de nutrientes devido às suas limitações químicas e físicas.

Nestas condições de solo, onde não existe matriz capaz de disponibilizar nutrientes através do intemperismo, a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas têm seu aporte nutricional devido ao processo denominado ciclagem biogeoquímica de nutrientes.

O fluxo de água através do ecossistema tem papel fundamental nos ciclos biogeoquímicos. A precipitação que atinge o dossel florestal contribui significativamente para este ciclo. Esta, além de conter quantidade relevante de nutrientes, promove a lavagem dos mesmos das copas das árvores, retornando, assim, quantidade significativa de nutrientes ao solo. Ao infiltrar-se no solo, a precipitação torna-se a solução do solo, de onde parte dos nutrientes é imediatamente absorvida pelas raízes; outra parte fica retida no complexo de troca e parte é perdida por lixiviação.

A solução do solo é então o resultado de interações entre a água da chuva e os seguintes fatores: materiais suspensos na atmosfera, deposições sobre o dossel florestal, lixiviação de tecidos vegetais, serapilheira, complexo de trocas do solo, raízes e organismos do solo.

É comum a utilização da solução do solo como ferramenta para o monitoramento da qualidade ambiental, monitoramento contínuo da fertilidade e salinidade em plantações agrícolas e florestais e ainda no estudo da dinâmica dos nutrientes em ecossistemas

florestais. Através da solução do solo é possível acessar dados sobre a dinâmica corrente no solo após ações antrópicas como fertilização, corte raso, podas, mudanças de espécies, etc (MARQUES,1996).

O conhecimento da dinâmica de nutrientes em ecossistemas florestais naturais é de suma importância para a compreensão da sua autossustentabilidade. Como a composição química da solução do solo é um reflexo das entradas e saídas de nutrientes do sistema solo-planta, o monitoramento dos teores de nutrientes presentes nesta solução possibilita acessar informações sobre parte do funcionamento biogeoquímico do ecossistema.

Considerando o processo de sucessão ecológica, a liberação de nutrientes pela vegetação, através dos processos de lixiviação e lavagem da copa das árvores e da serapilheira, é diferenciada em função das espécies que compõem uma determinada fase de desenvolvimento da floresta (DICKOW, 2000 e PINTO, 2001). Isto deve contribuir, certamente, para uma diferenciação da composição química da solução do solo em diferentes fases da sucessão vegetal.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Conhecer a dinâmica química da solução de Espodossolo sob Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no litoral do Paraná, coletadas em três fases sucessionais e em duas profundidades no perfil do solo: 15 e 40 cm.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as dinâmicas dos elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NO_3^- , Cl^- , TOC e dos parâmetros pH e condutividade elétrica (C.E.) na solução do solo ao longo do tempo.
- Avaliar o efeito da profundidade na composição química da solução do solo.
- Avaliar o efeito das fases sucessionais na composição química da solução do solo.
- Identificar relações entre as dinâmicas dos elementos nas soluções do solo, precipitação interna e lençol freático nas diferentes fases sucessionais.
- Identificar variações estacionais nos comportamentos dos elementos durante o período de amostragem.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PLANÍCIE LITORÂNEA DO PARANÁ

3.1.1 Geologia

Ao longo das costas sudeste e sul brasileiras, são bastante comuns amplas áreas de sedimentação quaternária, formando planícies litorâneas arenosas geralmente conhecidas por planícies de restingas (SUGUIO e MARTIN , 1990).

As planícies costeiras com cordões litorâneos é uma das características mais marcantes do litoral brasileiro, ocorrendo praticamente ao longo de toda a sua costa. No Paraná este tipo de planície raramente ultrapassa os dez metros acima do nível médio do mar, existindo uma diminuição progressiva de altitude do interior rumo ao mar, onde atinge de um a dois metros acima do nível médio do mar. Altitudes acima de 10 metros estão associadas a presença de dunas eólicas(ANGULO, 1992).

Conforme BIGARELLA (1978), no estado do Paraná, a planície litorânea possui cerca de 10 a 20 km de largura, atingindo o máximo de 50 km na Baía de Paranaguá. Em sua maior extensão possui altitudes inferiores a 10 m acima do nível do mar. É constituída de formações arenosas de restinga, paludais terrestres, manguezais e terrenos de aluvião terrestre nas proximidades do complexo cristalino. A leste é limitada pela orla atlântica e a oeste pelos terrenos acidentados do complexo cristalino constituintes da Serra do Mar e de suas ramificações. Elevações de rochas cristalinas formam ilhas nas planícies de sedimentos. Elas serviram de apoio para os processos de sedimentação. Grande parte dos sedimentos do fundo da Baía de Paranaguá originou-se do retrabalhamento dos sedimentos das restingas. Extensas áreas adjacentes à baía são formadas por restingas correspondentes a mais de uma época de sedimentação. Os depósitos arenosos das restingas constituem terraços situados a diferentes altitudes .

3.1.2 Solos

BRITZ (1994) salienta que diversos trabalhos que focalizam o ecossistema de restinga são unânimes em caracterizá-lo como solos de baixa fertilidade, devido ao predomínio de textura arenosa (sedimentos de origem marinha), dificultando a retenção de íons e de água.

Para RACHWAL & CURCIO (1994), no Paraná, os Espodosolos geralmente são de textura essencialmente arenosa, diferindo-se dos Neossolos Quartzarêmicos por apresentarem um horizonte de perda (E=eluvial) logo abaixo do horizonte A e um horizonte de acumulação (iluviação) de matéria orgânica e/ou sesquióxidos de ferro e alumínio (Bh ou Bir), em profundidade. Este processo torna os Espodosolos ainda mais pobres em nutrientes e com maiores limitações ao uso que os Neossolos Quartzarêmicos.

SANTOS FILHO e TOURINHO (1983) classificaram um Espodosolo hidromórfico na faixa litorânea paranaense, indicando possível transporte de matéria orgânica, ferro e alumínio, do horizonte superficial A para o horizonte iluvial B (Bh ou Bir).

Conforme WISNIEWSKI *et al.* (1997), as parcelas de estudo estão situadas sobre Espodosolo que, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), compreende os solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico subjacente a horizonte eluvial E (álbico ou não), ou subjacente a horizonte A, que pode ser de qualquer tipo, ou ainda, subjacente a horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura. Apresentam, usualmente, seqüência de horizontes A, E, Bh, Bhs ou Bs e C, com nítida diferenciação de horizontes. São solos muito pobres, moderada a fortemente ácidos, apresentando saturação por bases baixa, sendo peculiares os altos teores de alumínio extraível. São desenvolvidos principalmente por materiais arenoquartzosos, sob condições de umidade elevada, em clima tropical e subtropical, em relevo plano, suave ondulado, áreas de surgência, abaciamentos e depressões, sob tipos de vegetação os mais diversos.

3.1.3 Vegetação

A Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas é uma formação que ocupa em geral as planícies costeiras. Na região norte e nordeste, até as proximidades do rio São João no Rio de Janeiro, sobre os tabuleiros do período pliopleistocênico do grupo Barreiras. Ao sul ocorre sobre terrenos do Quaternário, em geral situados pouco acima do nível do mar nas planícies formadas pelo assoreamento, devido à erosão existente nas serras costeiras e nas enseadas marítimas. Nesta formação dominam duas "ochlospécies": *Calophyllum brasiliense* a partir do estado de São Paulo para o sul até a costa Centro-Sul de Santa Catarina e *Ficus organensis*, terminando sua ocorrência às margens da Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul, (IBGE, 1992).

A Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas ou das Planícies Quaternárias, no Estado do Paraná, situa-se entre as altitudes de 5 a 50 m a.n.m. (RODERJAN *et al.*, 1997). Encontra-se sobre a maior parte da planície de acumulação, em áreas originadas a partir da ação de agentes morfodinâmicos diversos e da interação terramar. A fisionomia, estrutura e composição da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas pode variar de acordo com o nível do lençol freático (LEITE, 1994), do estágio de desenvolvimento da floresta e do nível de interferência antrópica (RODERJAN *et al.*, 1997).

As árvores da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas apresentam entre 15 e 20 m de altura, além de grande número de espécies de crescimento rápido e sub-bosque, geralmente pouco denso, com exceção dos locais onde as herbáceas são abundantes, estabelecendo diferenciação de densidade entre os estratos da formação (LEITE, 1994).

Em solos mais úmidos e encharcados, os estratos superiores são dominados por *Callophyllum brasiliense* (GUTTIFERAE), *Tapirira guianensis* (ANACARDIACEAE), *Tabebuia umbellata* (BIGNONIACEAE), *Pseudobombax grandiflorum* (BOMBACACEAE), *Ficus luschnatiana* (MORACEAE), *Ficus adhatodifolia* (MORACEAE); nos estratos inferiores são comuns *Clusia criuva* (CLUSIACEAE), *Pera glabrata* (EUPHORBIACEAE), *Tabebuia cassinoides* (BIGNONIACEAE), entre outras (RODERJAN *et al.*, 1997).

Nos solos com melhor drenagem são comuns no dossel superior *Manilkara subsericea* (SAPOTACEAE), *Ocotea pulchella* (LAURACEAE), *Ocotea aciphylla* (LAURACEAE), *Tapirira guianensis* (ANACARDIACEAE), *Alchornea triplinervia* (EUPHORBIACEAE), *Ficus organensis* (MORACEAE), *Podocarpus sellowii* (PODOCARPACEAE) e *Manilkara subsericea* (SAPOTACEAE). No estrato inferior é mais freqüente a ocorrência de *Andira anthelminthica* (LEG. FABACEAE), *Euterpe edulis* (PALMAE), *Clethra scabra* (CLETHRACEAE), *Inga* spp. (LEG. MIMOSEAE), *Ilex* spp. (AQUIFOLIACEAE), *Syagrus romanzoffiana* (ARECACEAE) e *Attalea dúbia* (PALMAE), (RODERJAN *et al.*, 2002).

Na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas encontra-se uma grande diversidade de epífitas e lianas. As epífitas são representadas pelas famílias BROMELIACEAE, ORCHIDACEAE, ARACEAE, POLYPODIACEAE, PIPERACEAE, CACTACEAE e GESNERIACEAE, cujos indivíduos cobrem quase totalmente troncos e galhos de árvores adultas. As lianas são representadas principalmente pelas BOMBACACEAE, BIGNONIACEAE e SAPINDACEAE (RODERJAN *et al.*, 2002).

Devido à facilidade de acesso e cultivo, as áreas originalmente cobertas por esta formação florestal, foram quase totalmente destruídas e substituídas por atividades agrícolas ou sofreram a exploração das espécies de maior valor econômico, estando atualmente restritas a fragmentos de floresta secundária em áreas de preservação.

3.2 CICLAGEM DE NUTRIENTES

Os elementos químicos essenciais do protoplasma tendem a circular na biosfera em vias características, do ambiente aos organismos e destes, novamente, ao ambiente. Estas vias mais ou menos circulares chamam-se ciclos biogeoquímicos. O movimento desses elementos e compostos inorgânicos, que são essenciais para a vida, pode ser adequadamente denominado ciclagem de nutrientes. A geoquímica estuda a composição química da terra e as trocas de elementos entre as várias partes da crosta terrestre, da atmosfera e dos oceanos, rios e outras massas de água. A biogeoquímica vem a ser o estudo da troca de materiais entre os componentes vivos e não vivos da biosfera (ODUM 1988).

Segundo RANGER e TURPAULT (1999), a continuidade de um ecossistema está associada com a estabilidade do seu ciclo biogeoquímico e com um equilíbrio nas suas entradas e saídas de nutrientes, principalmente a médio prazo. Isto implica que a produção de uma espécie em um sítio não deve ser máxima, mas que esteja otimizada conforme as limitações do ambiente e o potencial da espécie em explorá-lo.

Conforme os autores SWITZER e NELSON (1972), a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ser caracterizado de três formas: ciclo geoquímico, ciclo biogeoquímico e ciclo bioquímico. O ciclo geoquímico caracteriza-se pelas trocas de elementos minerais entre diferentes ecossistemas, sendo que as principais fontes de entradas de nutrientes são a poeira e chuva, intemperismo de rochas, fixação biológica de nitrogênio e fertilizações. O ciclo biogeoquímico refere-se as trocas químicas entre o solo e a planta, envolvendo a absorção dos nutrientes pela planta, distribuição dos mesmos na planta, lixiviação pela água da chuva, desfoliação por herbívoros e a decomposição da serapilheira. O ciclo bioquímico caracteriza-se pela translocação de nutrientes que encontram-se armazenados em tecidos velhos para os tecidos novos da plantas, sendo de grande importância para a manutenção de nutrientes de maior mobilidade dentro da planta

como é o caso do N, P, K e Mg.

Segundo WISNIEWSKI (1989), dentro de um ecossistema florestal pode-se reconhecer dois ciclos: um global, que considera as entradas e saídas de nutrientes para outros sistemas e, dentro deste ciclo um ciclo biológico fechado que envolve só as trocas de nutrientes entre as plantas e o solo, sendo que este ciclo inclui as transferências de elementos via queda de serapilheira e também devido à lavagem das copas pela água da chuva.

No ciclo de nutrientes em ecossistemas florestais, podem ser distinguidos os seguintes processos: a) entrada pela atmosfera na forma de poeira ou elementos solubilizados na água da chuva; b) absorção dos elementos pela planta, especialmente através das raízes; c) transporte dos elementos dentro das plantas; d) retorno dos elementos para o solo em forma sólida como tecidos orgânicos ou serapilheira e em forma líquida através da lixiviação da copa e escorrimento ao longo dos troncos; e) deslocamento dos elementos em forma solúvel no corpo do solo; f) lixiviação dos elementos para o lençol freático ou perda por volatilização (BLUM, 1978).

Os principais fatores que controlam a ciclagem de nutrientes são: temperatura, umidade e fatores bióticos. Condições ambientais como alta temperatura e umidade favorecem as altas taxas de produção de biomassa e reciclagem de nutrientes, promovendo altas taxas de atividades biológicas, resultando em altas taxas de lixiviação e intemperização do material de origem (JORDAN, 1985).

Conforme WISNIEWSKI *et al.* (1997), os nutrientes armazenados na serapilheira acumulados nos horizontes orgânicos, variam em função de muitos fatores: da concentração dos elementos nos vários componentes da serapilheira, que por sua vez estão relacionados às espécies e suas características nutricionais, capacidade de absorção, translocação e armazenamento; da fenologia das espécies; da intensidade do processo de lixiviação das copas pela água da chuva; do elemento considerado; da época do ano; da quantidade de serapilheira produzida; das características nutricionais do ambiente e das estratégias de conservação. A mineralização da matéria orgânica do solo disponibiliza os nutrientes para serem novamente absorvidos pelas plantas do ecossistema no processo chamado de ciclagem biológica de nutrientes.

A quantidade de nutrientes que entra ou sai anualmente de um ecossistema é influenciada por fatores como: propriedades físicas e químicas do solo, condições climáticas, tipo de vegetação e localização do ecossistema em relação ao mar, às grandes áreas urbanas e aos complexos industriais (POGGIANI, 1997).

Segundo REBELO *et al.* (1992), o menor tempo de ciclagem dos nutrientes se verifica em ecossistemas como a Floresta Atlântica, no qual a maior parte da serapilheira é produzida no início da estação mais favorável para a decomposição e para produção primária. O tempo de ciclagem é limitado ao mínimo necessário para a mineralização dos detritos, sem lapso decorrente de tensor climático. Uma conseqüência esperada deste sincronismo é a minimização das perdas por lixiviação decorrentes das altas precipitações de verão. Como estratégias para reduzir estas perdas, WISNIEWSKI *et al.* (1997) citam uma variedade de mecanismos de conservação de nutrientes nas florestas tropicais úmidas, sendo eles: grande biomassa de raízes, concentração de raízes perto da superfície do solo, micorrizas, manutenção de uma complexa comunidade abaixo do solo, longevidade e resistência das folhas, grossas cascas de árvores, rápida drenagem do solo. Estes autores salientam que quando a floresta está sujeita a um distúrbio natural ou humano, alguns ou todos os mecanismos podem ser destruídos.

Trata-se de um conjunto de mecanismos desenvolvidos pelas árvores, capazes de permitir o crescimento de um estande ou de uma floresta nativa, mesmo em solos com baixa disponibilidade de nutrientes, inclusive aumentando as entradas de nutrientes no sítio, maximizando a retenção destes dentro do ecossistema, resultando em maior conservação e maior reuso dos nutrientes, uma vez que estes já estiveram na planta. A importância relativa destes mecanismos varia entre elementos e altera-se com a idade da floresta. Igualmente, a significância destes mecanismos pode variar entre espécies, principalmente entre plantas decíduas e não decíduas (BOWEN e NAMBIAR, 1984).

Já nas regiões frias, uma grande parcela da matéria orgânica e dos nutrientes disponíveis permanece o tempo todo no solo ou no sedimento; nos trópicos, uma percentagem muito maior está na biomassa, sendo reciclada dentro da estrutura orgânica do sistema, com o auxílio de várias adaptações biológicas que conservam nutrientes, inclusive simbioses mutualísticas entre microrganismos e plantas. Ao remover-se esta estrutura biótica evoluída e bem-organizada, os nutrientes perdem-se rapidamente por lixiviação sob condições de altas temperaturas e chuvas intensas, principalmente em locais que em princípio são pobres em nutrientes. Por esta razão, as estratégias agrícolas da zona temperada, que envolvem a monocultura de plantas anuais de vida curta, são totalmente inapropriadas para as regiões tropicais (ODUM, 1988).

Os nutrientes absorvidos por uma árvore, podem ser translocados para dentro ou fora de uma variedade de tecidos, onde poderão ser envolvidos em vários processos de

crescimento ou serem estocados; também podem ser imobilizados em tecidos estruturais, ou liberados através da queda de folhas, morte de raízes ou lixiviação da copa.

3.2.1 Fluxo de nutrientes no ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico através de ecossistemas terrestres liga atmosfera, vegetação, solo e águas superficiais. Em ecossistemas de clima úmido, o ciclo dos nutrientes está intimamente relacionado a este fluxo. Os nutrientes são depositados através de aerossóis ou poeira sobre as copas das árvores, alguns são absorvidos e outros liberados pelas copas, levados até o solo como precipitação interna, parte é absorvida pela vegetação e parte atravessa o perfil do solo e é exportada do sítio pelas águas de drenagem (McDOWELL, 1998).

Conforme BLUM (1978), o ciclo da água em ecossistemas florestais está relacionado com os seguintes processos: a) precipitação atmosférica; b) movimentação horizontal e vertical; c) absorção pela planta através das raízes; d) transporte na planta de baixo para cima; e) liberação de água para atmosfera através da transpiração, ou liberação através da evaporação do solo.

MOLCHANOV (1963) salienta que o crescimento das florestas depende muito do lençol freático, principalmente em solos arenosos. BRITTEZ (1994) constatou a ocorrência da "restinga baixa" (8-15 m de altura) em lugares mais elevados dos cordões arenosos da planície litorânea, enquanto a "restinga alta" (15-25 m de altura) ocorreu nas depressões, onde há frequentemente o afloramento do lençol freático.

A interação da água da chuva com a vegetação, provoca uma alteração na qualidade da água e este processo é um dos mais importantes meios de entrada de nutrientes no ecossistema (ARCOVA e CICCIO, 1987; DANTAS 1994; HAAG, 1985; MARSCHNER, 1986).

Contrário à baixa abundância de elementos na chuva, as soluções de precipitação interna são fortemente enriquecidas. Esta mudança química está atribuída à dissolução e lavagem de materiais atmosféricos depositados nas copas, as trocas entre a chuva e elementos das partes internas da planta e a lixiviação dos tecidos foliares (BÄUMLER et al., 1997; LIMA, 1986; MARTINS, 1997; TUKEY, 1970),

A oferta de bioelementos originados na forma solúvel pela lixiviação da copa assume grande importância para a flora e fauna do solo, epífitas e outras plantas além de

animais envolvidos no mecanismo da biogeocenose (BLUM, 1978).

Conforme TUKEY (1964), os fatores que afetam a quantidade e a qualidade do lixiviados podem ser: idade fisiológica da folha, estágio de desenvolvimento das plantas, luz, temperatura, intensidade de chuva e orvalho.

Segundo MALAVOLTA (1980), a palavra lixiviação foliar é definida como a remoção de substâncias contidas nas folhas pela ação de soluções aquosas como chuva, orvalho, neblina e nevoeiro. Entre os fatores que influenciam a lixiviação de substâncias das folhas estão os seguintes:

- fatores internos: tipo e natureza da planta; característica da folha (molhabilidade, cerosidade, cutícula, pubescência, hidatódios); idade fisiológica da folha; estado nutricional; desordens fisiológicas.
- fatores externos: solução lixiviadora; luz; temperatura; duração do período de lixiviação; intensidade da chuva; dano (doença, praga, mecânico, climático, nutricional); orvalho; nutrição do sistema radicular.

No que diz respeito à natureza das substâncias do material lixiviado estas podem ser :

- minerais: Ca, Cl, Fe, Mg, Mn, N, P, K, Si, Na, Sr, S e Zn.
- orgânicas: carboidratos, aminoácidos, ácidos orgânicos.

Estudando eventos de precipitações sequenciais, HANSEN (1994), citado por MARQUES (1996), demonstrou que elementos como Na, Cl, Mg, SO_4^{2-} -S e NO_3^- -N alcançam suas maiores concentrações no início do evento e subsequentemente diminuem. Por outro lado, vários picos de NH_4^+ -N e K^+ podem ocorrer durante um mesmo evento. Estas diferenças em comportamentos provêm informações sobre a origem dos elementos. Picos únicos representam elementos originados da deposição atmosférica, os quais são rapidamente lavados, ao passo que múltiplos picos são típicos de elementos extraídos de partes internas das plantas, e sua dinâmica é mais complexa, provavelmente em conexão com o metabolismo da planta.

Segundo MARQUES (1996), uma estratégia adotada pelos pesquisadores para identificar se um elemento foi lixiviado de tecidos vegetais ou é oriundo da deposição atmosférica sobre as copas, é relacionar a concentração dos elementos contra o volume precipitado. Aparecem dois grupos de elementos de acordo com seu comportamento:

- O 1º grupo inclui os elementos que aparentemente são rapidamente lavados das copas: NO_3^- -N, NH_4^+ -N, SO_4^{2-} -S, Na^+ , Ca^{2+} , Cl^- , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , e H^+ . Suas

concentrações foram maiores quando a precipitação foi menor que 50 ou 100mm (dependendo do elemento) e tornaram-se mais ou menos estáveis quando o volume excedeu estes valores.

- O 2º grupo de elementos: TOC, K^+ e Si foi pouco afetado pelo volume precipitado, indicando que ocorreu um processo mais complexo que a simples lavagem de copas.

