
PRODUÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS
HIDROGRÁFICAS CONTENDO DIFERENTES
COBERTURAS VEGETAIS NA REGIÃO
DE AGUDOS, SÃO PAULO

FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

PIRACICABA
Estado de São Paulo
1989

87
PRODUÇÃO E QUALIDADE DA AGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS CONTENDO
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA REGIAO DE AGUDOS, SAO PAULO.

m.c. 9618
n.ob. 9618

FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA

Engenheiro Florestal

Orientador : Prof Dr WALTER DE PAULA LIMA

Dissertação apresentada à
Escola Superior de
Agricultura Luiz de
Queiroz, da Universidade
de São Paulo, para
obtenção do título de
Mestre em Ciências
Florestais.

Dissertação
634.92
U48
ex:01

PIRACICABA
Estado de São Paulo-Brasil
Setembro, 1989

UNIVERSIDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ
BIBLIOTECA

Biblioteca



00240019

17818

UNIVERSIDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DO PARÁ

Universidade Federal Rural da Amazônia
BIBLIOTECA

N° _____ 02/03/2014

00240019

048p

Oliveira, Francisco de Assis

Produção e qualidade da água em bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas vegetais na região de Agudos, São Paulo. Piracicaba, 1989.

82p. ilus.

Diss. (Mestre) - ESALQ

Bibliografia

1. Água fluvial - Produção - Agudos, SP
2. Água fluvial - Qualidade - Agudos, SP
3. Bacias hidrográficas - Vegetação - Agudos, SP
4. Ciclo de nutriente - Agudos - SP
5. Hidrologia Florestal I. Escola Superior Luiz de Queiroz.

CDD 634.9224

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA E BACIAS HIDROGRÁFICA CONTENDO
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA REGIÃO DE AGUDOS
SÃO PAULO

FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA

Aprovada em: 13.10.1989

Comissão julgadora:

Prof.Dr.Walter de Paulo Lima	ESALQ/USP
Prof. Dr. Fábio Pogianni	ESALQ/USP
Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi	ESALQ/USP

Prof.Dr. WALTER DE PAULA LIMA
Orientador

A meu querido pai
JOSE GALDINO DE OLIVEIRA
minha,

HOMENAGEM (in memoriam)

A minha mãe ,
com admiração e respeito.
A meus irmãos e irmãs,
com gratidão e carinho.
A minha esposa Indiara e
filha Carolina pelo
amor, dedicação, compreensão
incentivos constantes.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor WALTER DE PAULA LIMA, pela orientação, amizade e estímulo na condução desta pesquisa.

A Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, pela liberação e apoio financeiro durante a realização do programa de treinamento.

Ao Departamneto de Ciências Florestais e Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, pelas facilidades concedidas para a realização desta pesquisa.

A Companhia Agroflorestal Monte Alegre, CAFMA, nas pessoas de seus diretores Engenheiros Florestais Francisco Bertolani e Norival Nicolielo, pela cessão das áreas experimentais, e pelo apoio material e de recursos humanos, representado pelo trabalho eficiente do Engenheiro Florestal José Migliorini e Técnico Agrícola João Batista da Silva.

Aos professores Hilton Tadeu Zarate do Couto, Décio Barbin, Antonio Natal Gonçalves, Paulo Yoshio Kageyama e Fábio Pogianni, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, pela valiosa colaboração.

Aos professores Luiz Gonzaga da Silva Costa, Antonio Luna de Holanda, José Wanderley Mascarenhas, Paulo

Cézar da Siva Vasconcelos e Selma Toyoko Ohashi, Alcir Tadeu de Oliveira Brandão e Aliete Villacorta de Barros, do Departamento de Ciências Florestais (FCAP), pelo estímulo e apoio inestimáveis.

Ao Engenheiro Agrônomo Alceu Jonas Faria, do Instituto Florestal de São Paulo, pelo auxílio na leitura computadorizada das cartas fluviométricas do projeto.

Ao Engenheiro Florestal Maurício Ranzini, pelo inestimável apoio geral ao projeto, e na execução das atividades de campo.