BÄUMLER et al (1997) constataram que eventos naturais ou antrópicos têm impactos sobre a floresta que levam a mudanças nos padrões de entradas de nutrientes e na química das soluções de precipitação interna.

MACDOWELL (1998) observou em experimento realizado na floresta tropical em Porto Rico, sensível enriquecimento da precipitação interna em relação à chuva para todos os elementos; exceto para H^+ e NO_3^- . Observou também que as concentrações diminuíram nos meses de maior precipitação.

ROBERTSON et al. (2000), em experimento realizado com povoamentos de 5 espécies diferentes na Inglaterra, constataram que íons derivados atmosféricamente (Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}) tiveram concentrações maiores na precipitação interna e na solução do solo sob as espécies coníferas comparadas com aquelas sob não-coníferas, evidenciando que a arquitetura das copas exerce forte influência nestes solutos; segundo os autores, houveram pequenas diferenças nas concentrações de solutos controlados por processos internos (K^+ , NO_3^- , PO_4^- , DOC) entre as espécies estudadas.

Em monitoramento realizado no Pará, Amazônia Oriental, MARTINS (1997) observou uma alta contribuição da vegetação para o enriquecimento dos solutos, quando comparados com aqueles encontrados na chuva, como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Nt , PO_4^- e SO_4^{2-} .

FORTI et al. (1992) constataram, em trabalho realizado na Floresta Amazônica, que as concentrações iônicas, tanto de elementos oriundos da deposição seca quanto aqueles lixiviados da planta, sofreram efeito de diluição mais pronunciado na estação úmida.

A arquitetura das copas (número, tamanho e textura das folhas) está relacionada ao processo de captura de nutrientes da atmosfera, sendo de grande importância para as plantas sob influência marinha (HAY e LACERDA, 1984). Estes autores também salientam a importância da entrada de nutrientes via atmosfera nos ecossistemas costeiros sobre solos arenosos, indicando como principais origens a precipitação úmida e a deposição seca proveniente do mar.

As florestas de regiões costeiras recebem quantidades apreciáveis de Na, Cl e

outros nutrientes. A entrada de nutrientes pela precipitação e poeiras apresenta variação local e temporal, de acordo com a proximidade de fontes emissoras, e em relação à época do ano (LIMA, 1986).

A própria composição química da chuva pode ter influência sobre a qualidade das soluções lixiviadas (MARQUES e RANGER, 1995).

Segundo MARSCHNER (1986), a reabsorção dos nutrientes minerais lixiviados possibilita às plantas o suprimento dos locais de demanda (ex: novas brotações) por nutrientes cuja retranslocação é muito limitada ou ausente, como é o caso do Ca e Mg. A lixiviação também é importante para a remoção de certos elementos minerais, como o Al ou Mn, quando encontram-se em concentrações tóxicas nas folhas. A lixiviação de elementos minerais e compostos orgânicos como os fenóis, ácidos orgânicos e aminoácidos pode afetar outras espécies de plantas no sítio, bem como os microrganismos do solo, através de processos alelopáticos.

3.2.2 SOLUÇÃO DO SOLO

A solução do solo é a água presente nos macros e microporos do solo, resultado de entradas via chuva ou movimentação lateral. Sua composição é resultado de vários processos interligados: entradas de elementos via deposição atmosférica, precipitação direta, precipitação interna e escoamento pelos caules; produção interna de nutrientes por decomposição da matéria orgânica e intemperização dos minerais; equilíbrio no complexo de trocas iônicas; perdas por absorção biológica de nutrientes ou lixiviação. A intensidade de cada processo depende de vários fatores (profundidade do solo, mobilidade das soluções, exigências nutricionais das plantas, etc) e processos isolados são difíceis de identificar devido às interações entre eles. (AVILA et al., 1995; MARQUES e RANGER, 1995; LACLAU et al., 2003).

A solução do solo é a fase onde a maioria das reações ocorrem. O seu conhecimento é de grande importância, tanto para estudos de gênese de solo, como para estudos de funcionamento do ecossistema, pois refletem os processos de formação do solo e é o meio de onde as plantas absorvem os nutrientes. A fase sólida do solo provê informações sobre processos de formação passados no solo, já a solução do solo provê melhores informações sobre a dinâmica corrente no momento de sua coleta. A solução do solo é a fase mais dinâmica e, portanto, a parte do solo mais rapidamente afetada. Impactos silviculturais, tais como mudanças nas espécies arbóreas, tratamentos culturais e corte raso, são

rapidamente detectados na solução do solo (AVILA et al., 1995; BÄUMLER et al., 1998; HENDERSHOT e COURCHESNE, 1991; MARQUES et al., 1996).

Muitos métodos diferentes são usados na ciência do solo para a coleta das soluções em campo, como por exemplo: lisímetros fechados de tensão zero, lisímetros abertos de tensão zero, lisímetros de placa com e sem tensão, lisímetros de cápsulas porosas e a técnica mais recente, os lisímetros passivos que coletam a água capilar do solo sem nenhuma aplicação de sucção. As soluções também podem ser obtidas em laboratório através das seguintes técnicas: centrifugação de amostras úmidas de solo, deslocamento em colunas ou deslocamento por pressão. Cada um destes métodos provê informações específicas, as quais não podem ser usadas indiscriminadamente para todos os casos (MARQUES et al., 1996; RANGER et al., 2001).

Segundo GROSSMANN e UDLUFT(1991), muitos modelos foram desenvolvidas como variantes dos lisímetros de cápsulas porosas, bem como muitos materiais podem ser empregados nas cápsulas de sucção, tais como: óxido de alumínio, vidro sinterizado, nylon, PVC, PP, PVDF e teflon.

SPANGENBERG et al. (1997), testaram micro dispositivos para a coleta das soluções do solo, produzidos em polímero poroso e aço inoxidável onde o cilindro de absorção pode variar de 1 a 10 cm e o diâmetro é de 2,3 mm. Estes autores demonstraram, através de testes em campo e laboratório, que os micro dispositivos seriam tão adequados quanto os lisímetros de cápsulas porosas, tendo como vantagens: (i) serem menores e portanto provocando menores perturbações no perfil do solo por ocasião da instalação; (ii) serem constituídos de material inerte e, assim, não apresentarem capacidade de troca catiônica não necessitando de período de acondicionamento no campo; (iii) apresentarem pequeno “volume morto”, ou seja, o volume que permanece ou entra na cápsula entre uma coleta e outra. Estes extratores teriam como desvantagem o pequeno volume coletado, 15 mL/dia em solo argiloso.

O método da pasta de solo foi avaliado por SMETHURST et al. (1997), adicionando 60mL de água em 240 g de solo fresco, seguindo-se centrifugação e filtração, sendo o filtrado analisado pelos métodos normais de análise. Os autores concluíram que o método pode ser utilizado para estimar os nutrientes na solução do solo, porém houveram diferenças nas concentrações observadas para este método quando comparadas com aquelas obtidas por lisímetros de cápsulas porosas para NO_3^- , NH_4^+ e PO_4^{3-} .

As soluções obtidas por lisímetros de cápsula porosa são mais úteis quando é considerado o equilíbrio entre a fase sólida e a solução, ou quando a nutrição das plantas é

considerada. Neste último caso, é importante saber exatamente o local onde as raízes estão absorvendo os nutrientes. (HENDERSHOT e COURCHESNE, 1991; MARQUES et al., 1996).

Analisando as soluções do solo coletadas através de três métodos: lisímetros de tensão zero (lisímetros de placas), lisímetros sob tensão (cápsula porosa) e por centrifugação, RANGER et al. (2001) observaram diferenças entre as soluções devidas principalmente ao tempo de residência destas no solo e, ainda, que cada tipo de solução provê diferentes informações:

- a solução obtida por lisímetros de placa (tensão zero) também chamada solução gravitacional seria adequada para o balanço de entradas e saídas de nutrientes do ecossistema, pois seu tempo de residência no solo é curto,;
- a solução obtida por centrifugação seria indicada quando se está considerando o equilíbrio entre a solução e a fase sólida do solo, também quanto à nutrição das plantas;
- a solução obtida por lisímetros de cápsula sob tensão seria potencialmente a mais útil quando a nutrição das plantas é considerada, porém sua química é mais difícil de caracterizar pois está sob influência da absorção das plantas.

Segundo GROSSMANN e UDLUFT (1991), as vantagens dos lisímetros de sucção são sua instalação relativamente simples e as pequenas perturbações no perfil do solo. O fluxo de água e as trocas gasosas não são impedidos pelos aparelhos. Além disto, é possível a tomada de amostras continuamente, em diferentes profundidades no mesmo perfil, se necessário. Para uma fácil instalação dos lisímetros, um buraco é perfurado usando um trado que tenha diâmetro igual ao da cápsula. O material dos horizontes superficiais deve ser colocado longe do buraco para que este não caia dentro mesmo. Para obter um bom contato hidráulico entre cápsula e solo, uma lama é feita de material retirado com o trado e colocada de volta no buraco antes de inserir o lisímetro. A areia grossa e a fração pedregosa são retiradas do material que será usado para fazer a lama através de peneira. Quando a cápsula é inserida, a lama começa a subir entre a haste do lisímetro e o solo preenchendo quaisquer espaços vazios.

Para que ocorra um adequado equilíbrio entre o material cerâmico da cápsula e o solo e sua solução, deve-se deixar as cápsulas no campo durante 3 meses extraindo solução e descartando as mesmas GROSSMANN e UDLUFT (1991), outra estratégia adotada é lavar as cápsulas com HCl 1 N e enxaguar com água deionizada, após instalação em campo, extrair cerca de 1,5 L de solução e descartar, e então iniciar as coletas (LILIENFEIN et al., 2000).

SMETHURST (2000) examinou o potencial de uso das soluções do solo como ferramenta para o manejo da fertilidade, o autor constatou que a solução do solo coletada ao nível de absorção das raízes pode ser utilizada como ferramenta para o monitoramento de nutrientes como P e N em plantações de milho e eucaliptus. Para tanto se faz necessário identificar previamente os limites ideais de concentração destes elementos na solução para que se mantenham altas taxas de crescimento.

Lisímetros de cápsula porosa provaram ser uma técnica adequada e precisa para a medição da lixiviação de nitrato a campo em solos arenosos e contendo quantidade moderada de argila. Dados obtidos, usando cápsulas porosas, descrevem corretamente a concentração de nitrato do solo com aceitável precisão. Considerando que os lisímetros podem ser deixados no campo, mudanças nas concentrações durante o período não são confundidas com mudanças de locais de amostragens, como em casos de sucessivas amostragens de solo (LORD e SHEPHERD, 1993; POSS, 1995).

Geralmente, na solução do solo, as concentrações de fosfato são bastante baixas, enquanto que as concentrações de K^+ e Mg^{2+} medianas e concentrações de Ca^{2+} preferencialmente altas. Frequentemente o NO_3^- é o ânion presente em maiores concentrações, e muitas vezes ocorre em níveis de mesma ordem que a soma de Ca^{2+} e Mg^{2+} . As concentrações de NO_3^- da solução do solo podem variar consideravelmente com as condições ambientais. O nitrato também é rapidamente absorvido pelas raízes das plantas, e pode facilmente ser lixiviado para os horizontes mais profundos do solo. Por estas razões, a concentração de nitrato na solução do solo está sujeita a rápidas flutuações (MENGEL e KIRKBY, 1987).

LACLAU et al. (2003) concluíram, ao monitorar as soluções do solo na savana e numa plantação de Eucaliptus no Congo, que ocorre uma rápida queda nas concentrações dos nutrientes com o aumento do tempo de residência desta no solo, sugerindo uma rápida absorção dos nutrientes pela vegetação. Segundo estes autores, este padrão enfatiza a importância das entradas de nutrientes via decomposição da serapilheira e precipitação interna, sendo que a baixa concentração de nutrientes verificada nas águas de drenagem dos dois estandes comprovam a eficiência da silvicultura na regulação das entradas e saídas de nutrientes, contribuindo para manutenção da qualidade das águas subterrâneas.

De VRIES et al. (1995) utilizaram as soluções do solo coletadas em 18 estandes na Holanda para avaliar os efeitos das deposições ácidas (NH_4 e SO_4) sobre o estado nutricional das florestas, e sobre as condições de fertilidade dos solos. Os parâmetros avaliados foram as relações entre: Al/Ca e NH_4/K . Os autores concluíram que um

decréscimo nas entradas atmosféricas de N e S resultam em um decréscimo equivalente das lixiviações de Al e H⁺.

ROBERTSON (2000) evidenciou mudanças nas concentrações das soluções do solo após o corte raso em quatro diferentes espécies arbóreas. Os solutos influenciados pela deposição atmosférica (Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻) apresentaram decréscimos nas concentrações após o corte. Já as concentrações dos solutos K⁺, NO₃⁻, PO₄⁻ e COD, controlados principalmente por processos internos ao sistema, tais como absorção, decomposição e nitrificação, aumentaram.

Monitorando um estande florestal na Alemanha, BÄUMLER et al. (1998) observaram que, após a retirada de 40% das árvores, a solução do solo apresentou fortes mudanças; com exceção para sílica e sulfato, todos os demais íons aumentaram, devido principalmente ao aumento na mineralização e diminuição da absorção dos nutrientes pelas raízes.

MONTAGNINI et al. (1991) enfatizam que em áreas com espécies leguminosas, onde ocorre fixação simbiótica de N₂ da atmosfera, há um enriquecimento em N na serapilheira e nas soluções do solo, podendo este N estar na forma mineral ou orgânica. Em monitoramento realizado em três áreas, uma com pinheiro, uma com carvalho e uma com leguminosas, os resultados mostraram que no sítio com leguminosas as concentrações de NO₃ foram cerca de 100 vezes maiores que no sítio com pinheiros; e quase 500 superiores ao sítio com carvalho, sendo que aumentos significativos também foram observados nas concentrações de nitrogênio orgânico dissolvido.

DE VRIES et al. (2003) constataram, através de monitoramento em 99 áreas de florestas na Europa, que as concentrações NO₃ na solução do solo geralmente aumentam com o aumento da deposição atmosférica de N. Observaram, ainda, que as concentrações de NO₃ nas soluções do solo não apresentaram relações com NO₃ das precipitações internas, mas apresentaram fortes relações com as deposições de NH₄, indicando a ocorrência de nitrificação naqueles solos. Segundo estes autores, as variações nas concentrações dos macronutrientes na solução do solo entre áreas podem ser, em grande parte, explicadas pelas diferenças na deposição atmosférica e pelas diferenças meteorológicas, especialmente o volume de precipitação.

JONHSON et al. (2002), em experimento de manipulação de pluviosidade interna de floresta, constataram que com a diminuição em 30 por cento da chuva, houve um aumento significativo nos conteúdos de N no horizonte orgânico da floresta, e conseqüente

diminuição das taxas de lixiviação de N deste horizonte, sugerindo menor taxa de mineralização ou maior imobilização.

NIELSEN et al. (1999), investigando as soluções de um Espodosolo na Dinamarca, sob três diferentes tipos de vegetação: nativa, carvalho e sitka spruce, concluíram que a lixiviação de íons inorgânicos e de material orgânico dissolvido foi muitas vezes maior sob plantação de sitka, e ainda, sob a vegetação nativa ocorreu lixiviação mínima de amônio e não houve lixiviação de nitrato.

TOKUCHI et al. (1993), estudando as soluções do solo sob coníferas, concluíram que os comportamentos de NO_3^- , Ca^{2+} e Mg^{2+} foram similares ao longo do tempo e nas seis profundidades estudadas. Conforme os autores, estes resultados evidenciaram que o processo de nitrificação, através da liberação de íons H^+ , controlou o fluxo destes cátions através do perfil.

Em experimento realizado com a cultura do tomateiro, SILVA et al. (2000) constataram que a condutividade elétrica e os teores de K^+ podem ser avaliados com precisão razoável, utilizando lisímetros de cápsulas porosas como extratores de solução do solo.

3.2.3 Produção de Serapilheira e Liberação de Nutrientes

Segundo VITOUSEK e SANFORD (1986), apesar da produção de serapilheira ser apenas uma parte da ciclagem de nutrientes, é a principal via de transferência de nutrientes da vegetação para o solo.

Conforme REISSMANN e WISNIEWSKI (1993), com exceção do elemento K, cujo maior retorno se dá por lixiviação das copas, a deposição de serapilheira é o processo mais importante de transferência de nutrientes para o solo no âmbito da ciclagem biológica. É um mecanismo importante e complexo que age no sentido de assegurar a produtividade contínua do sítio.

BRITEZ (1994) salienta que vários trabalhos citam fatores bióticos e abióticos que interferem na deposição de serapilheira, tais como: tipo de vegetação, latitude, altitude, temperatura, precipitação, disponibilidade de luz durante a estação de crescimento, comprimento do dia, evapotranspiração, relevo, deciduidade, estágio sucessional, herbivoria, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes no solo.

Além disto, a serapilheira possui grande significado hidrológico, funcionando como

filtro e esponja da água proveniente da atmosfera que penetra no solo. A absorção de água depende do tipo de manta, sendo que a manta morta florestal absorve maior quantidade de precipitação que musgos e ervas (MOLCHANOV, 1963).

A variação da biomassa de serapilheira no chão da floresta entre os diferentes plantios tropicais reflete a influência predominante das características da espécie, idade, taxa de crescimento, condições climáticas e propriedades do solo. As espécies da vegetação podem afetar a taxa de decomposição da serapilheira e conseqüentemente modificar a camada do solo orgânico e a taxa do ciclo biogeoquímico de nutrientes (O'CONNELL e SANKARAN, 1997).

Segundo DELITTI (1989), o equilíbrio no compartimento da serapilheira é atingido quando a quantidade de material a ele adicionada é igual àquela decomposta pelos detritívoros, quando a comunidade está em clímax. Portanto, esta camada de detritos mantém-se em equilíbrio, não apresentando alterações significativas em sua quantidade absoluta. Podem, contudo, ocorrer variações sazonais neste compartimento, em decorrência da periodicidade da queda da serapilheira e do clima.

As maiores taxas de produção nas florestas tropicais estão relacionadas à produção de folhas, sendo que as condições climáticas, a fertilidade e a disponibilidade de água no solo, e a composição de espécies são os fatores que determinam a quantidade de serapilheira produzida (JORDAN, 1985). Conforme GOLLEY et al (1978), nestas florestas os estoques principais de nutrientes e, particularmente fósforo e potássio, estão ligados ao compartimento constituído pelos vegetais.

DICKOW (2000), estudando três fases sucessionais de Floresta Ombrófila Densa das Terras baixas no Paraná, realizou experimento para estimar a lixiviação de nutrientes da serapilheira, e observou que a serapilheira da fase Inicial liberou maiores quantidades de Ca, Mg, K e Na do que a serapilheira das outras duas fases da sucessão, estando este fato associado à composição química foliar das espécies arbóreas que existiam nesta área.

Em seu estudo sobre a produção de serapilheira em diferentes florestas do mundo, BRAY e GORHAM (1964) concluíram que ela é composta em 60-80% por folhas, 12-15% por ramos, 1-15% por frutos, e 1-15% por cascas de árvores. Estes autores observaram que os períodos de maior produção de serapilheira estão relacionados à diminuição do fotoperíodo, que ocorre no outono, e/ou a períodos de deficiência hídrica. Ao contrário, estudos realizados por JACKSON (1978), DELITTI (1992), MORAES (1993) e BRITZ (1994) revelam que na Floresta Atlântica ocorre maior deposição de serapilheira nos meses de maior precipitação (verão), demonstrando uma estratégia para a renovação

das folhas devido à abundância de água e radiação deste período, possibilitando, desta forma, que a troca de folhas se dê com menor custo para o ecossistema.

A serapilheira acumula-se sobre o solo formando os horizontes orgânicos, que sofrendo os processos de lixiviação, mineralização e humificação dão origem ao horizonte A do solo. Os horizontes orgânicos, por sua vez são divididos, em subhorizontes denominados L (folhas), F (folhas em decomposição) e H (húmus), em função do estágio de decomposição da serapilheira que o compõe (REISSMANN et al, 1982).

A produção de serapilheira pelo ecossistema florestal é influenciada por fatores como latitude, altitude e precipitação, e outros fatores como tipo de vegetação, disponibilidade de luz, fotoperiodismo, evapotranspiração, relevo, estágio sucessional, disponibilidade hídrica, fertilidade do solo e até herbivoria (WISNIEWSKI et al., 1997).

VITOUSEK (1984), ao analisar as concentrações de nutrientes na serapilheira de diferentes florestas do mundo, verificou que o N é o elemento mais limitante em florestas temperadas e que o P é o mais limitante nas florestas tropicais.

A liberação de nutrientes da serapilheira depende de sua decomposição, que segundo SINGH e GUPTA (1977), é controlada por 4 fatores: composição química da serapilheira, condições ambientais (temperatura e umidade); animais do solo e microrganismos.

A serapilheira se escurece à medida que é umedecida e as substâncias solúveis em água, principalmente açúcares, ácidos orgânicos e polifenóis, são lixiviados. A fragmentação produzida por animais do solo promovem condições físicas no substrato muito aptas para o crescimento da microflora e a serapilheira é invadida por microrganismos presentes. A destruição dos tecidos pela microflora, por sua vez, favorece o ataque da microfauna do solo, continuando o ciclo (SPURR e BARNES, 1982; O'CONNELL e SANKARAN, 1997).

As bactérias são indispensáveis para a fixação de nitrogênio, os fungos para absorção de nutrientes através das raízes das árvores, e o complexo total da biota do solo é necessário para a realização da decomposição dos restos orgânicos a um estado onde possam ser reutilizados pela vegetação (SPURR e BARNES, 1982).

Durante a decomposição, o carbono é utilizado como um suprimento de energia pelos decompositores enquanto o nitrogênio está “preso” nas proteínas das células e outros componentes. Os efeitos do alto conteúdo de N são mais marcantes nos primeiros estágios da decomposição (SINGH e GUPTA, 1977).

3.2.4 Sucessão Vegetal e Sua Influência na Ciclagem de Nutrientes

A sucessão vegetal é um processo dinâmico que implica, especialmente, em unidades fitoecológicas florestais, em mudanças fisionômicas, estruturais e florísticas acentuadas, quando da passagem das fases iniciais e de maior simplicidade para avançadas de maior complexidade e estabilidade (GALVÃO et al, 1999). Este processo de substituições demanda alterações na quantidade de biomassa estocada em cada fase, melhorando as características químicas e físicas do solo através da adição de matéria orgânica (GALVÃO et al, 1999; WISNIEWSKI, 1997; DELITTI, 1993).

Em áreas onde a vegetação original foi retirada, a sucessão obedece a um ritmo de recuperação do solo degradado, processo este pelo qual a própria vegetação é responsável através da adição de matéria orgânica e regulação dos regimes hídricos e térmicos com o decorrer do processo (WISNIEWSKI, 1997).