A Isabel Cristina Gava, pela condução exemplar do programa de análises laboratoriais desta pesquisa; ao senhor Antonio Leopoldino Oliveira, do IPEF, pelo cuidadoso trabalho de transporte da equipe de pesquisa por inúmeras vezes durante o andamento do projeto.

A bibliotecária Marialice Metzker Pcgiani, pelo valioso apoio durante nosso período de estudos; a Magali Aparecida Oliveira e ao Flávio Salgueiro, pela gentileza no atendimento de nossa necessidade de informação bibliográfica e pela preparação de material gráfico, respectivamente.

A minha esposa Indiara, pelo inestimável apoio e incentivo para a realização deste trabalho, além do zelo e cuidado na datilografia do manuscrito.

SUMARIO

Página

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1. Manejo de vegetação e produção de água em bacias hidrográficas.....	5
2.2. Qualidade da água e fluxo de nutrientes em bacias hidrográficas.....	7
2.2.1. A água da chuva	7
2.2.2. Água do deflúvio	10
2.3. Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em bacias hidrográficas.....	15
3. MATERIAL E METODOS	25
3.1. Área experimental.....	25
3.2. Clima	32
3.3. Geologia.....	34
3.4. Geomorfologia.....	35
3.5. Solos.....	36
3.6. Pluviometria, fluviometria, parâmetros físicos, químicos e fluxo de nutrientes.....	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56

4.1.Regime hidrológico e a produção de água.....	56
4.2.Qualidade da água e fluxo de nutri entes.....	61
5. CONCLUSÕES	74
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE FIGURAS

N ^o		Página
1	Localização das áreas experimentais no Município de Agudos, São Paulo.	25
2	Distribuição da cobertura vegetal e uso da terra na bacia Canivete, mostrando as plantações de Pinus, Eucalyptus cultura de café e de pastagem.	26
3	Vista parcial da bacia Canivete, com detalhes da cobertura vegetal. No primeiro plano, tem-se o vertedor e a exuberante vegetação aquática e ribeirinha; no segundo plano observa-se a área de pastagem e o reflorestamento com Pinus. (Foto: M. RANZINI)	27
4	Curva hipsométrica da bacia Canivete com altitudes mínima, máxima, média e mediana.	28
5	Distribuição da cobertura vegetal e uso da terra na bacia Limeira, mostrando os domínios do reflorestamento com Pinus	29
6	Vista parcial da cobertura vegetal da bacia Limeira, mostrando a vegetação herbácea e arbustiva sob povoamento de pinheiros tropicais Pinus sp (Foto: M. RANZINI)	30
7	Curva hipsométrica da bacia Limeira, altitudes mínima, máxima, média e mediana.	31
8	Localização das áreas de cultivo da cana-de-açúcar em relação as áreas experimentais e direção predominante dos ventos durante o ano.	32
9	Balanco hídrico segundo THORNTON & MATHER (1955) para o município de Agudos, São Paulo, com dados termoplúviométricos de 36 anos.	34
10	Secção geológica do Estado de São Paulo e localização da área de estudo no cretáceo superior (POÇANO et alii, 1981)	35
11	Distribuição do grupo Bauru, Formação Adamantina, Itaqueri e correlatos no Estado de São Paulo (POÇANO et alii, 1981)	36

12	Mapa plani-altimétrico das bacias Limeira e Canivete.	37
13	Balanço hídrico mensal segundo THORNTWAITE & MATHER(1955) das bacias Canivete e Limeira.....	60