A resolução Nº 2 do CONAMA, de 18 de março de 1994, define as características de formações vegetais primárias, bem como dos estágios sucessionais de vegetação secundária, com finalidade de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa no Estado do Paraná:

- Estágio Inicial: fisionomia herbáceo/arbustiva, formando um estrato, variando de fechado a aberto, com a presença de espécies predominantemente heliófitas; espécies lenhosas ocorrentes variam entre um a dez espécies, apresentam amplitude diamétrica pequena e amplitude de altura pequena, podendo a altura das espécies lenhosas do dossel chegar até 10 m, com área basal ($m^2 / há$) variando entre 8 a 20 $m^2 / há$; com distribuição diamétrica variando entre 5 a 15 cm, e média da amplitude do DAP 10 cm; o crescimento das árvores do dossel é rápido e a vida média das árvores do dossel é curta; as epífitas são raras, as lianas herbáceas abundantes, e as lianas lenhosas apresentam-se ausentes. As espécies gramíneas são abundantes. A serapilheira quando presente pode ser contínua ou não, formando uma camada fina pouco decomposta.

- Estágio médio: fisionomia arbustiva e/ou arbórea, formando de 1 a 2 estratos, com a presença de espécies predominantemente facultativas; as espécies lenhosas ocorrentes variam entre 5 e 30 espécies, apresentam amplitude diamétrica média e amplitude de altura média. A altura das espécies lenhosas do dossel varia entre 8 e 17 metros, com área basal ($m^2 / há$) variando entre 15 e 35 $m^2 / há$; com distribuição diamétrica variando entre 10 a 40 cm, e média da amplitude do DAP 25 cm; o crescimento das árvores do dossel é moderado e a vida média das árvores do dossel é média; as epífitas são poucas, as lianas herbáceas

poucas e as lianas lenhosas raras. As espécies gramíneas são poucas. A serapilheira pode apresentar variações de espessura de acordo com a estação do ano e de um lugar a outro.

- Estágio avançado: fisionomia arbórea dominante sobre as demais, formando dossel fechado e uniforme do porte, com a presença de mais de 2 estratos e espécies predominantemente ombrófilas; as espécies lenhosas ocorrentes apresentam número superior a 30 espécies, amplitude diamétrica grande e amplitude de altura grande. A altura das espécies lenhosas do dossel é superior a 15 metros, com área basal (m² /há) superior a 30 m² /há; com distribuição diamétrica variando entre 20 a 60 cm, e média da amplitude do DAP 40 cm; o crescimento das árvores do dossel é lento e a vida média da árvore do dossel é longa; as epífitas são abundantes, as lianas herbáceas raras e as lianas lenhosas encontram-se presentes. As gramíneas são raras. A serapilheira está presente, variando em função do tempo e da localização, apresentando intensa decomposição.

Para DELITTI (1993), as mudanças no processo de ciclagem de nutrientes ao longo da sucessão é uma estratégia para o estabelecimento e manutenção de florestas sobre solos de baixa fertilidade, como ocorre para a Floresta Amazônica e Floresta Ombrófila Densa.

Segundo SPURR e BARNES (1982), a absorção dos nutrientes é mais elevada no período em que as plantas encontram-se no estágio juvenil, o qual, em relação ao processo de sucessão, corresponde ao período de maior produtividade.

Conforme HAAG et al. (1985), existe uma variação entre as espécies florestais relativa à quantidade de nutrientes retidos e devolvidos. Este fato parece estar ligado não só à espécie, mas também à idade e às condições edafo-climáticas.

Durante o estágio inicial do desenvolvimento das espécies, a ciclagem dos nutrientes da serapilheira não é muito desenvolvida, sendo que os nutrientes são retirados em sua maior parte das reservas do solo (DELITTI, 1993).

Em geral, espécies pioneiras que crescem sobre solos de baixa fertilidade apresentam uma elevada eficiência no uso dos nutrientes escassos no ecossistema (VITOUSEK, 1984).

RANGER et al. (1995), em seu estudo sobre ciclagem de nutrientes em uma cronosequência de povoamentos de *Pseudotsuga menziesii* (20,40 e 60 anos), observaram que a copa da árvore retém uma grande quantidade de nutrientes, especialmente N, P e Ca. Tal fato pôde ser mais evidenciado na idade mais jovem, na qual os valores entre copa e tronco foram mais igualmente distribuídos, do que nas parcelas com 40 e 60 anos. Os resultados mostraram que a média de biomassa imobilizada é menor para o estágio jovem (20 anos) e maior para o estágio intermediário (40 anos), e que o sítio jovem imobiliza a

mesma quantidade de nutrientes que o velho (60 anos).

BOEGER (2000), em uma sucessão florestal na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, no Paraná, constatou uma tendência no aumento das concentrações de nitrogênio, P e K e dos micronutrientes nas folhas, a medida que a sucessão ecológica evolui.

Um aspecto interessante das florestas dos trópicos são as epífitas, que tendem a aparecer com maior intensidade nos estágios mais avançados da sucessão. O conteúdo dos nutrientes existentes em seus tecidos vivos e mortos constitui um reservatório de nutrientes, que pode ser transferido para outros reservatórios do ecossistema (HAAG, 1985; BRITZ, 1994; WISNIEWSKI, 1997).

Durante a sucessão, verifica-se, portanto a tendência para a formação de reservatórios cada vez maiores dentro dos ecossistemas, para o maior controle dos seres vivos sobre as entradas e saídas de nutrientes e para a maior utilização desses recursos pelos diferentes componentes da comunidade biológica (REBELO et al, 1992; DELITTI, 1993).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

4.1.1 Localização

A área estudada faz parte da Floresta Estadual do Palmito, localizada no Km 06 da rodovia PR 407, município de Paranaguá - PR, entre as coordenadas 25°35' de latitude Sul e 48°32' de longitude Oeste (FIGURA 01).

Durante o período de realização deste trabalho, a área esteve sob administração do Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

Foram utilizadas três parcelas de 1000 m² cada, cada uma locada em fase distinta da sucessão vegetal. As parcelas foram divididas em dez subparcelas quadradas com 10 m de lado, dispostas lado a lado formando duas fileiras com cinco subparcelas nas fases intermediária e avançada e apenas uma fileira na fase Inicial.



Fonte: Guia Internet Brazil, 2006.

Fonte: MIRANDA e COUTINHO, 2004.

FIGURA 01: Localização da Floresta Estadual do Palmito no estado do Paraná .

4.1.2 Clima

Conforme as cartas climáticas do IAPAR (1978), no município de Paranaguá, o clima predominante é o Af segundo a classificação de Köppen, caracterizado como clima tropical super úmido, sem estação seca e isento de geadas, com temperatura média em todos os meses superiores a 18° C, e com precipitação média do mês mais seco acima de 60 mm.

Segundo medições realizadas na área de estudo, no ano 2002 o volume precipitado foi 2450 mm e em 2003 foi 2160 mm. A altitude das áreas varia entre 4 e 6 m acima do nível médio do mar.

4.1.3 Solos

Segundo WISNIEWSKI *et al.* (1997), as fases sucessionais em estudo foram situadas propositalmente sobre uma classe de solo denominada Espodossolo não hidromórfico, com diferenças na espessura e profundidade de ocorrência dos horizontes, assim como no grau de consistência do horizonte espódico. A análise granulométrica indica um solo arenoso, com teores de areia do horizonte superficial (0 – 10 cm) variando entre 78 e 84%, dependendo da fase considerada (tabela 02). O solo apresenta-se ácido em todo o perfil com valores de pH da ordem de 3,2 para o horizonte A e 3,9 para o horizonte E. A saturação por bases varia entre 8 e 16% no horizonte A. Os teores de carbono são da ordem de 60 g.^{L-1} nas fases sucessionais inicial e avançada e da ordem de 110 g.^{L-1} na fase sucessional intermediária (Tabela 1). A espessura da camada orgânica evolui com a idade da sucessão, na fase Inicial a espessura predominante é de 3 cm, passando para 16 cm na fase Intermediária e 20cm na fase Avançada. Apesar do pequeno aumento de espessura verificado da fase Intermediária para a fase Avançada, 4 cm somente, o peso da massa orgânica na fase Avançada duplicou de uma fase para outra, evidenciando maior densidade de organismos e raízes (tabela 03). Apesar das três parcelas estarem locadas sobre Espodossolo, assim classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (1999), existem diferenças entre áreas, referentes à profundidade do lençol freático e presença de água no perfil do solo, constatou-se através de medições de profundidade, em piezômetros instalados nas parcelas de estudo realizadas durante as coletas, que a fase Avançada apresenta drenagem deficiente e o nível do lençol freático encontra-se bastante próximo à superfície, variando entre 0,20 e 1,0m durante o ano; já as fases Inicial e Intermediária apresentam lençol freático variando entre 1,0 e 2,5m ao longo do ano. Este fato influenciou a dinâmica de nutrientes na solução do solo como será visto nos resultados.

TABELA 1: Resultados da análise química do solo, das fases sucessionais em estudo, em diferentes profundidades e horizontes do perfil do solo.

FASES	PROF. (cm)	pH	Al ³⁺	H+ Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	C	N	P	C/N	V%
			cmolc.dm ⁻³					g.dm ⁻³	g.Kg ⁻¹	mg.dm ⁻³		
INI	0,0-2,5	3,8	0,4	11,3	3,3	2,4	0,17	65,9	1,9	11,6	35	35
	2,5-5,0	3,4	0,7	14	1,5	1,3	0,13	51,2	1,4	9,6	37	20
	5,0-8,0	3,3	0,7	9,6	0,9	0,6	0,09	40,9	1,2	7,4	35	16
	E	4,2	0,02	1,5	2,5	1,8	0,004	12,3	---	1,3	---	6
	Bh	3,9	1,8	9,4	2,8	1,8	0,05	71,8	---	5,5	---	22
MED	0,0-2,5	2,9	1,8	17,8	0,3	0,7	0,15	71,1	2,4	7,8	30	8
	2,5-5,0	3,1	1,0	9,7	0,2	0,6	0,08	34,1	1,2	4,4	28	9
	5,0-8,0	3,2	0,6	7,4	0,2	0,5	0,06	24,6	0,8	3,2	33	10
	E	3,9	0,08	1,5	2,3	1,2	0,007	23,2	---	1,0	---	5
	Bh	4,0	1,9	7,9	1,8	1,2	0,05	127,3	---	4,6	---	18
AVA	0,0-2,5	3,1	1,3	19,8	0,6	1,6	0,21	69,7	2,5	8,8	28	11
	2,5-5,0	3,1	0,9	11,8	0,4	0,8	0,12	39,6	1,6	4,8	25	11
	5,0-8,0	3,1	0,7	8,9	0,3	0,6	0,08	29,1	1,1	3,2	26	11
	E	3,5	0,2	2,1	2,1	1,5	0,01	18,7	---	4,2	---	3
	Bh	3,1	3,3	16,6	2,6	1,9	0,01	174,8	---	5,6	---	15

Fonte: Wisniewski et al. (1997).

Onde: INI – fase Inicial; MED – fase Intermediária; AVA – fase Avançada.

TABELA 2: Resultados da análise granulométrica do horizonte A do solo das fases sucessionais em estudo.

FASE	Areia	Silte	Argila
	-----%-----		
Inicial	84	12	4
Intermediária	84	12	4
Avançada	78	19	3

Fonte: Wisniewski et al. (1997).

TABELA 3: Espessura do Horizonte orgânico e quantidade acumulada de matéria orgânica sobre o solo das fases sucessionais em estudo.

FASE	Inicial	Intermediária	Avançada
Espessura (cm)	1-3	16	21
Quantidade (ton.ha ⁻¹)	8,8	71,4	146,9

Fonte: Wisniewski et al. (1997).

4.1.4 Vegetação

Nas parcelas estudadas, o levantamento fitossociológico segundo WISNIEWSKI et al. (1997), revelou os valores de importância para as espécies vegetais por fase sucessional. A caracterização geral para cada fase sucessional foi descrita da seguinte forma:

- Fase Inicial: fase em que a restinga é baixa, esparsa e pouco diversificada, com 4 metros de altura média. As árvores, bem espaçadas entre si, formam touças oriundas de rebrotamentos e seus troncos tem diâmetros pequenos, em média em torno de 5 cm. A fisionomia é homogênea e poucas são as plantas epífitas, raras as bromélias. O solo é em grande extensão, especialmente em clareiras, cobertos por líquens frutíferos, e dentre as espécies arbóreas predominantes destacam-se *Ilex theezans* (caúna), *Ternstroemia brasiliensis* (pinta-noiva) e *Pera glabrata* (seca-ligeiro).
- Fase Intermediária: poderão ser encontrados dois estratos distintos e um terceiro começando a diferenciar-se. Não há clareiras na vegetação e a floresta é sombreada e úmida. As árvores mais altas atingem 12,5 m de altura, enquanto que o segundo estrato encontra-se em torno de 8 m. O sub-bosque encontra-se repleto de bromélias, aparecendo também epífitas das famílias Orquidaceae e Araceae, além de cactos pendentes (*Rhipsalis* spp.), herbáceas terrestres de Liliaceae e Iridaceae, arbustos de Rubiaceae e Melastomataceae, trepadeiras da família Sapindaceae. As espécies arbóreas mais importantes são: *Ilex theezans* (caúna), *Ternstroemia brasiliensis* (pinta-noiva), *Ocotea pulchella* (canela lageana), *Clusia criuva* (mangue-do-mato), *Gomidesia schaueriana* (guamirim) e *Rapanea venosa* (capororoca).
- Fase Avançada: podem ser observados três estratos distintos e sub-bosque rico em bromélias, aráceas, polipodiáceas, lianas, trepadeiras, entre outras. A guaminhova (*Geonoma* sp.) é abundante e caracteriza, em grande parte, o estrato inferior, distribuindo-se por entre as herbáceas e arbustivas. O estrato superior possui entre 11 e 14 m de altura e é caracterizado principalmente pela ocorrência da *Tapirira guianensis* (cupiúva), *Calophyllum brasiliensis* (guanandi), *Myrcia racemosa* (guapiranga), *Ocotea aciphyla* (canela-ponta-de-lança) *Euterpe edulis* (palmito), e *Ocotea pulchella* (canela lageana) sendo que esta variedade de espécies indica que a formação pioneira de influência marinha passou a ser Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas .

4.1.5 Histórico de Uso das Áreas de Estudo

As informações existentes sobre as fases Intermediária e Avançada não são de todo precisas pois foram obtidas através de relato de pessoa (Sr. Catuto) que habita na região e trabalhou durante muitos anos na Floresta do Palmito, quando esta ainda era administrada pela Reflorestadora Banestado S.A. O histórico da fase Inicial, foi obtido através de comunicação pessoal com a Prof. Dr. Carlos Velozzo Roderjan, que esteve na área no dia em que houve o corte e queima dos restos vegetais.

Segundo RODERJAN, a fase Inicial encontrava-se, no ano de 1982, em estágio sucessional semelhante ao atual, quando sofreu corte raso e queima dos restos vegetais. A área foi então abandonada e o tempo decorrido desde o último corte não é preciso mas estimado em cerca de 23 anos em 2005.

A fase Intermediária passou por processo de erradicação da floresta e implantação de agricultura, encontrando-se atualmente com idade estimada em trinta e seis anos, após abandono.

Para a fase Avançada, as informações são menos precisas ainda, mas estima-se que esteja sem sofrer corte raso há pelo menos 60 anos. A sua estrutura florestal e diversidade florística indicam que, eventualmente, nem um corte raso tenha aí ocorrido, mas apenas retirada de madeira.

Outro aspecto que deve ser salientado, a freqüente retirada clandestina de palmito (*Euterpe edulis*) que ocorreu durante o período de estudo, mas somente na fase Avançada, onde estes ocorriam naturalmente, ou eram remanescentes de plantios efetuados pela Reflorestadora Banestado.

4.2 INSTALAÇÃO DOS EXTRATORES DE SOLUÇÃO DE SOLO

Foram instalados lisímetros de cápsula porosa com extração por pressão negativa (sucção), os extratores de solução do solo foram instalados em maio de 2002, nas três parcelas onde já vinham sendo realizados estudos sobre ciclos biogeoquímicos, as mesmas já estavam demarcadas, tendo como área total 1000 m², subdivididas em dez sub-parcelas de 10 X 10 m .

Para a instalação dos lisímetros, o solo foi perfurado com auxílio de um trado calador com diâmetro 25 mm. Nos buracos resultantes, foram inseridos as cápsulas extratoras. Durante a instalação, nas fases Intermediária e Avançada foi necessária a

retirada da espessa camada orgânica, para facilitar a identificação do início do horizonte mineral, para medir a partir deste ponto profundidades de 15 e 40 cm desejadas. Em todas as parcelas de estudo, foi tomado o cuidado de se retornar o solo correspondente a cada profundidade, pelas laterais do extrator já inserido no buraco, com o auxílio de água deionizada, para preencher possíveis lacunas formadas entre a parede do extrator e do buraco. Em seguida foi recolocada a camada orgânica em seu lugar de origem. Os extratores foram instalados em 6 pares em cada fase, cada par formado por uma cápsula a 15 e outra a 40 cm de profundidade, os pares foram distribuídos aleatoriamente, através de sorteio, entre as 10 subparcelas que compõem cada parcela de estudo.



FIGURA 2: Instalação dos lisímetros no solo em fase Inicial da sucessão florestal.



FIGURA 3: Coleta de solução do solo em fase Avançada da sucessão florestal.



FIGURA 4: Lisímetros instalados no solo em fase Inicial da sucessão florestal.



FIGURA 5: Lisímetros instalados no solo em fase Intermediária da sucessão florestal.



FIGURA 6: Lisímetros instalados no solo em fase Avançada da sucessão florestal.

4.3 COLETAS DE SOLUÇÃO DE SOLO

As coletas de solução de solo foram realizadas em intervalos de 21 dias, nas três fases sucessionais da floresta, em duas profundidades: 15 e 40 cm. As soluções foram extraídas com auxílio de bomba de vácuo manual, a qual era acoplada ao extrator no momento das extrações, aplicando-se uma tensão de cerca de -500 mmHg. Normalmente, quando havia água disponível no solo, obtinha-se a solução após alguns minutos de aplicação do vácuo. Nas ocasiões em que não se conseguia obter solução no momento da coleta, o vácuo era aplicado permanecendo nas cápsulas até a coleta posterior. Em várias ocasiões, ao retornar ao campo, passados 21 dias, foram encontrados os frascos de coleta com solução resultante da tensão que havia ficado na cápsula. Em outras ocasiões os

frascos permaneceram vazios, certamente pela ausência de chuvas durante o intervalo entre coletas.

Uma vez coletadas, as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de 120mL e levadas ao laboratório para as determinações analíticas, ficando estocadas em refrigerador. As soluções coletadas nos meses 6, 7 e 8 de 2002 foram analisadas porém os resultados não serão utilizados por tratar-se do período de acomodação das cápsulas no solo e de equilíbrio químico entre o material cerâmico da cápsula e a solução do solo, este período deve ser respeitado pois a cápsula pode modificar as soluções iniciais devido a sua capacidade de trocas iônicas.

4.4 ANÁLISES QUÍMICAS DAS SOLUÇÕES

As análises foram realizadas no Laboratório de Biogeoquímica e Nutrição de Plantas (LABINP) do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR. Para a caracterização da composições químicas das soluções de solo e de precipitação interna foram medidos: pH, condutividade elétrica (CE), carbono orgânico dissolvido (COD) e as concentrações de N-NO_3^- , $\text{P-H}_2\text{PO}_4^-$, Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ nas soluções. As medidas de pH foram realizadas em aparelho WTW 340i. As medidas de condutividade elétrica foram realizadas utilizando equipamento Handylab LF1 da marca Schott. As determinações de K e Na foram realizadas por emissão atômica, e Ca e Mg por absorção atômica em espectrofotômetro de chama modelo 2380 da Perkin-Elmer. O N-NO_3^- foi analisado por espectrofotometria de absorção ultravioleta segundo NORMAN e STUCKI (1981) em equipamento Shimadzu UV-VIS 1600 e Shimadzu UV-VIS Mini 1240. As determinações de Cl^- foram realizadas por colorimetria conforme metodologia descrita por TEDESCO et al.(1995). Foi determinado também, em amostras agrupadas por profundidade e por fase sucessional, o carbono orgânico dissolvido (TOC), em equipamento Shimadzu, modelo TOC-VCPH, no Laboratório de Engenharia Ambiental do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR.

4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para caracterizar as diferenças de composição química da solução do solo entre as diferentes fases sucessionais e entre as diferentes profundidades no perfil do solo, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos representados, separadamente, ou pelas diferentes fases sucessionais ou pelas diferentes profundidades de amostragem. Ou seja, comparações entre médias, quando realizadas, foram feitas entre valores obtidos para diferentes fases sucessionais e para uma mesma profundidade, ou entre diferentes profundidades para uma mesma fase sucessional, foi utilizado o teste de médias de Fischer, ao nível de 5% de significância.

Análises de correlação foram estabelecidas para avaliar possíveis efeitos dos fatores bióticos e abióticos sobre a composição química das soluções. Os coeficientes de correlação podem variar entre 1 e -1, quando estes tendem para 1 significa que há uma relação linear entre os valores altos de X com os valores altos de Y, quando os coeficientes tendem para -1 significa que os valores altos de X estão relacionados a valores baixos de Y (FREESE, 1970).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SOLUÇÕES DE PRECIPITAÇÃO LIVRE, PRECIPITAÇÃO INTERNA E LENÇOL FREÁTICO

Dados sobre volume e composição química das soluções de precipitação livre e precipitação interna e composição química das águas do lençol freático foram extraídos de trabalhos ainda não publicados, realizados nas mesmas parcelas de estudo, sendo as coletas realizadas concomitantemente com aquelas de solução do solo, formando um conjunto de amostragens necessárias a um monitoramento mais amplo dos ciclos biogeoquímicos naquele ecossistema. Estes estudos iniciaram-se na Floresta Estadual do Palmito em 1994 (Wisniewski et al., 1997) e continuam em andamento até os dias de hoje, sendo que as coletas de solução de solo só iniciaram-se em junho de 2002, com resultados válidos somente a partir de setembro do mesmo ano.

As composições químicas médias das soluções de precipitação livre e precipitação interna estão apresentadas na Tabela 4. A composição da precipitação livre (PL) é

dominada pelo Na^+ e pelo Cl^- , o pH oscila em torno de 6,0. O Ca^{2+} apresentou, no período estudado, um valor médio de $91 \mu\text{molc.L}^{-1}$, 3 vezes mais concentrado que o Mg^{2+} e cerca de 100 vezes mais que o K^+ . Nitrogênio na forma de nitrato teve valor médio de $4 \mu\text{molc.L}^{-1}$. Os teores de amônio não foram dosados por problemas laboratoriais. As concentrações de fósforo e alumínio em solução foram analisadas e os valores encontrados foram muito baixos (inferiores à ordem de mg.L^{-1}). Desta forma, estas análises deixaram de ser realizadas.