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Dados de área(ha), orientação, fator de forma(Kf), coeficiente de compacidade(Kc), densidade de drenagem(Dd), declividade média(Dm) e altura média(Hm) das bacias Canivete e Limeira.....	28
2 Características físicas e químicas nos horizontes de Latossolo Vermelho-Escuro alíco situado no topo da encosta na bacia Canivete.....	41
3 Características físicas e químicas nos horizontes de Latossolo Vermelho-Escuro alíco, situado no topo da encosta na bacia Canivete.....	42
4 Características físicas e químicas nos horizontes do Latossolo Vermelho-Escuro alíco, situado no terço médio de encosta da bacia Limeira.	46
5 Características físicas e químicas nos horizontes do Latossolo Vermelho-Escuro alíco situado no terço médio da encosta na bacia Canivete	47
6 Características físicas e químicas nos horizontes do Podzólico Vermelho-Escuro alíco, situado no terço inferior da encosta da bacia Limeira.....	51
7 Características físicas e químicas nos horizontes do Podzólico Vermelho-Amarelo, textura argilosa, situado no terço inferior de encosta da bacia Canivete.....	52
8 Precipitação e deflúvio nas bacias experimentais durante o período de fevereiro de 1983 a janeiro de 1984.	58
9 Precipitação e deflúvio nas bacias experimentais durante o período de fevereiro de 1984 a janeiro de 1985.....	59
10 Valores médios mensais da concentração de NO ₃ ⁻ , K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ e Fe ⁺⁺ da água da chuva(P), e na água do deflúvio(Q) das bacias Limeira(L) e Canivete(C)...	64

11	Valores médios mensais dos parâmetros físicos de qualidade de água da chuva(P) e de deflúvio(Q) nas bacias experimentais Limeira(L) e Canivete(C)....	65
12	Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, dos parâmetros químicos da água de precipitação e deflúvio das bacias hidrográficas Canivete e Limeira.....	66
13	Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dos parâmetros químicos da água de precipitação e deflúvio das bacias Canivete e Limeira.	67
14	Principais equações de regressão para parâmetros físicos e concentração de nutrientes obtidos com os 54 valores semanais durante o período de medição do deflúvio das bacias Canivete(C) e Limeira(L).....	68
15	Valores médios mensais do fluxo de nutrientes em Kg/ha, na água da chuva(P) e na água do deflúvio(Q) das bacias Canivete(C) e Limeira(L).....	70
16	Entrada média anual de nutrientes pela precipitação(P), saída média anual via deflúvio(Q) e respectivo balanço médio anual para as bacias experimentais(P-Q) em Kg/ha ano, para o período de fevereiro de 1983 a janeiro de 1985.....	71

PRODUÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS CONTENDO DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NA REGIÃO DE AGUDOS, SÃO PAULO.

Autor: FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA
Orientador: Prof.Dr. WALTER DE PAULA LIMA

RESUMO

Este estudo foi conduzido durante dois anos em duas bacias hidrográficas localizadas no Estado de São Paulo e pertencente à Companhia Agroflorestral Monte Alegre. O clima da região é Cwa de Köppen, com uma média anual de precipitação de 1300 mm e de temperatura de 21 °C. A bacia Canivete possui uma área de 163,7 ha, 81,3% da qual coberta com pinheiros tropicais, 16% de pastagem, 1,9% com folhosas do gênero Eucalyptus e 0,8% com cultivo de Coffea sp. Esta bacia, de 1ª ordem, possui somente um canal com cerca de 200 m e baixa densidade de drenagem 0,001 Km²/Km. A bacia Limeira de 2ª ordem, possui uma área de 370 ha, totalmente reflorestada com pinheiros. O canal principal, tem aproximadamente 2400 m de extensão e a densidade de drenagem é de 1,08 Km²/Km. A produção de água nas bacias experimentais foi altamente influenciada pelo regime pluviométrico regional. A concentração de NO₃⁻ na água da chuva foi a maior, seguida de Ca⁺⁺, K⁺ e Mg⁺⁺. Nas águas do deflúvio, a alcalinidade e o pH guardam correlação com as concentrações de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e Fe⁺⁺. As concentrações dos cátions e ânions analisados na água do deflúvio seguiram a seguinte ordem: Fe⁺⁺>Ca⁺⁺>K⁺>NO₃⁻>Mg⁺⁺ e Ca⁺⁺>Fe⁺⁺>K⁺>NO₃⁻>Mg⁺⁺, nas Bacias Canivete e Limeira, respectivamente. O balanço de nutrientes revela uma acumulação

nas bacias de acordo com os seguintes valores (Kg/ha/ano):
NO₃⁻:3,2; Ca⁺⁺:1,85; Mg⁺⁺:0,85;K⁺:2,98;Fe⁺⁺:1,64 para a bacia
Canivete e NO₃⁻:2,73; Ca⁺⁺:1,00; Mg⁺⁺:0,71; K⁺:2,72 e
Fe⁺⁺:1,64 para a bacia Limeira. As operações silviculturais
de desbastes seletivos realizadas nas plantações florestais
aparentemente não causaram alterações mensuráveis nos aspectos
quantitativos e qualitativos da água produzida pelas bacias
durante o período experimental.