Os dados obtidos mostram, de maneira geral, um enriquecimento das soluções de precipitação interna (PI) em relação à precipitação livre, efeito relatado por diversos autores como TUKEY (1970); BÄUMLER et al. (1997), MARQUES(1995); McDOWELL (1998); MARTINS (1997). Na fase inicial, o enriquecimento é pouco pronunciado, conforme mostram os dados da Tabela 2. No caso da fase Intermediária, observa-se um nítido aumento na concentração para os diferentes elementos. NO_3^- -N teve média de $14 \mu\text{molc.L}^{-1}$, 3,5 vezes maior que na PL; cloro mostra-se 2 vezes mais concentrado com média de $250 \mu\text{molc.L}^{-1}$; K^+ com média de $46 \mu\text{molc.L}^{-1}$, 5 vezes maior que na PL; Ca^{2+} com leve aumento de 15% ficou com média de $105 \mu\text{molc.L}^{-1}$; o Mg^{2+} 1,7 vezes mais concentrado com média de $56 \mu\text{molc.L}^{-1}$ e o Na^+ 1,9 vezes mais concentrado que na PL com média de $182 \mu\text{molc.L}^{-1}$. As concentrações verificadas na fase Avançada foram pouco maiores que aquelas fase Intermediária, exceto para o NO_3^- -N que manteve-se igual, e para o Na^+ que diminuiu.

Também foram coletadas, através de piezômetros, amostras de água provenientes do lençol freático de cada área de estudo. Foram instalados em cada fase 3 piezômetros, que consistem de um tubo de PVC de diâmetro 200 mm X 3 m, enterrado no solo verticalmente até a profundidade 2,5 m, sem perfurações laterais, para que a solução coletada seja correspondente a profundidade 2,5 da extremidade de entrada. Foram instalados com o intuito de conhecer a composição química das águas do lençol freático, na área inicial foi instalado um piezômetro adicional cerca de dez metros afastado da parcela e em situação de cota ligeiramente mais baixa, cujos dados são representativos da parcela, pois apresentam semelhança com aqueles obtidos dentro da parcela, no entanto este coletor por estar mais baixo no relevo possibilitou coletas durante todo o período, fato que não foi possível nos demais piezômetros da fase Inicial e Intermediária. Constatou-se que as profundidades em que se encontram os lençóis são diferentes, principalmente na área avançada onde este se encontra próximo da superfície. As composições químicas médias do lençol freático, são apresentadas na Tabela 4. Apesar da similaridade entre as

soluções das fases Inicial e Intermediária, nota-se na fase Inicial maior concentração de Ca^{2+} . Na fase Avançada observa-se, em relação às demais áreas, queda no pH, na condutividade elétrica (C.E.) e na concentração de Ca^{2+} . Os outros elementos apresentam concentrações maiores que nas demais áreas, com destaque para NO_3^- -N cerca de 4 vezes mais concentrado e Na^+ e Cl^- ambos aproximadamente 2 vezes mais que nas outras áreas.

TABELA 4: Composição química média* das soluções de precipitação livre, precipitação interna e lençol freático, coletadas na Floresta do Palmito durante o estudo.

* média de amostras coletadas, a cada 21 dias, entre 12/09/02 e 19/03/04.

Soluções	NO_3^- -N	Cl^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	pH	C.E.($\mu\text{S.cm}^{-1}$)
	----- $\mu\text{molc.L}^{-1}$ -----							
PL	4	118	9	91	33	96	6	28
PI INI	4	158	12	95	43	110	6	19
PI MED	14	250	46	105	56	182	5,8	31
PI AVA	14	260	52	118	74	147	5,8	35
LF INI	31	264	21	360	58	83	6,5	55
LF MED	21	280	32	270	47	70	6,3	52
LF AVA	119	570	46	231	69	129	5,4	48

Onde: PL – precipitação livre; PI – precipitação interna; LF – lençol freático; C.E. – condutividade elétrica; INI – fase inicial; MED – fase intermediária; AVA – fase avançada.

Fonte: Projeto Solobioma.

5.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS SOLUÇÕES DO SOLO

As soluções do solo coletadas neste monitoramento podem ser consideradas como soluções gravitacionais, visto que a textura predominantemente arenosa não possibilita uma forte força de ligação entre a solução e as partículas do solo.

Na prática, isto foi observado pelo fato de que nas fases Inicial e Intermediária (onde o lençol freático era mais profundo) só foi possível retirar solução após eventos chuvosos. Na fase Avançada, as coletas foram possíveis mesmo nos intervalos entre eventos chuvosos, devido à presença do lençol freático mais próximo à superfície. Por este comportamento observado, presume-se que as soluções do solo coletadas nas áreas inicial e intermediária sejam mais adequadas para estudos de entradas e saídas de nutrientes do compartimento solo somente até 40 cm. Assim, segundo MARQUES e RANGER(1995), o pequeno tempo de residência no perfil, não permitiria muitas reações de equilíbrio entre a fase líquida e a fase sólida do solo. Na fase avançada, a presença do lençol freático mais próximo à superfície, inviabiliza a utilização dos dados em balanços de entrada-saída de nutrientes, por outro lado, complementa a compreensão do comportamento das soluções de solo neste ambiente de restinga.

TABELA 5: Composição média das soluções do solo coletadas na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.

FASE	Prof. cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	pH	C.E.	TOC
INI	15	163,7 b	37,0 b	25,3 a	104,7 b	150,6 b	460,9 b	4,82 a	64,9 b	54,4 a
MED	15	196,0 a	44,7 b	30,5 a	110,8 b	185,3 b	401,7 b	4,80 a	65,5 b	56,5 a
AVA	15	93,7 c	72,6 a	9,8 b	178,7 a	239,1 a	631,1 a	3,69 b	143,7 a	64,5 a
INI	40	207,7 a	35,6 c	22,4 b	91,4 b	116,3 b	336,1 b	5,36 a	46,2 c	38,2 b
MED	40	239,3 a	60,0 b	51,5 a	96,2 b	134,4 b	476,4 a	5,45 a	63,8 b	57,3 a
AVA	40	99,6 b	71,3 a	8,7 c	146,8 a	223,0 a	481,4 a	3,74 b	112,9 a	63,2 a

INI = Inicial; MED = Intermediária; AVA = Avançada. Médias acompanhadas por letras distintas apresentam diferenças estatísticas significativas ao nível de 5% pelo teste de Fischer.

Através da Tabela 5 é possível identificar a seguinte ordem de dominância dos íons nas soluções do solo:

Fases Inicial e Intermediária: Cl⁻ > Ca²⁺ > NO₃⁻-N > Na⁺ > Mg²⁺ > K⁺.

Fase Avançada: Cl⁻ > NO₃⁻-N > Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺.

Comparando-se os resultados, observam-se diferenças entre as áreas de estudo e, dentro de cada área, diferenças entre profundidades nas concentrações dos elementos.

As soluções do solo foram mais ricas do que a precipitação interna para a maioria dos nutrientes (Tabelas 4 e 5), com as seguintes exceções:

Fase Inicial: Mg a 15 cm e Mg e Na a 40 cm;

Fase Intermediária: Mg, Na e K a 15 cm e Na a 40 cm;

Fase Avançada: Ca, K e Mg em concentração similar a 15 cm e a 40 cm Ca, K, Mg e Na similares.

5.2.1 pH

Os valores médios de pH das soluções do solo das fases Inicial e Intermediária foram bastante semelhantes, nas duas profundidades, não apresentando diferenças significativas. A 15 cm: 4,9 na fase Inicial e 5,0 na fase Intermediária. Na profundidade de 40 cm foi ligeiramente mais alto, com valor 5,3 na fase Inicial e 5,6 na fase Intermediária. Os valores médios na fase Avançada foram bem inferiores, ficando em torno de 3,7 e 3,8, a 15 e 40 cm respectivamente, estatisticamente diferentes das duas fases anteriores. No lençol freático (LF), os valores médios de pH foram de 6,5 na fase Inicial, 6,3 na fase Intermediária e 5,4 na fase avançada (Tabela 04). Estes valores mais próximos da neutralidade podem ser explicados pela acumulação de cátions básicos que teriam sido lixiviados do perfil do solo, uma vez que trata-se de solos predominantemente arenosos sem minerais primários ou secundários para serem intemperizados.

5.2.2 Cálcio

A concentração média de Ca^{2+} das soluções do solo coletadas a 15 cm foi 163 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ na fase Inicial, 196 na fase Intermediária e 93 na fase Avançada (Tabela 05). Estatisticamente as soluções coletadas são diferentes para cada fase da sucessão. As maiores concentrações deste nutriente nas fases Inicial e Intermediária em parte podem ser explicadas pela elevada presença da espécie *Illex theezans* Mart., que apresenta teores medianos de Ca na serapilheira, porém grande participação para o total de serapilheira produzida nas fases INI e MED, 67 e 30% respectivamente (PINTO E MARQUES, 2003). Quando comparadas com as respectivas precipitações internas (Tabela 04), as soluções das fases Inicial e Intermediária foram, em média 1,7 vezes mais concentradas em Ca^{2+} . Já na

fase Avançada a concentração de Ca^{2+} mostrou-se ligeiramente menor que na solução de precipitação interna da mesma área. Na profundidade 40 cm as médias foram: fase inicial $207 \mu\text{molc.L}^{-1}$, fase intermediária $239 \mu\text{molc.L}^{-1}$ e fase avançada $99 \mu\text{molc.L}^{-1}$. Entre as fases Inicial e Intermediária não houve diferença significativa, já a fase Avançada com menores médias, apresentou diferença significativa em relação as demais fases pelo teste Fischer a 5%. As soluções do solo das fases inicial e intermediária foram mais concentradas que as precipitações internas 2,4 vezes. Portanto na profundidade 40 cm foram observadas as maiores concentrações de cálcio em ambas as fases serais. Presume-se que ocorra na camada superficial do solo grande absorção de nutrientes pelas raízes e microorganismos o que poderia em parte explicar as menores concentrações de Ca^{2+} observadas a 15 cm, uma vez que são muito poucas as raízes observadas na profundidade 40 cm. No entanto, é possível que os coletores de solução do solo a 40 cm estejam melhor posicionados para o monitoramento das perdas de Ca^{2+} em função de coletarem a solução que já passou por todo o horizonte A e parte do horizonte E.

Nas soluções do lençol freático(LF) as médias de Ca^{2+} foram: fases inicial $360 \mu\text{molc.L}^{-1}$, intermediária $270 \mu\text{molc.L}^{-1}$ e fase avançada $231 \mu\text{molc.L}^{-1}$ (Tabela 04), sensivelmente mais concentradas que as soluções coletadas em horizontes mais superficiais, estes resultados estão em acordo com aqueles obtidos por WISNIEWSKI et al.,(1997) ao analisar a composição química do solo, onde os autores verificaram concentrações de Ca^{2+} do horizonte B espódico elevadas em relação ao horizonte A, com exceção na fase Inicial, onde se tem maior concentração de cálcio na superfície do que nas demais fases da sucessão. Estas soluções do lençol freático evidenciam a lixiviação e conseqüente armazenamento de Ca^{2+} junto ao horizonte B espódico.

5.2.3 Magnésio

A concentração média de Mg^{2+} das soluções do solo a 15 cm foi $37 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Inicial, $44 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Intermediária e $72 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Avançada (Tabela 05); entre as fases Inicial e Intermediária não houve diferença estatística significativa, porém a fase Avançada mostrou diferença em relação as demais. Comparando com os resultados obtidos por WISNIEWSKI et al.,(1997) o magnésio na solução dos solo tem um comportamento diferente daquele observado na fase sólida, nesta última o Mg^{2+} apresentou-se em maiores concentrações na fase Inicial, em concentrações pouco menores na fase Avançada e as menores concentrações na fase Intermediária.

Este acréscimo de concentração nas soluções do solo, que acompanha a evolução da sucessão, pode ser reflexo da precipitação interna, caracterizando um efeito de enriquecimento da água da chuva ao passar pelo dossel florestal, o qual é mais desenvolvido na fase Avançada e com maior capacidade de captar solutos atmosféricos. Este efeito se reflete sobre as soluções de precipitação interna e na seqüência sobre as soluções do solo (Tabela 4). No entanto, os teores foliares de Mg (BOEGER, 2005), e na serapilheira (PINTO e MARQUES, 2003) da fase AVA são menores, quando comparados com as demais fases, este fato indica que o teor dos nutrientes nas folhas que compõe a serapilheira não tem uma relação direta com os teores dos elementos ao nível da solução do solo. Na profundidade 40 cm a média foi $35 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na Inicial, $60 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na Intermediária e $71 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na Avançada, seguindo o mesmo padrão de aumento das concentrações com a evolução da sucessão, nesta profundidade houve diferença estatística entre as três fases estudadas. Ao nível do lençol freático a média foi $58 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na Inicial, $47 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na Intermediária e $69 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na Avançada (Tabela 04); é presumível que este elemento seja oriundo do horizonte superficial através de processo de lixiviação.

5.2.4 Potássio

As concentrações médias de K^+ das soluções do solo a 15 cm foram $25 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Inicial, $30 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Intermediária e $10 \mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Avançada (Tabela 05). As soluções das fases Inicial e Intermediária não diferiram estatisticamente entre si. A solução do solo da fase Avançada foi menor que as demais conforme a Tabela 5. Na profundidade 40 cm foram observadas as seguintes médias: Inicial $22 \mu\text{molc.L}^{-1}$, Intermediária $51 \mu\text{molc.L}^{-1}$ e Avançada $8,7 \mu\text{molc.L}^{-1}$, nesta profundidade houveram diferenças estatísticas entre as três fases da sucessão. Resultados obtidos por BOEGER et al., (2005) estudando os teores foliares, e PINTO e MARQUES (2003) em estudo sobre a serapilheira, ambos os experimentos realizados nas mesmas parcelas de coleta de solução de solo, indicam que os teores de potássio das principais espécies que formam a serapilheira aumentam com a sucessão ecológica, neste sentido, serão também maiores as demandas por este nutriente a nível de solo, fato que pode estar relacionado às baixas concentrações deste elemento na solução do solo da fase AVA. Conjuntamente, ocorre maior adsorção deste cátion devido a camada orgânica bastante desenvolvida na fase Avançada da sucessão vegetal. No lençol freático a média encontrada no período de

estudo foi 21 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ Inicial, 32 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ Intermediária e 46 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Avançada (Tabela 04). Comparando os dados de K^+ da solução do solo e lençol freático, com aqueles obtidos por WISNIEWSKI et al.,(1997) fica evidente que este elemento não está adsorvido nas partículas sólidas por apresentar valores muito baixos na análise do solo na profundidade 1 metro, no entanto, na água do subsolo há tanto K^+ disponível quanto na solução da superfície. Na área Avançada este ocorre em maior abundância na água do lençol freático, provavelmente por ocorrer nesta fase uma drenagem pouco eficiente, levando ao acúmulo de nutrientes na camada mais profunda.

5.2.5 Sódio

As concentrações médias de Na^+ nas soluções coletadas a 15 cm foram: 104 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na Inicial, 110 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na Intermediária e 178 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na Avançada (Tabela 5); as soluções das fases Inicial e Intermediária não diferiram estatisticamente, a solução da fase Avançada foi diferente das demais. Na profundidade 40cm observou-se as seguintes médias: Inicial 91 $\mu\text{molc.L}^{-1}$, Intermediária 96 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ e Avançada 147 $\mu\text{molc.L}^{-1}$. Já os teores de sódio verificados por PINTO e MARQUES (2003), diminuem com a evolução da sucessão, para as principais espécies formadoras de serapilheira, evidenciando que não seria esta a fonte responsável pela maior concentração deste elemento na fase AVA. As concentrações de Na^+ na precipitação interna da fase AVA são menores que na fase MED, indicando que este fator não tem relação direta com a maior concentração de sódio na fase AVA. A consideração mais coerente é a drenagem deficiente da fase AVA, que leva ao enriquecimento da solução do solo por esta permanecer no perfil por mais tempo, diferente das demais fases, onde se tem a passagem da água através do perfil, carreando os nutrientes para o lençol freático. As soluções do lençol freático apresentaram as seguintes médias: Inicial 83 $\mu\text{molc.L}^{-1}$, Intermediária 70 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ e Avançada 129 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ (Tabela 04), indicando que durante a descida da água através do perfil a concentração deste elemento sofre pouca variação.

5.2.6 Nitrato

As concentrações médias de NO_3^- - N foram na profundidade 15 cm: 150 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Inicial, 185 na fase Intermediária e 239 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Avançada (Tabela 05), não houve diferença estatística entre as fases Inicial e Intermediária, a fase Avançada, com

maiores concentrações, foi significativamente diferente das demais. Na profundidade 40 cm as concentrações foram as seguintes: fase Inicial 116, fase Intermediária 134 e fase Avançada 223 $\mu\text{molc.L}^{-1}$, as fases Inicial e Intermediária não mostraram diferença significativa e a fase Avançada foi diferente estatisticamente. Estudando os teores foliares de N das principais espécies que ocorrem nestas mesmas parcelas, BOEGER et al.,(2005) constatou que ocorre um aumento dos teores com a evolução da sucessão, o que em parte pode explicar as concentrações maiores deste nutriente na fase AVA. O mesmo foi verificado por PINTO e MARQUES(2003) estudando a serapilheira das espécies de maior ocorrência nas mesmas parcelas. Como consequência, a relação C/N do solo diminui com a evolução da sucessão, fato que confere à serapilheira da fase AVA melhores condições para a mineralização, e consequente maior liberação de NO_3^- . É presumível que as maiores concentrações deste nutriente na fase Avançada sejam devidas a presença da espessa camada de material orgânico (20 cm ou maior conforme Tabela 3), contendo desde galhos, gravetos, folhas e restos animais, até uma camada de material orgânico não identificável de cor escura (húmus), mais desenvolvida do que nas demais fases.

As altas concentrações de NO_3^- - N no subsolo, juntamente com as maiores concentrações de cátions lixiviados dos horizontes superficiais são, em parte, consequências das altas taxas de nitrificação que ocorrem na fase Avançada (Tabela 4 e Figura 22). A oxidação de $\text{NH}_4\text{-N}$ para $\text{NO}_3\text{-N}$ leva à liberação de H^+ , o qual pode acidificar o solo e a solução do solo, ou ambos dependendo da intensidade do processo. A lixiviação ocorre então pela ocupação dos sítios negativos de troca dos colóides pelos cátions H^+ abundantes, deixando os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ livres na solução e sujeitos a reações com os ânions principais NO_3^- -N, Cl^- e SO_4^{2-} ; sendo assim facilmente carregados para os horizontes mais profundos pelo movimento natural de percolação (MARQUES e RANGER, 1995; MONTAGNINI et al. 1991; TOKUCHI et al., 1993; WATMOUGH e DILLON, 2004). Ao nível do lençol freático as médias foram 31 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Inicial, 21 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ fase Intermediária e 119 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Avançada (Tabela 04), estas concentrações variam próximas à metade daquelas observadas na superfície, o que evidencia a maior presença deste elemento junto a camada orgânica do solo onde ocorre a mineralização da matéria orgânica.

5.2.7 Cloreto

As concentrações médias de Cl^- na soluções a 15 cm foram: 460 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Inicial, 401 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Intermediária e 631 na fase Avançada(Tabela 5), as fases Inicial e Intermediária não mostraram diferença significativa e a fase Avançada foi diferente estatisticamente. Na profundidade 40 cm as médias foram: fase Inicial 336 $\mu\text{molc.L}^{-1}$, Intermediária 476 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ e fase Avançada 481 $\mu\text{molc.L}^{-1}$, a fase Inicial mostrou diferença significativa em relação as fases Intermediária e Avançada, as quais não diferiram entre si. Devido ao significativo aumento das concentrações de Cl^- na transição da PL para a PI atribuído a presença da vegetação(Tabela 04), nota-se a grande deriva atmosférica deste elemento, principalmente pela proximidade das áreas com o oceano (HAY e LACERDA, 1984; LIMA, 1986; MACDOWELL, 1998), portanto é bastante compreensível a abundância deste elemento por todos os compartimentos do ecossistema. As concentrações médias na água do subsolo foram 264 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Inicial, 280 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Intermediária e 570 $\mu\text{molc.L}^{-1}$ na fase Avançada. Evidenciando que este elemento é lixiviado em grande escala para o subsolo.

5.2.8 Condutividade Elétrica

Valores de condutividade elétrica expressam indiretamente a concentração de sais de uma solução, as médias observadas na Floresta do Palmito foram similares nas fases Inicial e Intermediária na profundidade 15 cm, nesta profundidade a fase Avançada mostrou diferença significativa com valores bem mais altos. Na profundidade 40 cm houveram diferenças entre as três fases, seguindo o efeito de fase sucessional, os valores aumentaram da fase Inicial para a fase Intermediária e desta para a fase Avançada.

As médias de condutividade elétrica da área inicial ficaram: 66 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ na profundidade 15 cm e 47 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ nas soluções coletadas a 40 cm, bastante superior a Pi que teve como média 19 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. A condutividade média do LF foi 55 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, bastante similar àquelas observadas nas camadas superficiais. A condutividade demonstrou forte correlação com o Na^+ e com o K^+ nas soluções coletadas a 15 cm. Os valores médios de condutividade elétrica de fase intermediária foram a 15 e a 40 cm 66 e 67 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ respectivamente, indicando que nas duas profundidades as quantidades de sais das soluções são bastante próximas. Ao nível de lençol freático a média foi 52 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ indicando leve decréscimo na quantia de sais nesta profundidade.

Os valores de condutividade na fase AVA foram , 138 e 109 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, a 15 e 40 cm respectivamente, praticamente o dobro em relação às demais fases. Este fato está intimamente ligado à estrutura da floresta, que apresenta dossel mais denso que nas demais fases, portanto com maior capacidade de captar solutos atmosféricos. Conjuntamente, ao nível do solo, a espessa camada orgânica presente funciona como um reservatório de nutrientes, demonstrando, através dos dados obtidos, que os mesmos encontram-se nesta camada em maior concentração, fato que eleva os valores de condutividade elétrica. A média de condutividade verificada no lençol freático foi 48 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, menos que a metade verificada nos horizontes superficiais. É presumível que parte dos elementos que estavam presentes na solução a 40 cm tenha sido retida em camadas inferiores a esta.

5.2.9 Carbono Orgânico Total

Os teores médios de carbono orgânico total (TOC), não apresentaram diferenças estatísticas entre as fases na profundidade 15 cm. Houve diferença significativa somente na fase Inicial, com valores menores na profundidade 40 cm (Tabela 5). Na profundidade 15 cm foram observadas as seguintes médias: 54 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na fase Inicial, 56 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na Intermediária e 64 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na Avançada. Na profundidade 40 cm as médias foram: 38 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na Inicial, 63 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na Intermediária e 57 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ na Avançada.

5.2.10 Comparação com Resultados de Outros Autores

Através da Tabela 6 é possível comparar os resultados deste estudo com resultados obtidos por outros autores. Apesar da baixa fertilidade dos solos estudados, a soma dos cátions básicos foi, para todas as soluções, maior que 329 $\mu\text{molc}\cdot\text{L}^{-1}$, cerca de 6 vezes mais do que os valores encontrados no cerrado próximo a Uberlândia, MG por LILIENFEIN et al. (2000), e também, aproximadamente 6 vezes maior que os valores observados na savana do litoral do Congo por LACLAU et al. (2003). Foi, ainda, similar aos resultados obtidos por MARQUES et al. (1996) na França, BÄUMLER et al. (1998) na Alemanha e McDOWELL (1998) em Porto Rico. A soma de cátions básicos foi inferior àquela verificada por AVILA et al. (1995) na Espanha, com 800 $\mu\text{molc}\cdot\text{L}^{-1}$, e também abaixo da média observada em florestas temperadas onde a soma dos cátions básicos fica em torno de 1000 $\mu\text{molc}\cdot\text{L}^{-1}$, segundo LACLAU et al. (2003). Mesmo na área inicial, onde foram observadas as menores concentrações dos elementos, nota-se uma riqueza de solutos

quando comparadas com as áreas estudadas por LILIENFEIN et al.(2000), onde a CE variou, na época chuvosa, em torno de $10 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, no cerrado, e em torno de $20 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, em stand de pinus próximo. Dados obtidos por outros autores podem ser visualizados na Tabela 06.

TABELA 06: Resultados obtidos por diversos autores em monitoramentos de soluções do solo em ecossistemas florestais.

Autor(ano)/local	Sítio/prof.	NO ₃ ⁻ -N	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	CL ⁻	pH	C.E.
		μmolc.L ⁻¹							
Avila(1995)/Espanha	carvalho/ 20 cm	2	35	417	205	142	175	5,6	75
	carvalho/ 40 cm	6	35	491	248	176	205	5,6	94
Bäumler(1998)/Alemanha	misto*/ 10 cm	664	31	150	41	22	17	4,5	40
	misto*/ 30 cm	764	5	240	41	22	14	5,4	40
Laclau(2003)/Congo	eucaliptus/ 15 cm	6	5	5	10	47	63	5,0	
	eucaliptus/ 40 cm	7	5	5	8	36	53	5,0	
	savanna/ 15 cm	2	5	8	8	31	36	5,5	
	savanna/ 40 cm	2	6	7	5	28	21	5,5	
Lilienfein(2000)/Brasil	cerrado/15 cm		9	11	8	27		5,6	38
	cerrado/30 cm		3	9	3	20		5,3	53
	pinus/15 cm		22	15	10	54		4,8	27
	pinus/30 cm		27	41	15	103		4,7	33
Marques(1996)/França	douglas fir/ 15 cm	402	21	107	87	60	115	4,5	
	douglas fir/ 30 cm	582	28	114	124	68	122	4,5	
Mcdowell(1998)/Porto Rico	tropical mont./ 40cm	1	8	58	120	255	257		
	tropical mont./ 80cm	2	6	43	78	221	261		
Montagnini(1991)/USA	misto**/ 30 cm	2	7	60	71	21		6,1	14
	misto**/ 60 cm	4	19	38	42	17		6,0	11
Presente estudo	inicial/ 15 cm	153	25	168	38	115	423	5,0	66
	inicial/ 40 cm	118	28	229	36	91	327	5,3	47
	intermediária/ 15cm	185	55	195	46	117	386	5,0	66
	intermediária/ 40cm	134	30	256	64	105	515	5,6	67
	avançada/ 15 cm	236	10	95	72	181	576	3,7	138
	avançada/ 40 cm	224	9	101	70	150	467	3,8	109

*Povoamento misto: *Picea abies*, *Abies alba* e *Fagus silvatica*.

**Povoamento misto: *Pinus* e “madeira de lei”.

5.3 COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO

Foram calculados coeficientes de correlação entre as séries de dados de concentração dos diferentes parâmetros determinados nas soluções. Desta maneira pode-se identificar se ocorrem comportamentos semelhantes ou antagônicos entre os parâmetros analisados nas soluções estudadas. Na tabela 7 estão colocados os coeficientes de correlação entre pares de parâmetros.

Os resultados obtidos para a precipitação interna mostram que de maneira geral os cátions básicos correlacionam-se positivamente entre si, o que sugere que as variações de concentração destes elementos ocorrem no mesmo sentido. Com relação ao contra-íon acompanhante, os coeficientes de correlação obtidos para o pareamento com cloreto e nitrato indicam estes ânions como os principais acompanhantes dos cátions básicos na solução de precipitação interna, fato que já não ocorre no solo, indicando que o contra-íon acompanhante destes cátions no solo é outro, provavelmente o sulfato. Infelizmente não foi possível a determinação de sulfato nas soluções, o qual deve ter uma participação importante nas soluções de precipitação e de solo de áreas próximas ao oceano (WHELPDALE, 1989) como é o caso da área de estudo.

De maneira geral nas soluções do solo coletadas também se verificou correlações significativas entre os cátions nas três fases sucessionais estudadas, e também correlações positivas entre o pH e cátions.

A condutividade elétrica como medida de sais totais, teve fortes correlações com os cátions Mg, Na e K indicando que estes íons participam ativamente da composição salina destas soluções.

As correlações entre o carbono orgânico total e os cátions foi positiva somente na fase Intermediária na profundidade 40 cm, era esperado que este tivesse boas correlações com os cátions por tratar-se de ácidos orgânicos de cargas negativas (LACLAU et al., 2003), porém os comportamentos foram distintos entre as fases sucessionais estudadas.

TABELA 7: Correlações entre os pares de parâmetros observados nas soluções coletadas nas áreas de estudo.

Fases	Inicial			Intermediária			Avançada		
	Pi ini n = 26	Ini 15 cm n = 27	Ini 40 cm n = 27	Pi int n = 26	int 15 cm n = 27	int 40 cm n = 27	Pi ava n = 26	ava 15 cm n = 27	ava 40 cm n = 27
TOC -Ca ²⁺		0,12	0,07		0,03	0,28		0,04	0,28
TOC-Mg ²⁺		-0,05	-0,17		-0,1	0,65**		-0,47*	-0,39
TOC-K ⁺		0,25	-0,18		0,08	0,59**		-0,25	0,13
TOC-Na ⁺		-0,24	-0,01		-0,19	0,50**		-0,55**	-0,48*
CE - Ca ²⁺		-0,28	0,08		0,02	-0,1		-0,13	-0,25
CE - Mg ²⁺		0,19	0,13		0,19	0,59**		0,58**	0,56**
CE - Na ⁺		0,73**	0,33		0,15	0,76**		0,49**	0,46*
CE - K ⁺		0,53**	-0,17		-0,11	0,54**		0,18	0,05
CE - TOC		-0,04	0,19		0,15	0,48*		-0,43*	-0,50*
pH - Ca ²⁺	0,3	0,59**	0,61**	0,58**	0,76**	0,45*	0,24	-0,03	0,29
pH - Mg ²⁺	0,17	0,63**	0,11	0,55**	0,51**	0,66**	0,22	0,02	0,08
pH - Na ⁺	0,29	0,19	0,27	0,57**	0,37*	0,31	0,11	0,17	-0,13
pH - K ⁺	0,21	0,35	0,01	0,56**	0,66**	0,61**	0,11	0,32	-0,1
pH-TOC		-0,09	0,04		0,1	0,61**		-0,29	-0,2
NO ₃ ⁻ - Ca ²⁺	0,66**	0,25	0,19	0,78**	0,2	0,2	0,11	0,2	0,19
NO ₃ ⁻ - Mg ²⁺	0,47*	-0,11	-0,08	0,52**	-0,2	-0,31	0,27	-0,04	-0,2
NO ₃ ⁻ - Na ⁺	0,53**	0,12	0,23	0,53**	-0,17	-0,07	0,38*	0,16	-0,02
NO ₃ ⁻ - K ⁺	0,17	-0,06	-0,05	0,69**	-0,03	-0,19	0,21	0,41*	0,38*
NO ₃ ⁻ - TOC		0,32	0,49*		-0,18	-0,13		0,16	0,07
Cl ⁻ - Ca ²⁺	0,81**	-0,09	0,12	0,60**	-0,37	-0,24	0,68**	-0,32	-0,23
Cl ⁻ - Mg ²⁺	0,73**	0,08	0,17	0,93**	-0,19	0,35	0,86**	-0,04	-0,32
Cl ⁻ - Na ⁺	0,92**	0,21	0,35	0,94**	-0,06	0,11	0,89**	0,13	-0,23
Cl ⁻ - K ⁺	0,87**	0,16	-0,15	0,90**	-0,29	0,19	0,92**	0,07	-0,07
Cl ⁻ - TOC		0,33	0,34		0,24	0,53**		0,21	0,26
CE - Cl ⁻		0,27	0,15		0,65**	0,39		0,55**	0,06
CE - NO ₃ ⁻		0,23	0,13		-0,25	-0,16		0,06	-0,18
pH - Cl ⁻	-0,26	-0,46*	0,22	0,64**	-0,60**	0,29	0,51**	-0,26	-0,12
pH - NO ₃ ⁻	0,59**	-0,19	0,09	0,47*	0,07	-0,28	0,05	0	-0,07
Cl ⁻ - NO ₃ ⁻	0,57**	0,3	0,3	0,72**	-0,26	-0,43*	-0,06	-0,06	-0,12

* = coeficiente de correlação significativa ao nível de 5%

** = coeficiente de correlação significativa ao nível de 1%.

Correlações com TOC, n = 21.

5.4 DINÂMICA DOS ELEMENTOS AO LONGO DO PERÍODO DE COLETAS

Através das concentrações médias dos elementos é possível ter uma noção de como esta a composição química da solução do solo, no entanto a dinâmica apresentada por cada nutriente ao longo do período coletado traz informações que podem ser relacionadas com: regime de chuvas do período, estações do ano, comportamento do nutriente em soluções que contribuem na formação da solução do solo (precipitação livre e precipitação interna). Em seguida estarão colocados os gráficos com o comportamento dos parâmetros ao longo do tempo.

5.4.1 Dinâmica do pH

Os valores de pH nas soluções de solo, ao longo do tempo, podem ser observados nas Figuras 2 (15 cm de profundidade) e 3 (40 cm de profundidade). De uma maneira geral, observa-se que os valores de pH nas fases Inicial e Intermediária são bastante próximos e apresentam a mesma dinâmica, tanto a 15 quanto a 40 cm de profundidade. O efeito estacional sobre esta dinâmica, contudo, não fica muito claro. Já na fase Avançada, o pH, em ambas profundidades, sofreu pouca variação ao longo do tempo, o que pode estar associado à constante presença do lençol freático próximo à superfície do solo. Possíveis variações seriam assim tamponadas pela constante umidade no solo. Esta proximidade do lençol freático à superfície do solo afetou também o comportamento dos outros elementos químicos, como será mostrado mais adiante.

Esta maior acidez das soluções pode ser atribuída a uma camada orgânica sobre o solo mais espessa (Tabela 3) que seria fonte de ácidos orgânicos para as soluções. Outro aspecto adicional seria a menor relação C/N do solo superficial (Tabela 1), a qual favoreceria a mineralização da matéria orgânica, podendo gerar acidez (MARQUES, 1995). Os teores de nitrato no lençol freático (Tabela 4) confirmam a maior mineralização sob esta fase sucessional.

FIGURA 7: Valores de pH nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

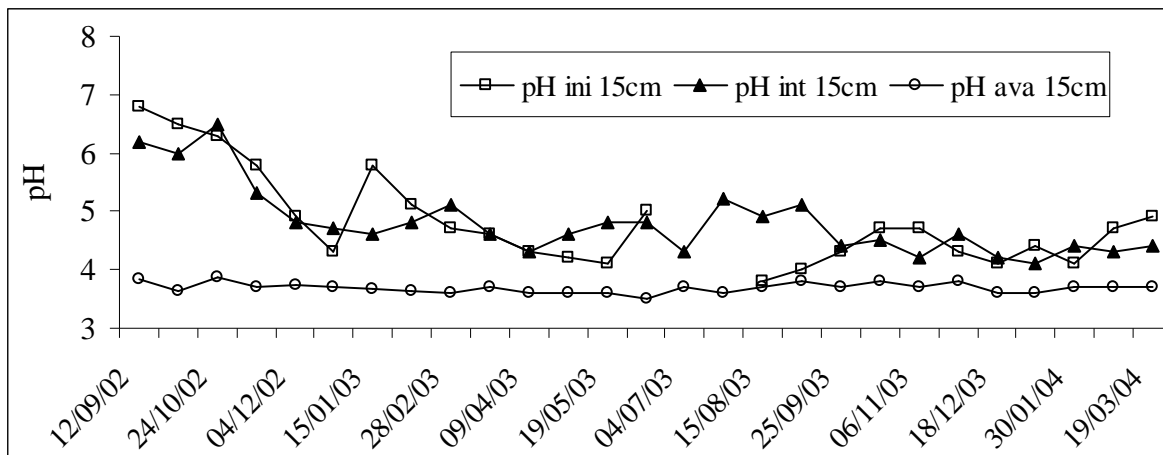


FIGURA 8: Valores de pH nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.

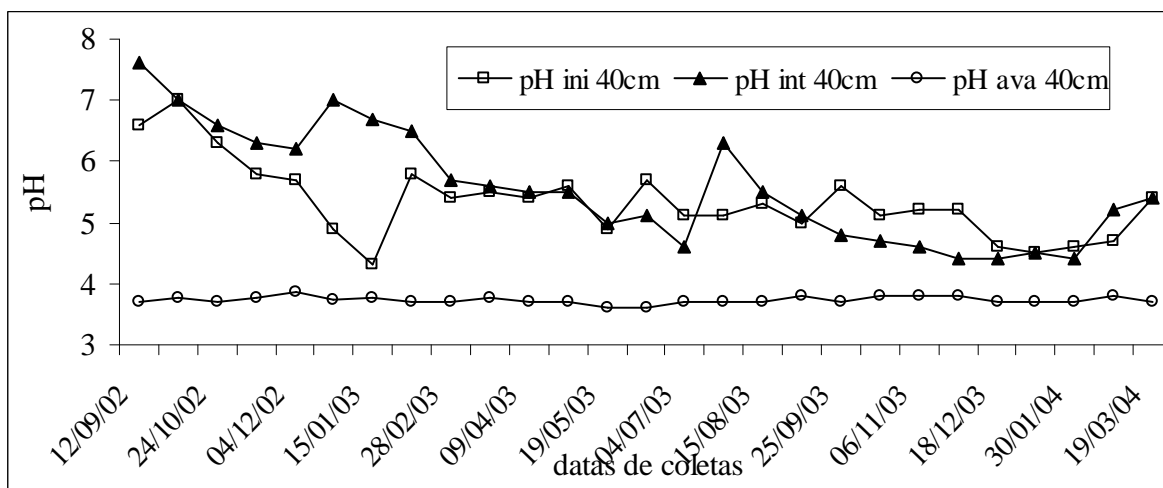
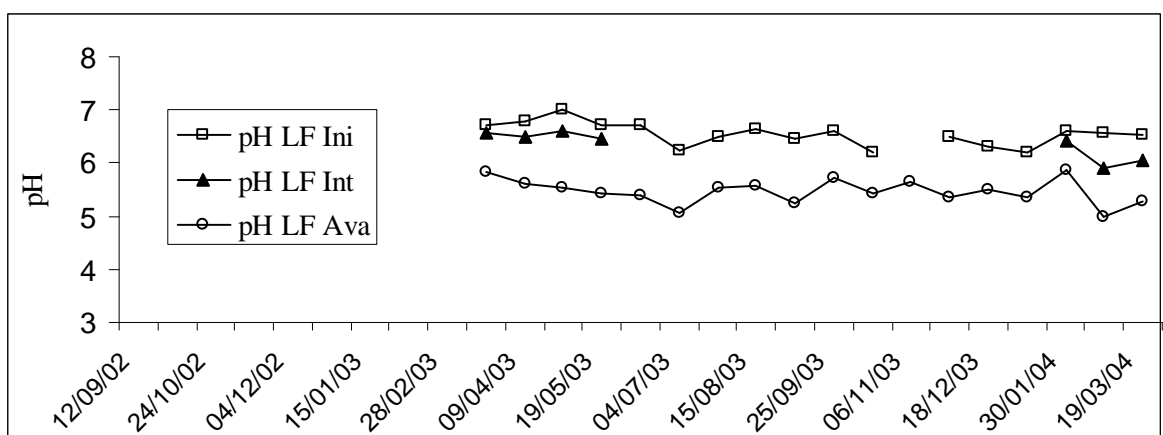


FIGURA 9: Valores de pH no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.



5.4.2 Dinâmica do Cálcio

Nas Figuras 4 e 5, pode-se observar que as soluções do solo, nas fases Inicial e Intermediária, apresentam dinâmicas semelhantes para o Ca^{2+} nas duas profundidades estudadas. Os resultados da fase Avançada variam bem menos, semelhante ao que já havia sido observado para os valores de pH, mostrando o efeito da proximidade do lençol freático também na concentração deste elemento em solução.

A dinâmica observada nas Figuras 4 e 5 não apresenta padrão definido de sazonalidade. E o comportamento nas soluções do solo é diferente daquele observado para o cálcio nas soluções de precipitação interna, onde as concentrações tendem a ser menores com as maiores precipitações, caracterizando um efeito de diluição/concentração; as soluções do lençol freático não demonstraram semelhanças com as soluções do solo em ambas as fases sucessionais (Figura 6).

FIGURA 10: Teores de cálcio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

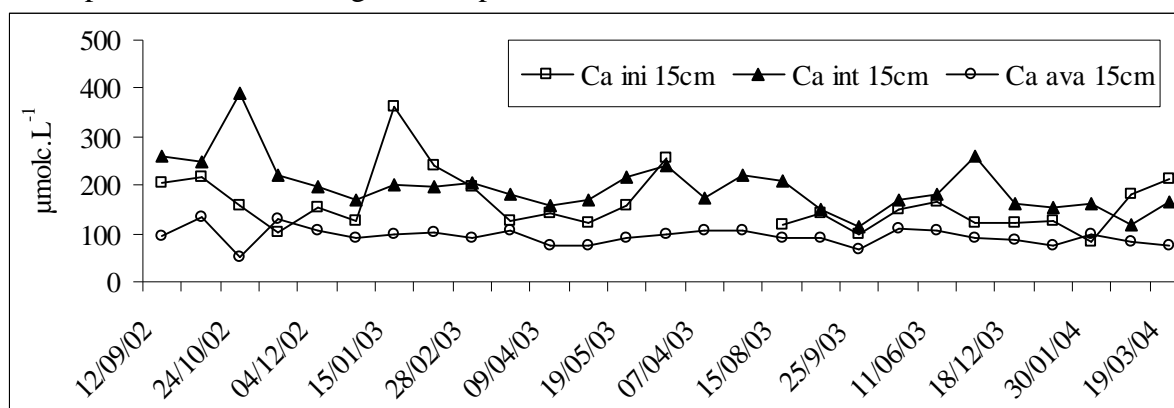


FIGURA 11: Teores de cálcio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.

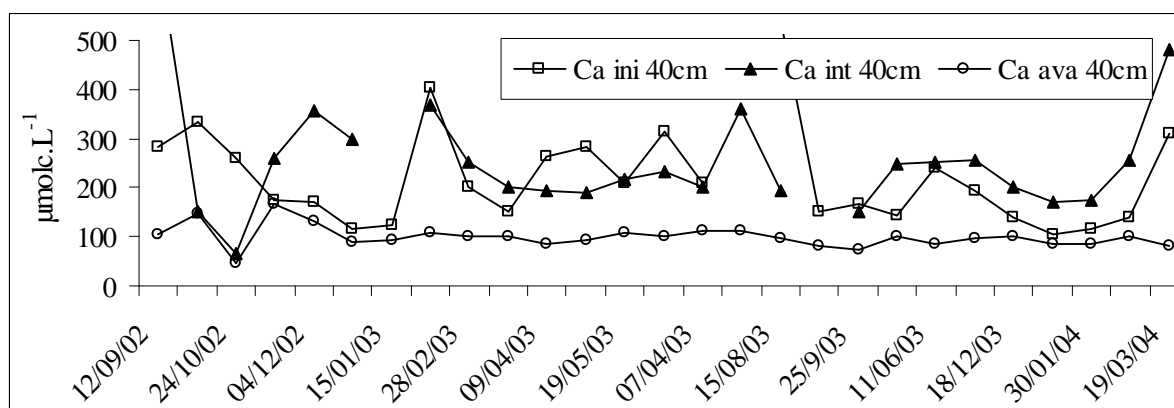


FIGURA 12: Teores de cálcio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.

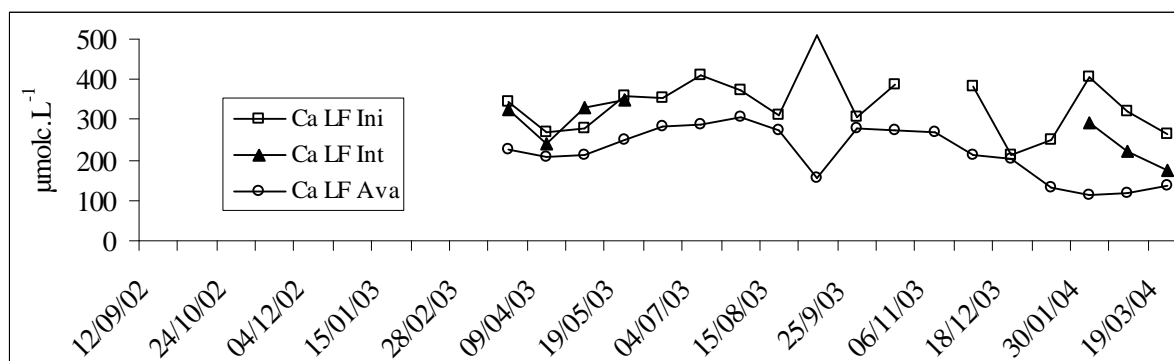
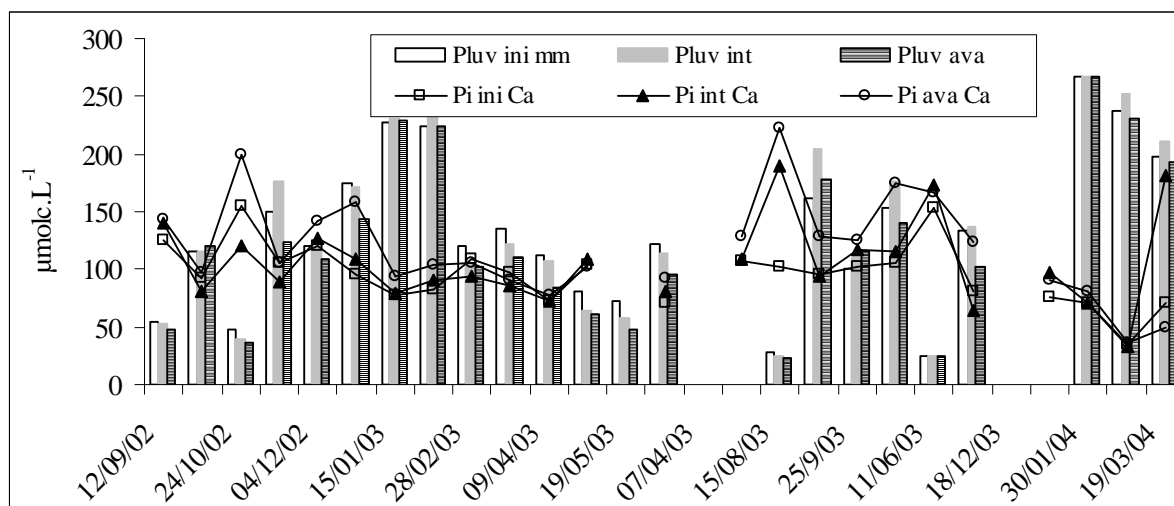


FIGURA 13: Teores de cálcio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.