WATER YIELD AND QUALITY IN TWO SMALL WATERSHEDS CONTAINING
DIFFERENT VEGETATION COVER IN AGUDOS, STATE OF SAO PAULO,
BRAZIL

Author: FRANCISCO DE ASSIS OLIVEIRA
Adviser: Prof Dr WALTER DE PAULA LIMA

SUMMARY

This study was carried out, during two years, in two small forested watershed located in the area of the Monte Alegre Agroforestry Company, CAFMA, State of São Paulo. The climate of the region is the Koppen CWa, with annual mean rainfall of 1300 mm and annual mean temperature of 21 °C. The first watershed named Canivete has an area of 163,7 ha, with pine forest corresponding to 81% of the area, followed by 16% of pasture, 1,9% of broadleaf species and 0,8% of coffee plantation. The watershed presents a first order channel and a low drainage density of 0,001 Km²/Km. The second watershed named Limeira has an area of 370 ha, and is totally covered with pine plantations. The main stream channel is of the second order and has a length of approximately 2.400 meters; the drainage density is 1,08 Km²/Km. The water yield of both experimental watersheds was highly influenced by regional pluviometric regime. The highest concentration in the studied nutrients in rainwater was for NO₃⁻, followed by Ca⁺⁺, Fe⁺⁺, K⁺ and Mg⁺⁺. In streamwaters, the alkalinity and pH values were correlated with the concentrations of Ca⁺⁺, Mg⁺⁺; and Fe⁺⁺. The Canivete and Limeira streamwater concentrations showed the following values, respectively: Fe⁺⁺>Ca⁺⁺>K⁺> NO₃⁻

>Mg⁺⁺ and Ca⁺⁺>Fe⁺⁺>K⁺>NO₃⁻>Mg⁺⁺. The nutrient budget for the Canivete Watershed showed an accumulation in Kg/ha/ano: NO₃⁻: 3,2; Ca⁺⁺: 1,85; Mg⁺⁺: 0,85; K⁺: 2,98 and Fe⁺⁺: 1,64 for Canivete watershed, and NO₃⁻: 2,73; Ca⁺⁺: 1,00; Mg⁺⁺: 0,71; K⁺: 2,72 and Fe⁺⁺: 1,64; for the Limeira Watershed the values in Kg/ha/ano were: NO₃⁻: 2,73; Ca⁺⁺: 1,85; Mg⁺⁺: 0,85; K⁺: 2,73; and Fe⁺⁺: 1,64. Silvicultural operations of selective thinning carried out in the pine plantations during the studied period did not cause apparently any measurable alteration in the qualitative and quantitative studied aspects of the water yielded by the watersheds.

quais permitem utilizá-las para avaliar os efeitos ambientais do uso da terra.

Os rios que drenam uma região apresentam suas características físico-químicas próprias, que em parte, refletem as atividades de uso do solo nas áreas a montante (CASTRO, 1980 e CUMMINS, 1974).

A silvicultura intensiva destaca-se como atividade crescente, devido ao expressivo horizonte de demanda de produtos florestais no mundo, o que explica a expansão das terras a serem cobertas por florestas implantadas. Associados à silvicultura intensiva estão os problemas ligados ao equilíbrio e a produtividade do meio, o que deve estar diretamente relacionado aos interesses da empresa florestal moderna.

Indubitavelmente, a busca de soluções deve ser, necessariamente, dependente dos resultados da pesquisa científica. Um sistema ecológico tem um detalhado balanço de matéria e energia. Em razão da falta de informações precisas acerca dessas relações, assim como das funções internas que mantêm a estabilidade do ecossistema, é frequentemente difícil avaliar o impacto das atividades humanas na biosfera (LIKENS et alii, 1977).