5.4.3 Dinâmica do Magnésio

Através das figuras 8 e 9, verifica-se que ao longo do período de coletas, as concentrações de magnésio foram maiores durante a estação primavera nas três fases serais e também nas duas profundidades estudadas. Somente a solução do solo da fases inicial a 15 cm mostrou dinâmica semelhante àquela da PI. Esta solução apresentou efeito de diluição nas concentrações de Mg com o aumento dos volumes precipitados, indicando que esta sofre forte influência da PI. Nota-se que as soluções obtidas na profundidade 15 cm apresentam comportamento bastante similar nas três fases da sucessão, fato que já não ocorre tão nitidamente com as soluções coletadas na profundidade 40 cm.

Na fase Intermediária as concentrações a 15 cm são menores que aquelas

verificadas na Pi ($56 \mu\text{molc.L}^{-1}$) indicando que parte do Mg^{2+} que chega através da precipitação no solo é imobilizado nesta camada superficial, supostamente por absorção biológica ou adsorção às cargas negativas do solo.

Observa-se que as soluções coletadas na profundidade 2 metros tendem a seguir o mesmo comportamento das soluções superficiais (Figura 10).

FIGURA 14: Teores de magnésio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

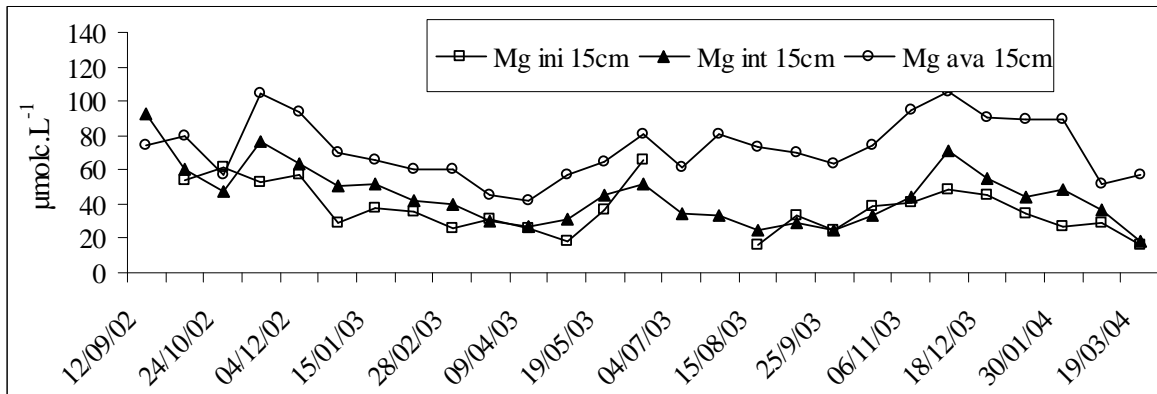


FIGURA 15: Teores de magnésio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.

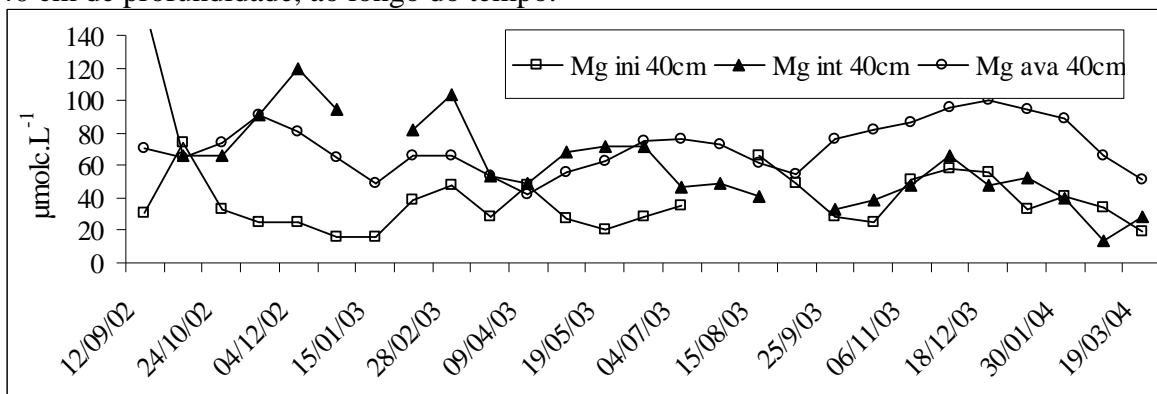


FIGURA 16: Teores de magnésio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.

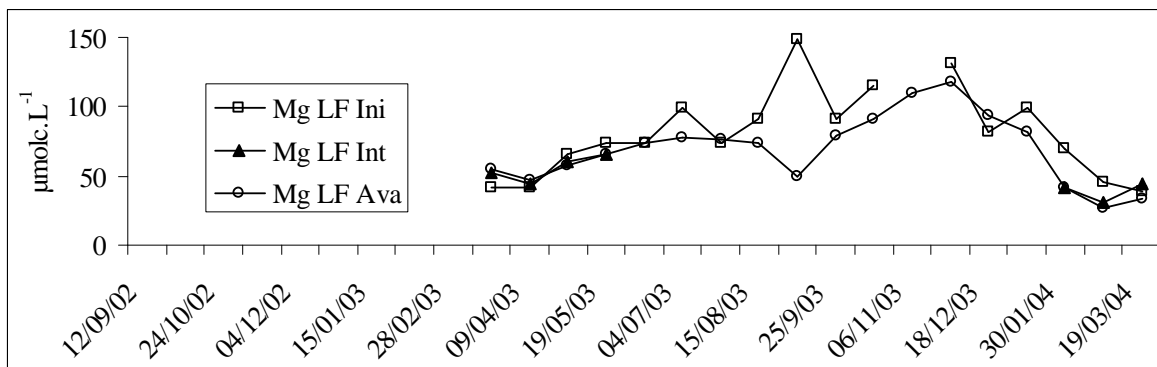
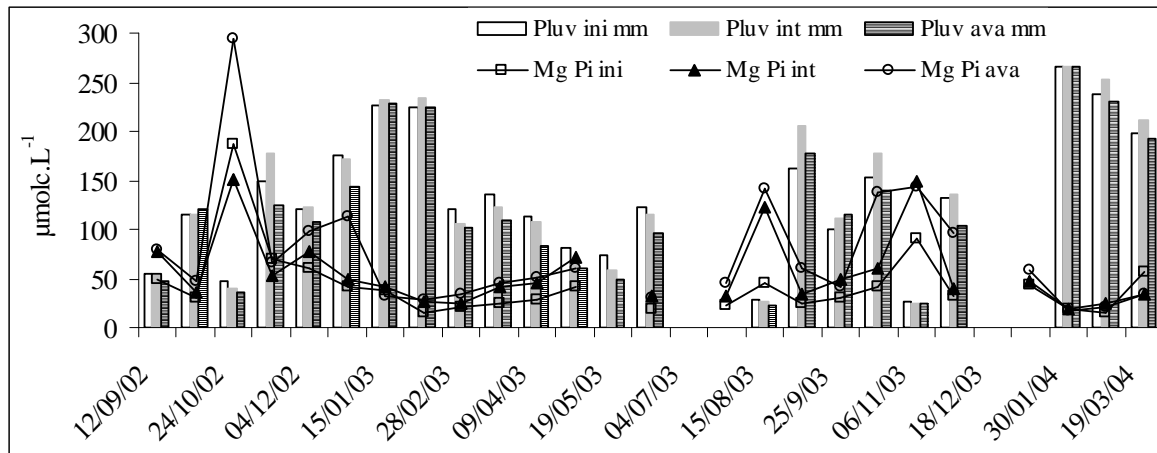


FIGURA 17: Teores de magnésio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.



5.4.4 Dinâmica do Potássio

Através das Figuras 12 e 13 é possível observar o comportamento do potássio ao longo do tempo nas soluções do solo; as soluções coletadas na profundidade 15 cm de fases sucessionais distintas apresentam semelhança de comportamentos, fato não observado nas soluções coletadas a 40 cm. Este elemento não apresenta variações sazonais definidas. Ocorrem semelhanças entre as dinâmicas do K^+ nas soluções do solo e das PIs, sendo estas mais pronunciadas nas soluções superficiais (Figuras 12 e 14). Na fase Inicial tem-se um dossel florestal pouco denso, fato que certamente acarreta baixas taxas de deposição atmosférica e lixiviação de K^+ dos tecidos vegetais, levando a PI desta fase a ser mais pobre em nutrientes que nas demais fases serais. Na fase Avançada as soluções do solo são menos concentradas para este elemento do que as soluções de PI, confirmando que este elemento é altamente ciclado neste ecossistema, devido à sua rápida absorção nos horizontes superficiais do solo, tal comportamento foi verificado por MACDOWELL (1998) numa floresta tropical de Porto Rico. O K^+ das soluções do solo sofre efeito de diluição com o aumento da precipitação nas duas profundidades estudadas em todas as fases da sucessão. Na área Avançada este efeito é menos pronunciado devido a presença constante de água no perfil do solo, fato que pode ter contribuído para as menores concentrações na solução do solo pela diluição da PI ao somar-se a solução do solo. As dinâmicas apresentadas são pouco semelhantes entre profundidades conforme os gráficos abaixo.

FIGURA 18: Teores de potássio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

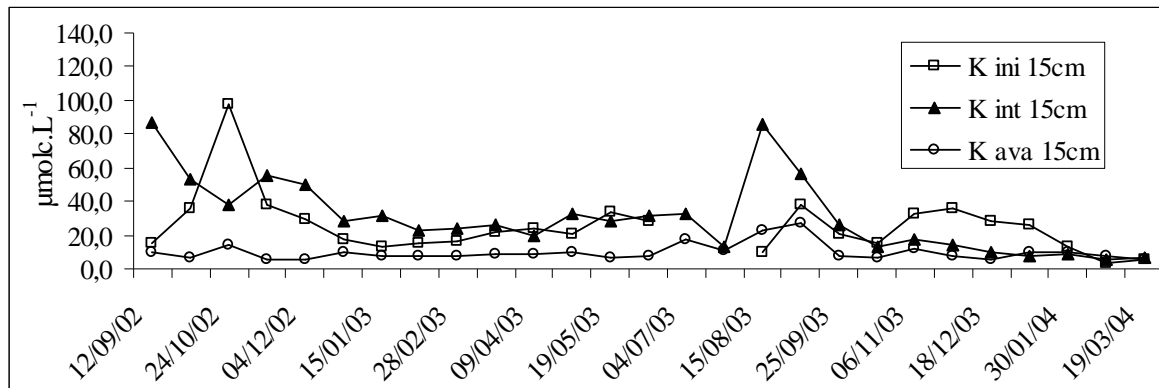


FIGURA 19: Teores de potássio nas soluções do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.

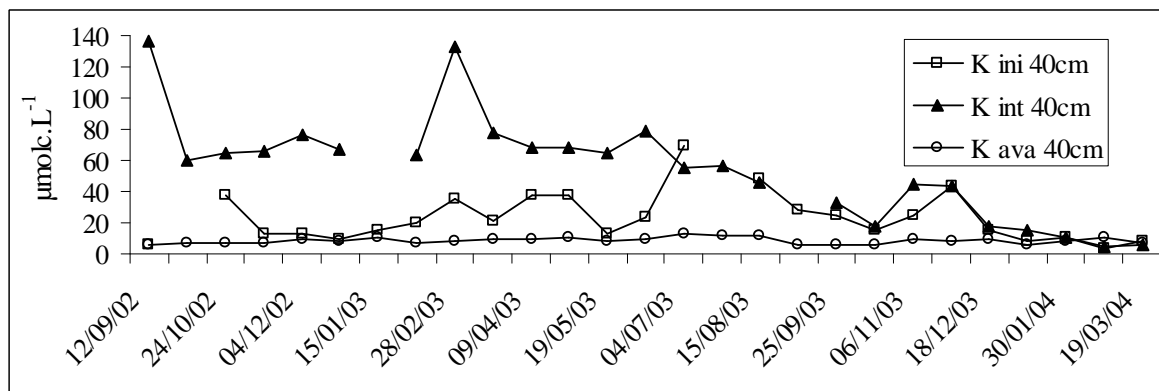


FIGURA 20: Teores de potássio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.

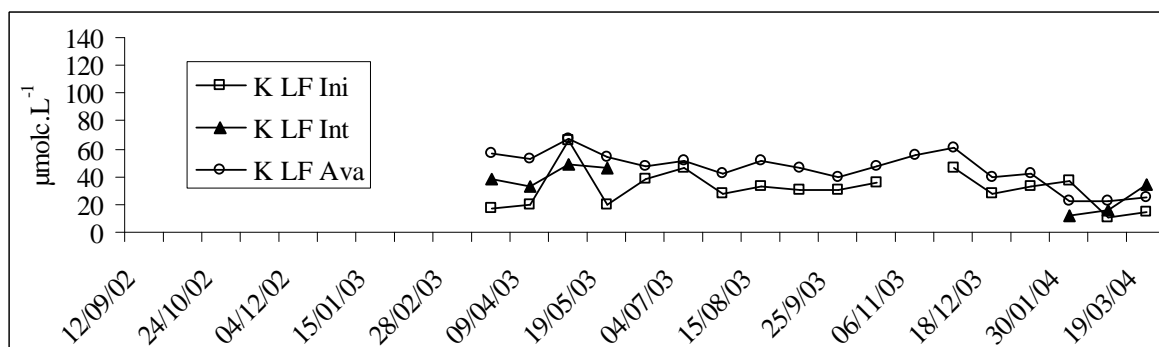
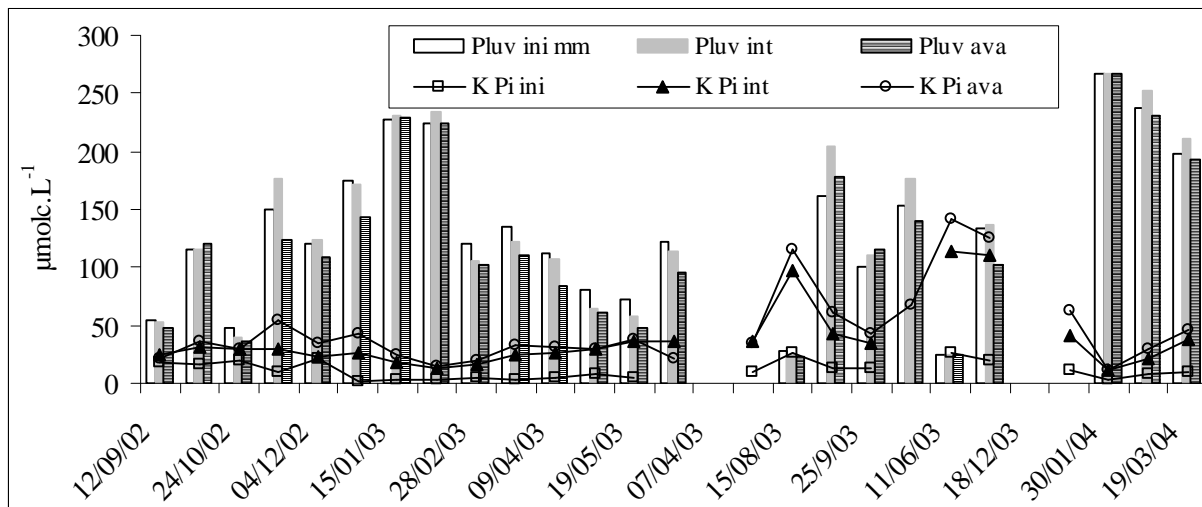


FIGURA 21: Teores de potássio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.



5.4.5 Dinâmica do Sódio

Através das Figuras 16 e 17 é possível observar o comportamento do Na^+ durante o período de coleta. Ocorre dinâmica semelhante do elemento sódio nas duas profundidades estudadas, com coincidência de picos de concentração nas mesmas datas. As soluções de solo coletadas a 15 cm nas 3 fases estudadas apresentam dinâmicas semelhantes, o mesmo não acontece na profundidade 40 cm. As soluções do solo e de precipitação interna não apresentaram dinâmica semelhante durante o período amostrado. Ocorre efeito de diluição nas concentrações de sódio das soluções de precipitação interna e de solo com o aumento do volume precipitado em ambas as fases. Este elemento não apresenta tendências sazonais de comportamento definidas.

Observa-se a grande deriva atmosférica deste elemento pelas suas altas concentrações também na precipitação livre, principalmente nestes ambientes próximos ao mar. Houve um aumento nas concentrações deste elemento nas soluções coletadas a 15 cm, a partir de maio de 2003, e estabilizando em patamar superior até o fim do período de amostragem.

FIGURA 22: Teores de sódio na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

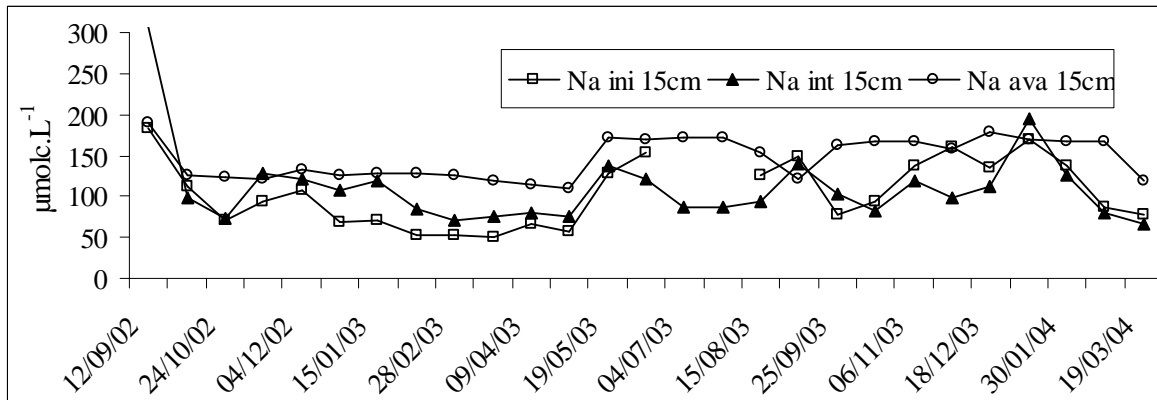


FIGURA 23: Teores de sódio na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.

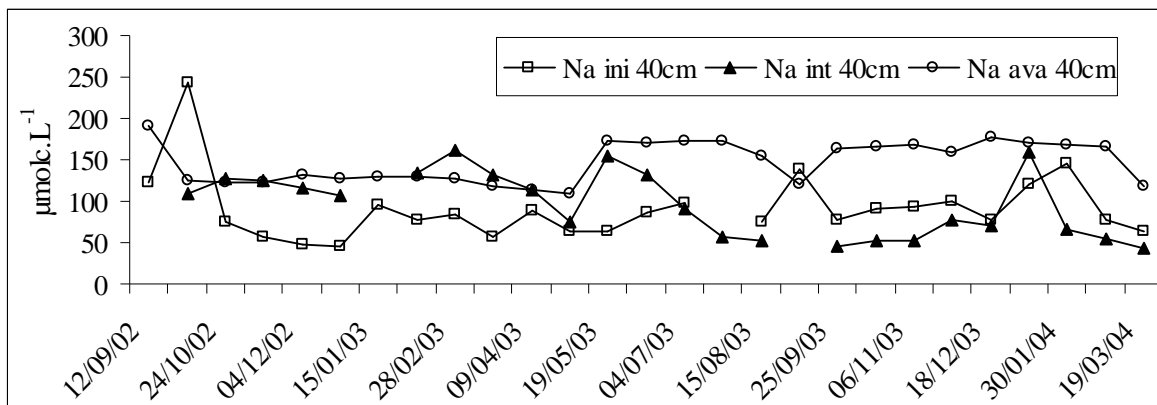


FIGURA 24: Teores de sódio no lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.

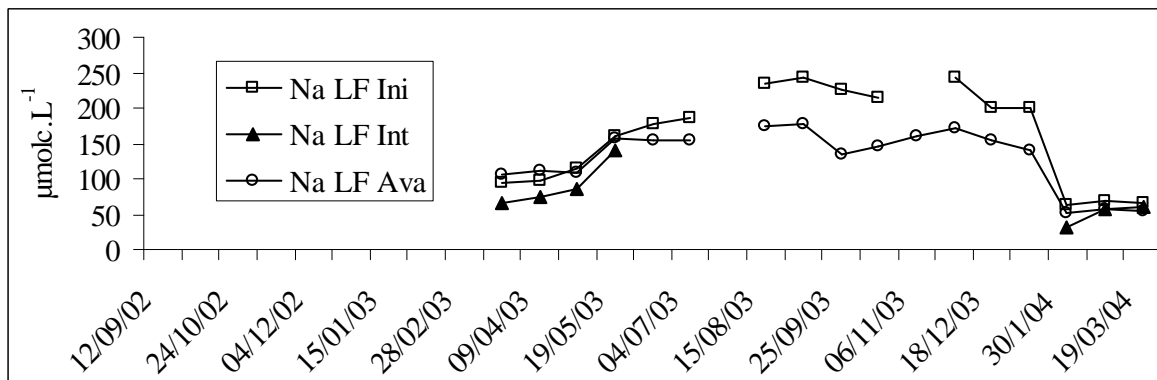
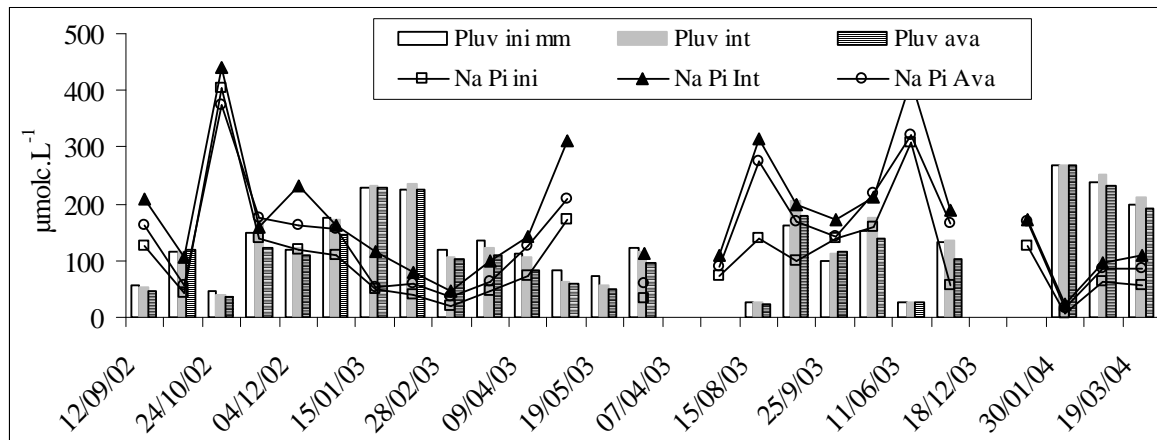


FIGURA 25: Teores de sódio na precipitação interna das diferentes fases sucessionais e volume precipitado, ao longo do tempo.