A técnica dos estudos ecológicos em pequenas bacias hidrográficas constitui-se em instrumento muito útil

para gerar informações que efetivamente contribuam para o entendimento do ecossistema e, portanto, para a elaboração de normas de manejo que possibilitem a manutenção da produtividade (SWANK & WAIDE, 1980).

Segundo LIKENS et alii (1977), as atividades são de modo geral, realizadas com uma percepção inadequada dos efeitos sobre o suprimento de água a nível regional, a vida silvestre, recreação e os valores estéticos.

Desta forma, a implantação de estudos do ciclo hidrológico e de nutrientes em bacias hidrográficas experimentais reveste-se de importância particular para a silvicultura intensiva de plantações florestais (BORMANN & LIKENS, 1967 e HEWLETT, LULL & REINHART, 1969).

O presente estudo objetivou obter informações sobre alguns aspectos quantitativos e qualitativos do ciclo hidrológico em duas bacias hidrográficas situadas em área da Companhia Agroflorestal Monte Alegre, CAFMA, na região de Agudos, Estado de São Paulo envolvendo os seguintes aspectos:

- a) estimativa da produção de água das bacias;
- b) caracterização das propriedades físico-químicas da água da precipitação e do deflúvio;
- c) verificação de diferenças hidrológicas

qualitativas e quantitativas entre as duas bacias hidrográficas;

d) estimativa do balanço de nutrientes para cada bacia hidrográfica com base na entrada e saída de ions via precipitação e deflúvio, respectivamente.

na produção de água nas conversões de ecossistemas florestais para ecossistemas de gramíneas. No caso das bacias experimentais de San Dimas, no sudeste da Califórnia, E.U.A., os aumentos no deflúvio foram obtidos dependendo das condições de profundidade do solo, capacidade de armazenamento de água, distribuição anual das chuvas e o tipo de vegetação do sítio, antes e depois da conversão.

KOVNER (1956) constatou que a regeneração da floresta restabelece as condições anteriores, pelo crescimento da rebrota que utiliza o sistema radicular já estabelecido, a invasão da vegetação herbácea, que em dois ou três anos pode restabelecer a transpiração e reduzir os incrementos de produção de água.

LULL & REINHART (1967), estudando as diferenças de produção de água em bacias hidrográficas experimentais de Fernow, West Virginia, e Coweeta, Carolina do Norte, EUA, atribuíram-nas as diferenças nas profundidades dos solos nas duas regiões.

DOUGLASS (1983) e SWIFT et alii (1975) constataram uma redução da produção de água pela conversão de florestas de folhosas para coníferas. Esses autores atribuíram esses resultados aos fenômenos de interceptação e transpiração.

Um aspecto importante a ser considerado para o propósito de produção de água é a escolha preferencial de

espécies com sistema radicular superficial e baixa taxa de crescimento; por isso é importante a avaliação do uso de água pela vegetação (LULL & REINHART, 1967).

O reflorestamento poderá reduzir a produção de água, como mostrado por BRAKENSIEK & AKERMAN(1960), constatando que as plantações de pinheiros e pinheiros e faias, cobrindo 71% de uma bacia experimental em Coshocton, Ohio, EUA., reduziram a produção anual de água após 19 anos em 135 mm.

HIBBERT(1967) e BOSCH & HEWLETT(1982), na revisão de inúmeros resultados de bacias experimentais, elaboraram várias generalizações sobre o efeito da vegetação no deflúvio de bacias hidrográficas, como segue: a) a redução da cobertura florestal promove o incremento da produção de água; b) o estabelecimento da cobertura florestal em áreas de vegetação esparsa gera decréscimo no deflúvio; c) as repostas aos tratamentos são altamente variáveis e, para a maior parte, imprevisíveis.