5.4.6 Dinâmica do Nitrato

Devido à pequena contribuição atmosférica com este nutriente (Tabela 4), fica evidente que a presença deste elemento nas soluções do solo está relacionado com fatores intrínsecos ao solo, como mineralização da matéria orgânica, nitrificação e fixação biológica de N. Através das Figuras 20 e 21 nota-se a similaridade entre as dinâmicas deste nutriente nas duas profundidades, o que evidencia a fácil lixiviação do NO_3 do horizonte superficial, comportamento também verificado por TOKUCHI et al. (1993). Existe variação estacional bem definida, com aumento de concentrações no inverno e decréscimo na primavera, resultado também observado por TOKUCHI et al. (1993) e por MARQUES (1995) em estande de Douglas fir com 20 anos; o inverso foi verificado por NIELSEN et al. (1999) em área de várzea invadida por carvalho.

Não foi verificada semelhança entre as dinâmicas do nitrato no solo e na precipitação interna (figuras 21, 22 e 24), porém dentro do solo as dinâmicas são semelhantes nas duas profundidades estudadas nas três fases de sucessão.

FIGURA 26: Teores de nitrato na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

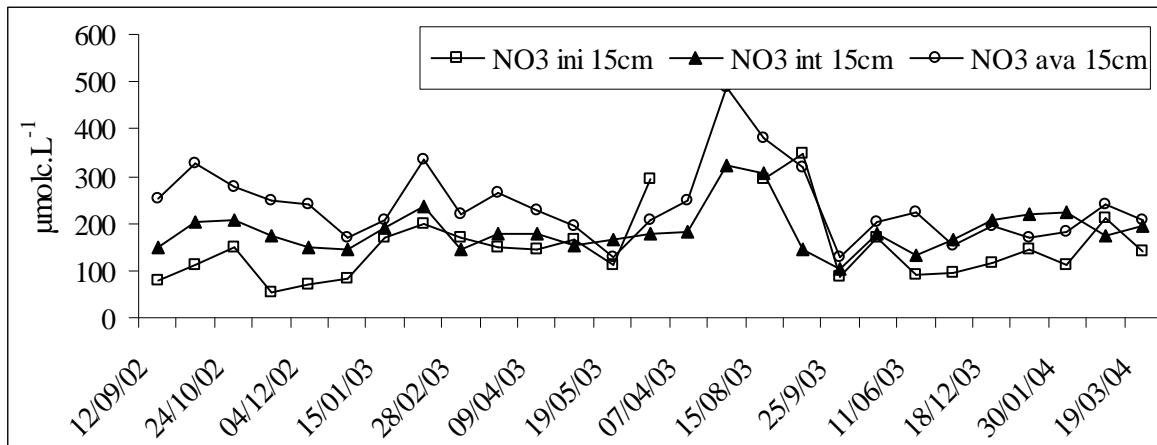


FIGURA 27: Teores de nitrato na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.

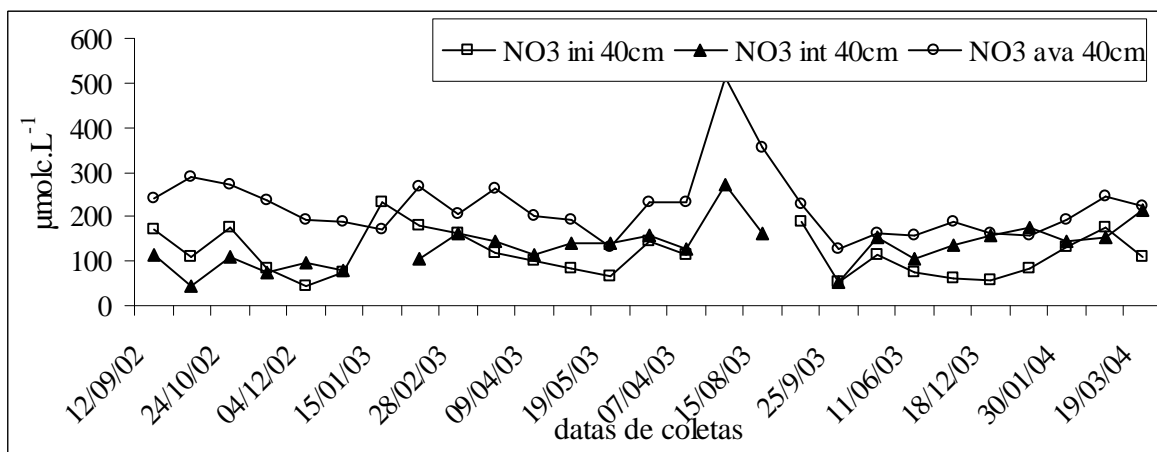


FIGURA 28: Teores de nitrato nas soluções do lençol freático das diferentes fases sucessionais, ao longo do tempo.

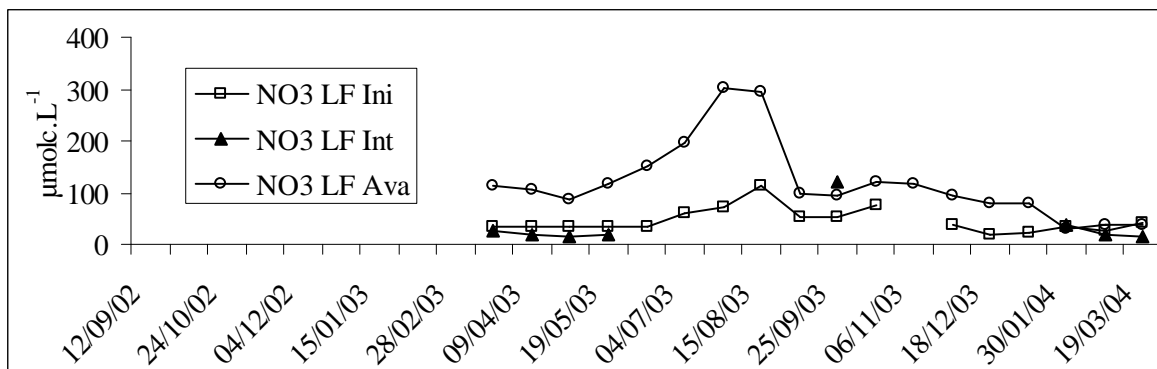
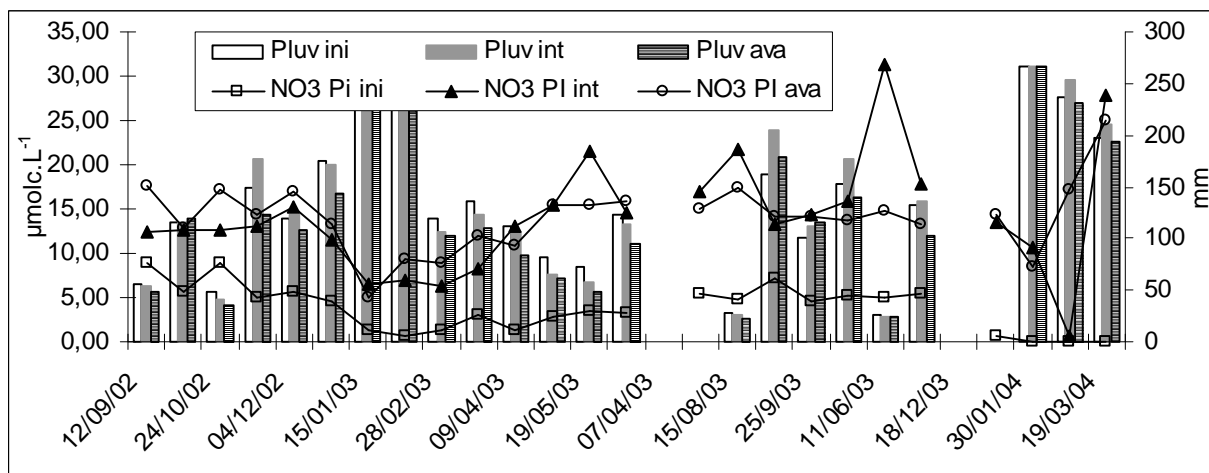


FIGURA 29: Volumes precipitados e concentrações de NO₃ na precipitação interna ao longo do tempo, nas três fases sucessionais.



5.4.7 Dinâmica do Cloreto

Apesar de abundante, este ânion apresentou poucas correlações positivas com os cátions das soluções dos solos estudados, com exceção da fase Inicial profundidade 40 cm com o Na⁺, porém as correlações não chegaram a ser significativas ao nível de 5%; e na fase Intermediária a correlação é positiva, também à 40 cm em relação ao Mg²⁺. Foram observadas correlações positivas com o carbono orgânico total, sendo significativa somente na fase Intermediária 40 cm. Na profundidade 15 cm suas correlações negativas com o pH indicam afinidade com o H⁺, o qual pode ser o íon acompanhante do Cl⁻ próximo à superfície.

O Cl⁻ não apresenta a mesma dinâmica nas duas profundidades amostradas e também não apresenta semelhanças com a dinâmica da PI.

FIGURA 30: Teores de cloreto na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

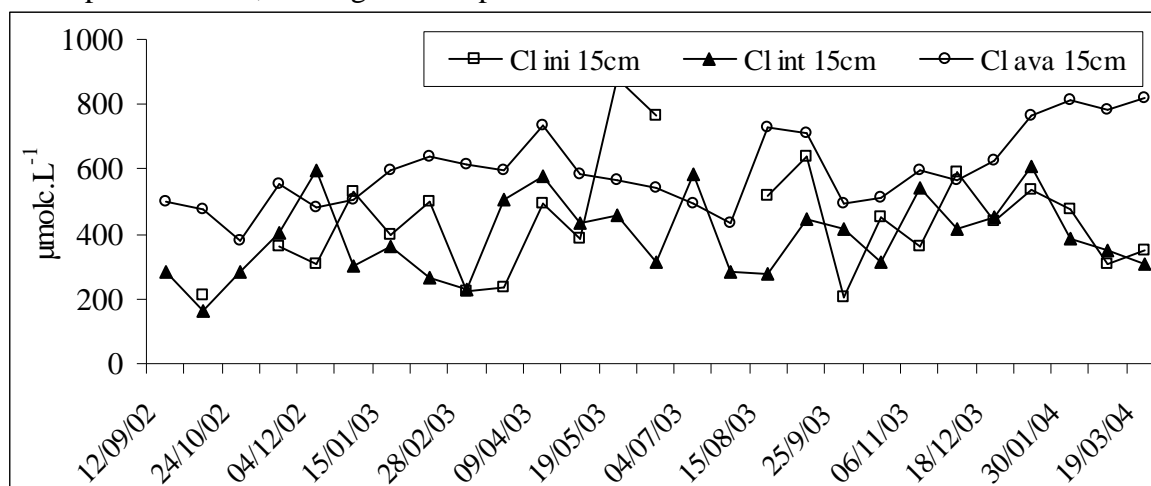
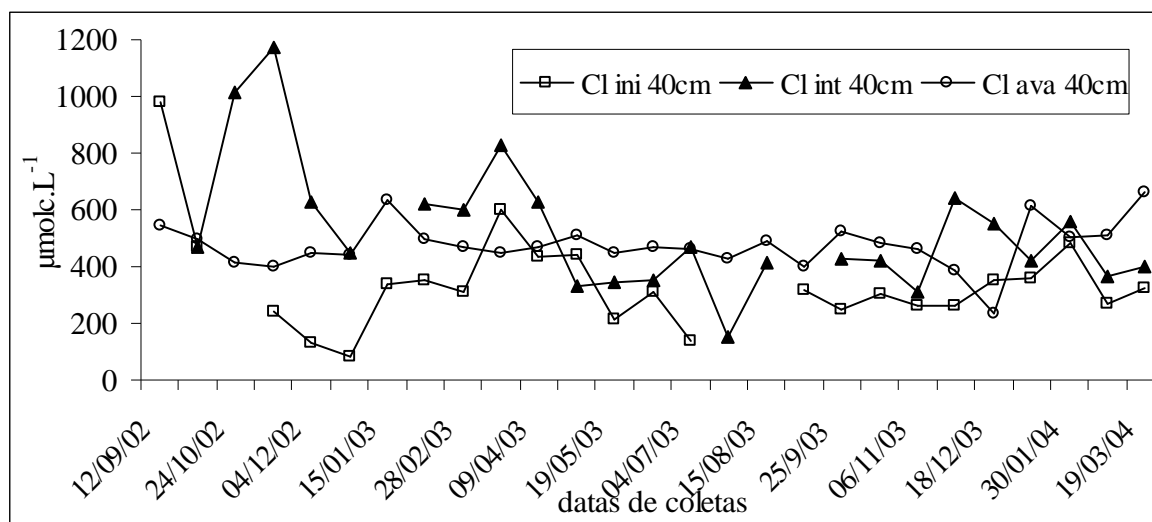


FIGURA 31: Teores de cloreto na solução do solo das diferentes fases sucessionais, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.



5.4.8 Dinâmica do Carbono Orgânico Dissolvido(TOC)

Apesar de considerado como ânion por alguns autores (LACLAU et al. 2003), o TOC mostrou boas correlações com o Cl⁻ nas três fases; na fase Inicial o TOC teve boas correlações também com NO₃ – N; na fase Intermediária o TOC teve boas correlações com os cátions na profundidade 40cm; na fase Avançada as correlações com os cátions Mg, K e Na foram negativas. Tais observações evidenciam que o carbono orgânico total apresenta comportamentos diferentes em cada fase da sucessão vegetal e também varia em relação à profundidade no solo.

FIGURA 32: Carbono orgânico total (TOC) nas soluções do solo, a 15 cm de profundidade, ao longo do tempo.

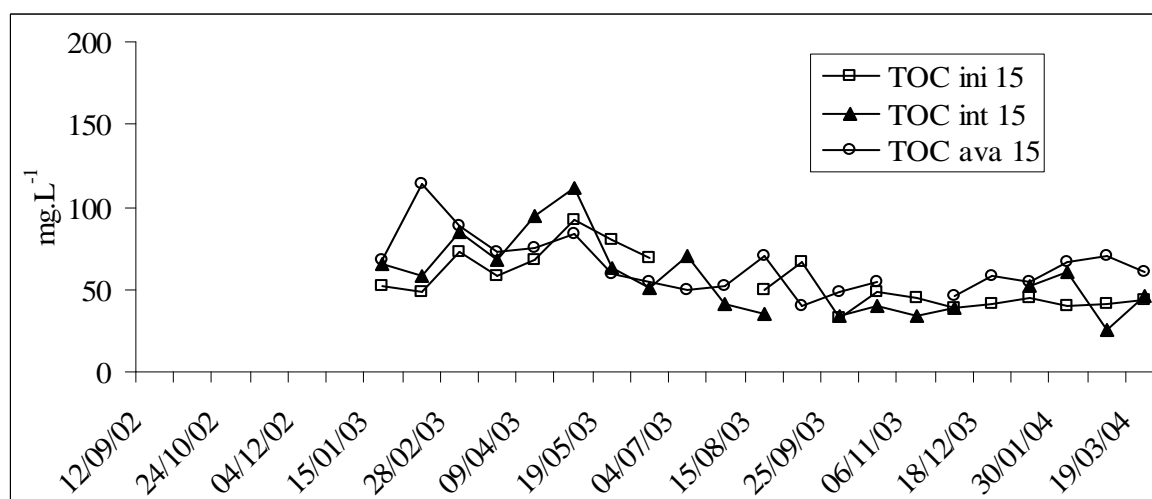
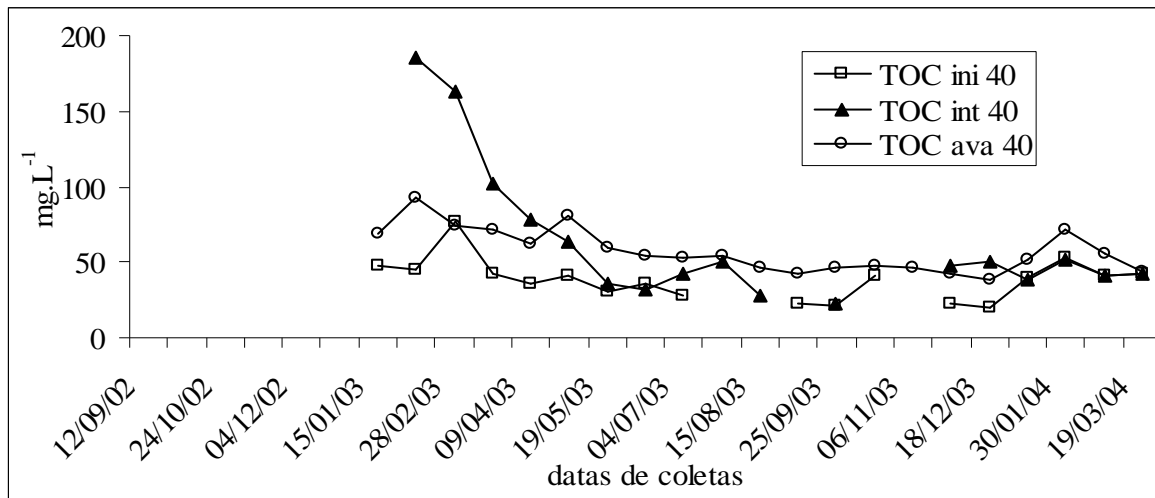


FIGURA 33: Carbono orgânico total (TOC) nas soluções do solo, a 40 cm de profundidade, ao longo do tempo.



5.5 MUDANÇAS NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA ATRAVÉS DO ECOSSISTEMA

As soluções coletadas nos diferentes compartimentos do ecossistema têm sua origem na água da chuva (precipitação livre) e sua composição sofre mudanças cada vez que esta passa por um novo compartimento em seu caminho descendente até o lençol freático. Na Figuras 34, 35 e 36 estão resumidas as mudanças ocorridas na concentração dos nutrientes nas soluções, durante sua passagem pelo ecossistema. Os gráficos foram realizados utilizando-se as médias dos parâmetros durante o período de coletas.

Nas três fases sucessionais ocorre aumento na concentração de sais da água da chuva após a interação com o dossel florestal, isto ocorre através da lavagem de materiais depositados sobre a vegetação e também da lixiviação de solutos dos tecidos vegetais, fenômeno verificado também pelos autores: ARCOVA e CICCIO, 1987; BÄUMLER et al., 1997; DANTAS 1994; HAAG, 1985; LIMA, 1986; MARQUES e RANGER, 1995; MARSCHNER, 1986; MARTINS, 1997; TUKEY, 1970.

O elemento cálcio apresentou aumento de concentração em direção ao lençol freático. Nas fases Inicial e Intermediária este aumento foi gradual entre os cinco compartimentos do ecossistema monitorados, porém na fase Avançada houve um decréscimo nas concentrações entre a precipitação interna (PI) e a solução do solo.

O magnésio apresentou aumento de concentração na transição entre a precipitação livre e precipitação interna, mantendo as concentrações durante sua descida até o lençol freático. Este comportamento foi verificado nas três fases da sucessão vegetal.

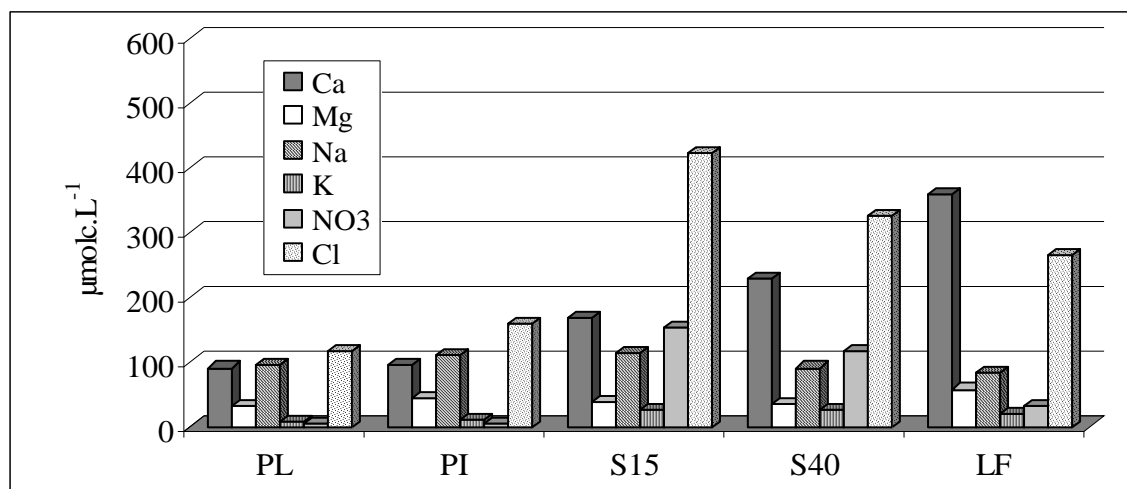
O elemento sódio apresenta aumento na precipitação interna em relação a precipitação livre, e nas fases Intermediária e Avançada apresentou também aumento de concentração na solução do solo superficial em relação a precipitação interna. As concentrações diminuem em direção ao lençol freático.

Nas três fases estudadas nota-se o enriquecimento em potássio após a precipitação passar pelas copas das árvores. Já no solo ocorrem diferentes comportamentos deste elemento conforme a fase sucessional em questão. Na fase Inicial, as concentrações se mantêm até a profundidade do lençol freático. A fase Intermediária apresenta queda nas concentrações na profundidade 15cm em relação a PI, leve aumento a 40 cm e queda no lençol freático. Na fase Avançada ocorre uma sensível queda nas concentrações deste elemento ao nível do solo com aumento nas concentrações no lençol freático.