2.2. Qualidade da água e fluxo de nutrientes em bacias hidrográficas

2.2.1. A água da chuva.

Para WHITEHEAD & FETH(1964), a

Qualidade da água chuva representa os efeitos combinados de todos os componentes solúveis em suspensão na atmosfera. LIKENS et alii(1977), por exemplo, admitiram que os principais cátions encontrados na precipitação podem se originar das poeiras carregas pelo vento. FELLER & SIMMINS(1979), por outro lado, observaram que a concentração dos constituintes químicos da precipitação são de natureza variável. A composição química depende da fonte e da quantidade de poluição industrial, e da direção dos ventos predominantes. Estes fatores são instáveis e, portanto, afetam a química da precipitação.

Em ambientes sob influência oceânica, GORE(1968) e EATON et alii(1973) constataram que na água do mar, o valor da relação Ca:Mg foi de 0,196 e SILVA FILHO et alii(1984), em locais próximos ao oceano, registraram resultados na ordem de 0,187. Por outro lado, em condições sob influência continental COUTINHO(1979) constatou em Emas, São Paulo, valores de 3,8. HOULTON & LESLIE(1958) e FLINN et alii(1979) constataram que o Ca^{++} substitui o Na^{+} como cátion dominante na água da chuva, a medida que se afasta do oceano. Em regiões industrializadas, a deposição de nitrato provém da liberação na atmosfera de óxidos de nitrogênio(NO_x) e pela queima de combustíveis fósseis(WOODMANSEE & WALLACH, 1979).

A riqueza em cátions na precipitação tem um relevante papel na manutenção da fertilidade natural, sobretudo nos trópicos (STARK & JORDAN, 1978; FLINN et alii, 1979 e KELMANN et alii, 1982). O fluxo de nutrientes via precipitação atmosférica representa uma importante fonte de nutrientes. O nitrato alcançou valores na ordem de 4,61 kg/ha/ano na bacia de Walker Branch, Tennessee, Estados Unidos, numa área sob influência de lançamentos de aerossóis industriais na atmosfera (SWANK & HENDERSON, 1976). No Kade, Ghana, registraram-se valores de nitrato na ordem de 2,47 kg/ha/ano (NYE, 1961) e 1,34 kg/ha/ano foram observados no nordeste da Nigéria (JONES, 1960); e na região nordeste dos EUA, o fluxo de nitrato alcançou valores na ordem de 1,43 kg/ha/ano (LIKENS et alii, 1977). KELMANN et alii (1982) constataram fluxo de nitrato variando de 0,11 a 0,40 kg/ha/ano em Honduras, não obstante a existência de atividade vulcânica na região.

LIMA (1985), estudando o fluxo de nutrientes na água da chuva na região de Agudos, São Paulo, obteve os seguintes resultados Kg/ha/ano: $Ca^{++}=16,0$; $Mg^{++}=5,0$ e $K+=8,0$. Em região litorânea, planalto atlântico, ARCOVA et alii (1985), estudando o fluxo de nutrientes em bacias hidrográficas, obtiveram os seguintes valores Kg/ha/ano: $NO_3^- = 10,97$; $Ca^{++}=4,56$; $Mg^{++}=0,87$ e $K+=5,11$.

McCOLL(1981), estudando as concentrações de Cu^{++} e Fe^{++} no ciclo hidrológico, em florestas na Califórnia, EUA, constatou que os resultados foram inferiores aos registrados na Europa, assumindo a seguinte ordem de grandeza: precipitação < precipitação interna < escoamento pelo tronco < solução do solo. Na Venezuela STEINHART & FASBENDER(1979) constataram níveis de concentração de Fe^{++} na precipitação na ordem de 0,007 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Em áreas urbanas, POPE(1980) determinou concentrações de Fe^{++} variando na ordem de 0-3,5 mg/l na precipitação, 5-440 mg/l no escoamento oriundo de rodovias, e 0 -5,3 mg/l na água de escoamento pluvial de áreas urbanas.

2.2.2. Água do deflúvio

Nas bacias hidrográficas florestadas de Hubbard Brook, EUA, MARTIN(1972) constatou uma uniformidade na concentração de nitrato no deflúvio, com variações sazonais nas estações de crescimento e dormência.