O nitrato demonstrou um comportamento bem definido, com baixas concentrações nas precipitações livre e interna, grandes concentrações na solução do solo, com maiores médias na solução superficial. No lençol freático as concentrações diminuem acentuadamente nas fases Inicial e Intermediária, e na fase Avançada a concentração é ainda elevada indicando a grande lixiviação deste elemento nesta fase.

O íon cloreto apresenta aumentos em sua concentração até a solução do solo a 15 cm. Na fase Inicial as concentrações do Cl^- diminuem em profundidade. Na fase Intermediária ocorre aumento de concentração até 40cm e então sensível queda. Na fase Avançada nota-se diminuição nas concentrações deste elemento na profundidade 40 cm e aumento no lençol freático.

FIGURA 34: Concentração média dos parâmetros nas soluções coletadas em diferentes compartimentos da floresta, na fase Inicial da sucessão vegetal.



Onde: PL-precipitação livre; PI-precipitação interna; S15-solução do solo a 15cm profundidade; S40-solução do solo a 40cm de profundidade; LF-lençol freático.

FIGURA 35: Concentração média dos parâmetros nas soluções coletadas em diferentes compartimentos da floresta, na fase Intermediária da sucessão vegetal.

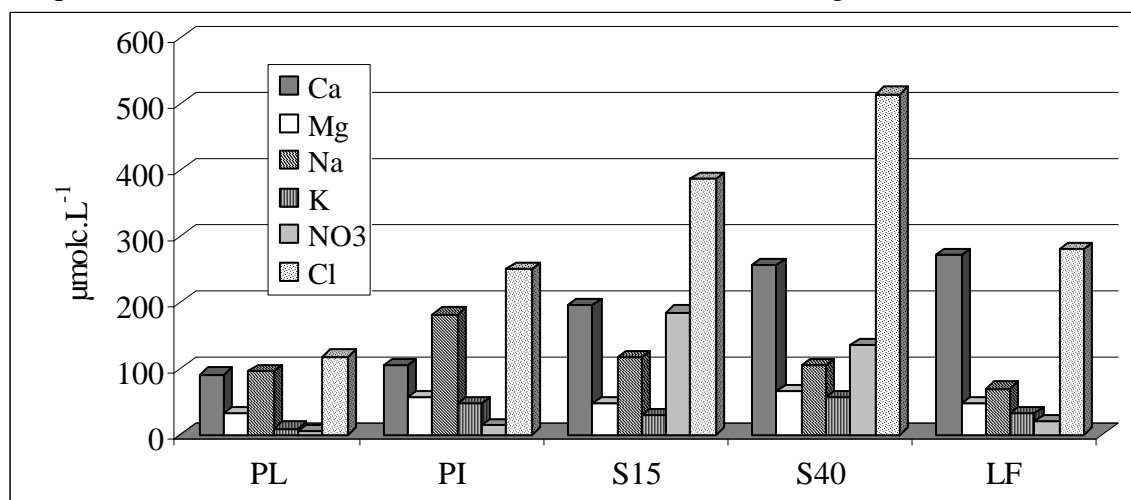
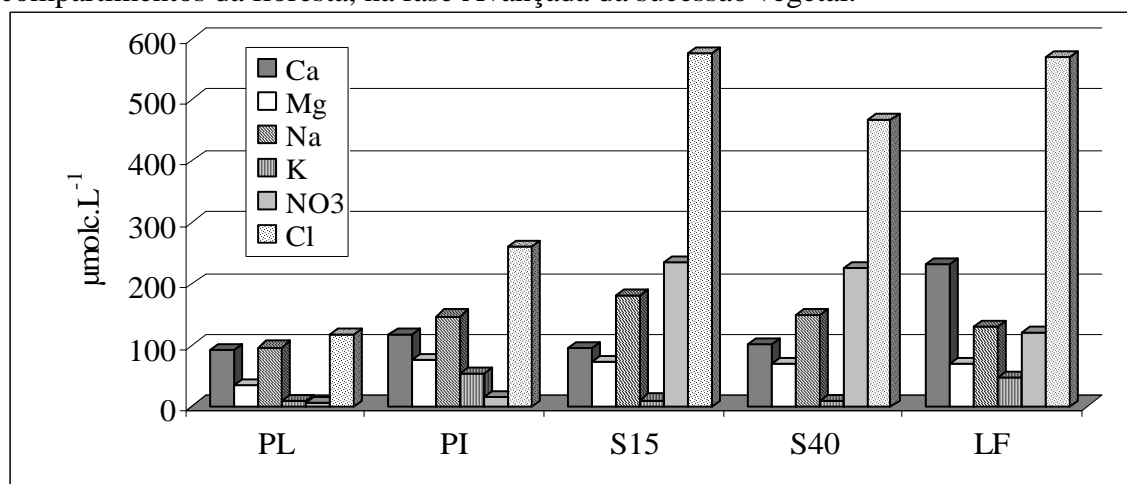


FIGURA 36: Concentração média dos parâmetros nas soluções coletadas em diferentes compartimentos da floresta, na fase Avançada da sucessão vegetal.



6 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- As dinâmicas dos elementos nas soluções do solo podem ser agrupadas em dois conjuntos diferenciados, o primeiro formado pelas fases Inicial e Intermediária, onde existe uma maior variação nas concentrações; o segundo grupo é formado pela fase Avançada, onde ocorre drenagem lenta da água que infiltra-se no solo, devido ao microrelevo onde está locada a parcela. O maior tempo de residência da água no perfil do solo exerce efeito de tamponamento das reações, não permitindo grandes variações nas concentrações dos elementos.

- Nas fases Inicial e Intermediária as soluções do solo podem ser classificadas como gravitacionais, ou seja, presentes somente após a ocorrência de chuvas.

- O comportamento dos elementos durante o período amostrado é semelhante nas duas profundidades amostradas dentro de uma mesma fase da sucessão vegetal.

- O potássio apresentou dinâmica semelhante com aquela verificada na precipitação interna, inclusive com períodos de baixas concentrações devido a maiores volumes precipitados.

- O NO_3^- -N apresentou tendência de aumento nas concentrações no inverno, supostamente devido ao decréscimo na demanda por este nutriente na estação mais fria e com menor atividade biológica, este comportamento foi também verificado no lençol freático.

- A dinâmica do Mg^{2+} foi bem definida, com maiores concentrações nas estações primavera e verão, tal comportamento pode estar ligado a deriva atmosférica, uma vez que em uma das áreas verificou-se correlação positiva entre o Mg^{2+} no solo e na precipitação interna.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O contínuo monitoramento destas soluções irá demonstrar tendências mais claras de comportamentos dos nutrientes e validar estes comportamentos aqui descritos.

- A falta das análises químicas do ânion sulfato limitou as conclusões sobre o balanço de cargas iônicas nas soluções utilizadas neste trabalho.

- A inclusão de novas áreas com vegetação em fase inicial ou intermediária de sucessão vegetal e com as mesmas características de drenagem do solo da fase Avançada utilizada neste estudo, possibilitará melhor compreensão do efeito da fase sucessional sobre a dinâmica dos elementos na solução do solo em tais condições.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R. J. **Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná**. Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar do Instituto de Geociências da U.S.P. São Paulo, 1992. 334p.

ARCOVA, F.C.S. e CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do mar – Núcleo Cunha /SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**. São Paulo, v.41, n.1, p. 37-58, 1987.

AVILA, A., BONILLA, D., RODÀ, F., PIÑOL, J., NEAL, C. Soilwater chemistry in a holm oak (*Quercus ilex*) forest: inferences on biogeochemical processes for a montane-Mediterranean area. **Journal of Hydrology** . v. 166, p. 15-35. 1995.

BÄUMLER, R., ZECH, W. Atmospheric deposition and impact of forest thinning on the throughfall of mountain forest ecosystems in the Bavarian Alps. **Forest Ecology and Management**. v. 95,p. 243-251, 1997.

BÄUMLER, R., ZECH, W. Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian Alps. **Forest Ecology and Management**. v. 108,p. 231-238, 1998.

BIGARELLA, J.J. **A serra do mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Secretaria de estado e Planejamento do estado do Paraná. Curitiba, 248 p. 1978.

BOEGER, M. R. T. **Morfologia foliar e aspectos nutricionais de espécies arbóreas em três estádios sucessionais, de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Paranaguá, PR**. Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2000. 150p.

BOEGER, M. R. T., WISNIEWSKI, C., REISSMANN, C.B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasileira**. v. 19, n. 1, p. 167-181. 2005.

BLUM, W.E.H. Ecosistemas florestais, ciclo dos bioelementos. **Floresta**. Curitiba. v.9, n.1, p. 39-50, 1978.

BRAY, J. R. e GORHAM, E. Litter production in forests of the world. **Advances in Ecological Research**. v. 2, p. 101-57, 1964.

BRITZ, R. M. **Ciclagem de nutrientes minerais em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1994. 240p.

CONAMA, Resolução Nº 2, de 18 de março de 1994. Disponível no site: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res94/res0294.html>

DANTAS, S. V. Precipitação e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Floresta e Ambiente**. v.1, 1994.

DE VRIES, W., REINDS, G.J., VEL, E. Intensive monitoring of Forest ecosystems in Europe 2: Atmospheric deposition and its impacts on soil solution chemistry. **Forest Ecology and Management**. v. 174,p. 97-115. 2003.

DE VRIES, W., VAN GRINSVEN, J.J.M., VAN BREEMEN, N., LEETERS, E.E.J.M., JANSEN, P.C. Impacts of acid deposition on concentrations and fluxes of solutes in acid sandy forest soils in the Netherlands. **Geoderma**. v. 67,p. 17-43, 1995.

DELITTI, W.B.C. Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares, In : BARBOSA, L. M. (coord) **Simpósio sobre mata ciliar**. Fundação Cargil, São Paulo. p. 88-98. 1989.

DELITTI, W.B.C. Estudos de ciclagem de nutrientes para a análise funcional de ecossistemas terrestres. In: SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E MANEJO DE ECOSSISTEMAS, 1993. Rio de Janeiro. **Anais**. Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DICKOW, K. M. C. **Influência estacional e sucessional na lixiviação de nutrientes de serapilheira de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas.** Curitiba, 2000, 50p. Monografia apresentada ao Programa especial de Treinamento do Curso de engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos** – Brasília. Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p, 1999.

FORTI, M.C., NEAL, C. Spatial variability of throughfall chemistry in a tropical rainforest (Central Amazonia, Brazil). **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 120, p. 245-259. 1992.

FREESE, F. **Metodos estadisticos elementales para tecnicos forestales** – Valencia. Centro regional de ayuda tecnica, Agencia para el desarrollo internacional (AID) México/Buenos Aires, 102p, 1970.

GALVÃO, F., KUNIOSHI, Y.S., VICENTINI, A.; PORTES, M.C.G.O. Avaliação da deposição de serapilheira em diferentes fases serais de Floresta Ombrófila Mista. In: **V Congresso e Exposição Internacional sobre Floresta.** Curitiba, 1999. Bio1068, 1 CD ROOM.

GAMA-RODRIGUES, A. C., BARROS, N. F. e MENDONÇA, E. S. Alterações edáficas sob plantios puro e misto de espécies florestais nativas do Sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v.23, n.3, p. 581-592, 1999.

GOLLEY, F.B., MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I. e DUEVER, M. J. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida.** São Paulo: E. P. U. EDUSP, 256p, 1978.

GROSSMANN, J., UDLUFT, P. The Extraction of Soil Water by the Suction Cup Method: A Review. **Journal of Soil Science.** v.42, p. 83-93, 1991.

HAAG, P. H. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.** Campinas, Fundação

Cargil, 144p,1985.

HAY, J. D.; LACERDA. L. D. Ciclagem de nutrientes no ecossistema de restinga. In: LACERDA, L. D. *et al.* (orgs) **Restingas: Origem, Estrutura e Processos**. Niteroi, CEUFF, p. 459-475, 1984.

HENDERSHOT, W.H., COURCHESNE, F. Comparison of soil solution chemistry in zero tension and ceramic cup tension lysimeters. **Journal of Soil Science**. v.42, p. 577-583, 1991.

IAPAR – INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 41p, 1978.

IBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro, 92p, 1992.

JACKSON, J. F. Seasonality of flowering and leaf-fall in a Brazilian subtropical lower montane moist forest. **Biotropica**. v.1, n.10, p. 38-42, 1978.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems**. New York, John Wile, 190p, 1985.

JONHSON, D.W., HANSON, P.J., TODD Jr, D.E. The Effects of Throughfall Manipulation on Soil Leaching in a Deciduous Forest. **Journal of Environmental Quality**. v.31, p. 204-216, 2002.

LACLAU, J.P., RANGER, J., NZILA, J.P., DELEPORTE, P. Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo. 2. Chemical composition of soil solutions. **Forest Ecology and Management**. v. 180, p. 527-544, 2003.

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Geografia do Brasil: Região Sul. V.2. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.P.141-142, 1990.

LEITE, P. F. **As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil: proposta de classificação.** Curitiba, 1994. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LILIENFEIN, J., WILCKE, W., AYARZA, M.A., VILELA, L., LIMA, S.C., ZECH, W. Soil acidification in *Pinnus caribaea* on Brazilian savanna Oxisols. **Forest Ecology and Management.** v. 128, p. 145-157, 2000.

LIMA, W. P. Entrada de nutrientes pela chuva e pela lixiviação das copas em florestas homogêneas de pinheiros tropicais e em vegetação natural de cerrado. **Acta Limnologica, Brasileira.** v. I, 1986, p: 503-525.

LORD, E.I., SHEPHERD, M. A. Developments in the use of porous ceramic cups for measuring nitrate leaching. **Journal of Soil Science.** v.44, p. 435-449, 1993.

MAACK, R. **Geografia Física do estado do Paraná,** 2^a ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981, 450p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas,** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1980, p: 91-93.

MARQUES, R.; RANGER, J. **Dynamique du fonctionnement minéral d'une plantation de Douglas fir (*Pseudotsuga menziessi* (Mirb) Franco) dans les Monts du Beaujolais (France).** Nancy, ENGREF-INRA. Thèse de Doctorat, 240p, 1995.

MARQUES, R., RANGER, J., GELHAYIE, D., POLLIER, B., PONETTE, Q., GOEDERT, O. Comparison of Chemical composition of soil solutions collected by zero tension plate lysimeters with those from ceramic cup lysimeters in a forest soil. **European Journal of Soil Science.** v.47, p. 407-417. 1996.

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

MARTINS, A. R. A. **Ciclagem hidrológica química: Precipitação incidente, precipitação sob dossel e solução do solo, em área de floresta, em Benevides/PA.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias do Para. Belém, Brasil. 1997.

MCDOWELL, W. H. Internal nutrient fluxes in a Puerto Rican rainforest . **Journal of Tropical Ecology.** v. 14,p. 521-536. 1998.

MENGEL. K. e KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition.** Bema: International Potash Institute. 687 p. 1987.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 3 abr. 2006.

MOLCHANOV, A. A. **Hidrologia Florestal.** Lisboa: Fundação Calouste Gunbenkian. 420p, 1963.

MONTAGNINI, F., HAINES, B., SWANK, W. T. Soil solution chemistry in black locust, pine hardwoods and oak hickory forest stands in the southern Appalachians. **Forest Ecology and Management.** v. 40, p. 199-208. 1991.

MORAES, R. M. **Ciclagem de nutrientes minerais em mata atlântica de encosta e mata sobre restinga, na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP : produção de serapilheira e transferência de nutrientes.** Dissertação apresentada ao programa de Mestrado em ecologia Geral do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. 1993. 151p.

MURPHI, J., RILEY, J.P. A Modified Single Solution Method For the Determination of Phosphate in Natural Waters. **Anal. Chim. Acta.** 31-36p, 1962.

NIELSEN, P., LADEKARL, U.L., NØRNBERG, P. Dynamic soil processes on heathland due to changes in vegetation to oak and Sitka spruce. **Forest Ecology and Management.** v. 144, p. 107-116, 1999.

NORMAN, R. J. e STUCKI. J. W. The Determination of Nitrate and Nitrite in Soil

Extracts by ultraviolet Spectrophotometry. **Soil Science Society American Journal**. v. 45, p. 347-353. 1981.

NØRNBERG, P., SLOTH, L., NIELSEN, K.E. Rapid changes of sandy soils caused by vegetation changes. **Canadian Journal of Soil Science**. v. 73, p. 459-468. 1993.

O'CONNELL, A. M.; SANKARAN, K. V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation, In: NAMBIAR, E. K. S. ; BROWN. A. G. **Management of soil, nutrients and water in tropical forests**. ACIAR, Monograph, 1997, n 43, 571 p.

ODUM E, P. **Ecologia**. Rio de Janeiro. Editora Guanabara, 1988, 434 p.

PINTO, C. B. **Contribuição de Espécies Arbóreas para a ciclagem de nutrientes em sucessão vegetal na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas**. Curitiba, 2001, 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná.

PINTO, C. B., MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Revista Floresta**. v. 33, n. 3, p. 257-264. 2003.

POGGIANI, F. Alterações dos ciclos biogeoquímicos em florestas, In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 2, São Paulo. **Revista do Instituto florestal**. São Paulo. 1992, 4:734-739.

PORTES, M.C.G.O. **Deposição de serapilheira e decomposição foliar em Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Morro do Anhagava, Serra da Baitaca, Quatro Barras/PR**. Curitiba, 2000, 90f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná.

POSS, R., NOBLE, A. D., DUNIN, F. X., REYENGA, W . Evaluation of ceramic cup samplers to measure nitrate leaching in the field. **European Journal of Soil Science**. v. 46, p. 667-674. 1995.

RACHWAL, M.F.G.; CURCIO, G.R. Principais tipos de solos do Estado do Paraná, suas características e distribuição na paisagem. In: **A vegetação natural do estado do Paraná**. IPARDES, 1994. 5 p.

RANGER. J., MARQUES, R., COLIN-BELGRAND, M. Nutrient dynamics in the development of a Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) stand. **Acta Ecologica**, v. 18(2), p. 73-90. 1997.

RANGER. J., MARQUES, R, JUSSY, J.H. Forest soil dynamics during stand development assessed by lysimeter and centrifuge solutions. **Forest Ecology and Management**. v. 144, p. 129-145. 2001.

RANGER, J., TURPAULT, M. Input-output nutrient budgets as a diagnostic tool for sustainable Forest management. **Forest Ecology and Management**. v. 122, p. 139-134. 1999.

REBELO, C. F.; MORAES R. M.; VARJABEDIAN, R.; DE VUONO, Y. S.; DELITTI, W. B. C. Dados preliminares sobre a ciclagem de nutrientes na mata da restinga do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, S. P. In: SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E MANEJO DE ECOSSISTEMAS. **Resumos...** Rio de Janeiro, 1992, 98p.

REISSMANN, C. B. e WISNIEWSKI, C. Micronutrientes e Al depositados com a serapilheira de *Araucaria angustifolia* em função do sítio. I CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, VII CCONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO. **Anais...** Curitiba, 1993, p: 449 – 451.

REISSMANN, C. B.; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. Análise química do húmus em povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert) O. Ktze. **Silvicultura em São Paulo**. 1982, 16 A (1): 575-578.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G.; KIRCHNER, F. F. **Levantamento da vegetação da área de proteção ambiental de**

Guaratuba – APA Guaratuba. Curitiba: UFPR – Departamento de Silvicultura e Manejo, 1997. 78 p. Relatório técnico.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência e Ambiente.** n. 24, p. 75-92, 2002.

ROBERTSON, S. M. C., HORNING, M., KENNEDY, V. H. Water chemistry of throughfall and soil water under four tree species at Gisburn, northwest England, before and after felling. **Forest Ecology and Management.** v. 129, p. 101-117. 2000.

SANTOS FILHO, A. , E TOURINHO, L.C.M. Podzol hidromórfico da faixa litorânea paranaense. **Revista do Setor de Ciências Agrárias,** Curitiba, v. 5, p95-97. 1983.

SILVA, E.F.F., ANTI, G.R., CARMELLO, Q.A.C., DUARTE, S.N. Extratores de cápsulas porosas para o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agricola.** v. 57, n. 4, p. 785-789, 2000.

SINGH, J. S. e GUPTA, S. R Plant decomposition and soil respiration on terrestrial ecosystems. **Botanical Review.** New York, 1977, v. 43, n. 4, p. 449-528.

SMETHURST, P.J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management.** v. 138, p. 397-411, 2000.

SMETHURST, P.J., HERBERT, A.M., BALLARD, L.M. A paste method for estimating of ammonium, nitrate and phosphate in soil solution. **Australian Journal of Soil Research.** v. 35, p. 209-225. 1997.

SPANGENBERG, A., CECCHINI, G., LAMERSDORF, N. Analyzing the performance of a micro soil solution sampling device in a laboratory examination and a field experiment. **Plant and Soil.** v. 196, p. 59-70. 1997.

SPURR, S. H. e BARNES. V. B. **Ecologia Florestal.** México: A.G.T. Editor S.A.1982.

SWITZER, G. L. e NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems, The first 20 years. **Soil Science Society of America**

Proceedings. Madison, 1972, 36: 143 – 147.

SUGUIO, K., MARTIN, L. Geomorfologia das restingas, In: II SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA, Águas de Lindóia. **Anais.** São Paulo: aciesp n. 71, v.3, p.185-206.1990.

TOKUCHI, N., TAKEDA, H., IWATSUBO, G. Vertical changes in soil solution chemistry in soil profiles under coniferous Forest. **Geoderma.** v. 59, p. 57-73. 1993.

TUKEY JR., H. B. The leaching of substances from plants. **Annual Review of Plant Physiology.** v. 21, p. 305-329. 1970.

VITOUSEK, P. M. Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests. **Ecology.** n. 1, v. 65, p. 285 – 298. 1984.

VITOUSEK, P. M.; SANFOURD JR., R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual Review of Ecology and Systematics.** v. 17, p.137 – 167. 1986.

WATMOUGH, S.A., DILLON, P.J. Major element fluxes from a coniferous catchment in central Ontario, 1983-1999. **Biogeochemistry.** v. 67, p. 369-398. 2004.

WHELPDALE, D.M. **Scope 48 - Sulphur cycling on the continents.** Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Canada, 1989. Disponível no site: <http://www.icsu-scope.org/downloadpubs/scope48/chapter02.html#t2.1>

WISNIEWSKI, C. **Variação estacional da deposição de serapilheira e de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa – PR.** Curitiba, 1989, 148 f. Tese de Doutorado em Ciências florestais – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

WISNIEWSKI, C. (coord.) **Caracterização do ecossistema e estudo das relações solo - cobertura vegetal em planície pleistocênica do litoral paranaense.** Projeto Integrado – CNPq, Curitiba, 1997, 55p.