Em bacias hidrográficas submetidas a desbastes em Hubbard Brook, EUA, LIKENS et alii(1969) constataram condições favoráveis à nitrificação, que por sua vez favoreceram o processo de perda de ions NO_3^- e H^+

diminuindo o pH. Estas condições favoreceram a lixiviação de cátions como Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ do sistema. Os autores atribuem este fenômeno à substituição de íons hidrogênio por cátions nos complexos de troca catiônica dos colóides.

PIERCE et alii(1970) constataram que a concentração de nitrato no deflúvio de bacias hidrográficas experimentais de Hubbard Brook manteve-se em valores menores que 0,1 mg/l no verão, período em que esse nutriente foi utilizado para crescimento vegetal e atividade heterotrófica no solo. Os autores ainda verificaram que com o crescimento da vegetação, queda das folhas e a diminuição da atividade biológica, a lixiviação do nitrato disponível através do solo finalmente contribuiu para a elevação da concentração desse ânion no curso d'água.

LIKENS et alii(1969) explicaram que a maior quantidade de saída de nutrientes de um ecossistema florestado resulta, primariamente, da alteração do ciclo de nitrogênio no sistema, embora nos ecossistemas naturais o nitrogênio seja ciclado conservativamente. O nitrato é produzido pela nitrificação microbiológica da matéria orgânica, que flui rapidamente do ecossistema através da água do deflúvio. VITOUSEK & MATSON(1984), utilizando isótopos de nitrogênio (N^{15}) como traçador, obtiveram resultados que sugerem que a retenção microbiana foi, quantitativamente, mais

variando de 1,5 m a 4,6 m, na bacia hidrográfica convertida, e baixas concentrações de nitrato (0,2 a 6,2 mg/l) em ecossistemas adjacentes não perturbados.

De acordo com os resultados apresentados por SWANK(1984), as concentrações de nitrato variaram de 0,002 a 0,008 mg/l em bacias cuja vegetação havia sido removida há 20 anos. O autor ainda constatou que nas bacias drasticamente modificadas as concentrações de nitrato variaram de 0,124 a 0,637 mg/l.

LIKENS et alii(1969) e PIERCE et alii(1970), estudando a ciclagem do nitrato em Hubbard Brook, constataram que a remoção da vegetação causa a destruição dos mecanismos de conservação e, conseqüentemente, a elevação dos níveis de nitrato no deflúvio.

Em se tratando da perda de nitrato nos ecossistemas tropicais, KINJO & PRATT(1977) sugerem que a absorção de nitrato poderá ser muito importante na redução da perda deste nutriente, atribuindo-se esse fenômeno às características da mineralogia das argilas de adsorção de ânions não específicos.

LIKENS et alii(1977) verificaram um aumento da concentração de cálcio no deflúvio de bacias hidrográficas experimentais de Coweeta, nos Estados Unidos, drasticamente alteradas em sua cobertura florestal, alcançando

valores na ordem de 5,67 mg/l. Os autores também constataram que a concentração foi elevada quando os ecossistemas foram submetidas à fertilização e aplicação de calcário, promovendo a elevação da concentração desse cátion para 10,63 mg/l.

No deflúvio das bacias hidrográficas em Hubbard Brook, por outro lado, PIERCE et alii(1970) mostraram que as concentrações de magnésio nas bacias florestadas foram extremamente estáveis, não apresentando flutuações estacionais. Todavia, com o corte da vegetação houve um incremento da ordem de 50 vezes na concentração de magnésio no deflúvio. CASTRO(1980), estudando a qualidade da água em pequenas bacias hidrográficas em Viçosa, MG., constatou que a floresta teve importante papel no controle da saída de magnésio.

GOLLEY et alii(1975), analisando o balanço de nutrientes em bacias hidrográficas no Panamá, constataram perdas elevadas de cálcio (133,9 kg/ha/ano), magnésio(38,7 kg/ha/ano) e ferro(7,0 kg/ha/ano). Esses valores podem ser justificados pela riqueza em carbonatos e ferro das rochas subjacentes, devido sua formação laterítica, camadas de dolomita e calcário arenoso.

Em estudos comparativos, LIKENS et alii(1977) constataram que em Hubbard Brook a condutividade

elétrica média foi de 20 umhos/cm no deflúvio de bacias hidrográficas não perturbadas, enquanto que em bacias com vegetação removida os valores médios alcançaram cerca de 60 a 65 umhos/cm.

De acordo com HORNBECK et alii(1984), os números normais de valores de condutividades para os cursos d'água sob cobertura florestal variam de 30 a 130 umhos/cm.

Em águas naturais, o pH em geral apresenta uma variação entre os valores de 4 a 9, com modificações diurnas, devido à fotossíntese. Este parâmetro também é controlado pelos íons carbonatos e bicarbonatos (HEM, 1970; APHA, 1975 e FLINN et alii, 1979).

Em ecossistemas com a vegetação removida, o pH fica subordinado à mistura de inúmeros íons ácidos e básicos, com efeito a favor do ácido. Destaca-se, também, a nitrificação como fator de diminuição do pH em bacias hidrográficas, pela liberação de íons hidrogênio (PIERCE et alii, 1970).

2.3. Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em bacias hidrográficas

A interação entre o ciclo hidrológico e o ciclo de nutrientes permite a realização de

estudos sobre o balanço de nutrientes em pequenas bacias hidrográficas (BORMANN & LIKENS, 1979)

No estudo do balanço de nutrientes em bacias hidrográficas, LIKENS et alii (1977) citam que se deve considerar a direção e magnitude do balanço, as quais são definidas como segue: a) direção da variação líquida (balanço) corresponde à variação entre entrada e saída de nutrientes; b) magnitude do balanço corresponde à diferença quantitativa entre entrada e saída de nutrientes. Esses parâmetros podem variar anualmente para cada elemento. Para alguns íons, dados de um simples ciclo anual são suficientes para se estabelecer a direção da variação líquida (balanço); para outros íons são necessários dados de vários anos. Baseados em 11 anos de estudos em Hubbard Brook, EUA, estes autores elaboraram algumas generalizações. A direção da variação líquida (entrada menos saída) para os íons Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , Al^{+++} , NH_4^+ , H^+ , SO_4^- , HCO_3^- e sílica dissolvida, foram previsíveis a partir de 1 a 3 anos de dados. JOHNSON & SWANK (1973), estudando o fluxo de nutrientes em bacias hidrográficas, destacaram que estudos de curta duração (2 anos) produzem resultados apenas preliminares, sugestivos e não conclusivos no que tange à obtenção de médias anuais de fluxos e balanço de nutrientes.

PIERCE et alii (1970) constataram resultados positivos no balanço de nutrientes em ecossistemas

conservados com a cobertura natural em Hubbard Brook, correspondendo a uma acumulação de nutrientes na ordem de 10,0 kg/ha/ano de nitrato, ao passo que, no ecossistema onde foi realizado a remoção da vegetação, verificaram uma perda de cerca de 304,5 kg/ha/ano desse ânion.

BORMANN & LIKENS(1967) e BORMANN & LIKENS(1979) explicaram que, em bacias hidrográficas o fluxo de componentes químicos dentro do sistema pode ser simplificado, em se considerando a entrada como sendo a precipitação (vetor meteorológico) e a saída ou deflúvio (vetor geológico). Teoricamente, com a diferença entre a saída anual de um dado nutriente, pode-se demonstrar se o nutriente está sendo ou não acumulado no ecossistema, ou ainda, se está apenas passando quantitativamente pelo sistema, quando os fluxos de entrada forem iguais aos fluxos de saída.

A propósito do balanço de nutrientes em ecossistemas de bacias hidrográficas, BORMANN & LIKENS(1979) fizeram referências aos complexos efeitos interativos entre os materiais que entram no sistema (alóctonos), e aqueles que são originados no próprio meio (autóctonos). Os autores enfatizaram, também, a importância dos efeitos nas mudanças nos fluxos de entrada e saída de material e energia sobre o metabolismo dos ecossistemas aquáticos a jusante.

A variação líquida de nutrientes no ecossistema possui alto valor interpretativo quando se pretende entender as funções desse sistema (ODUM, 1971; BORMANN & LIKENS, 1979). Uma variação algebricamente positiva significa que o ecossistema está acumulando o nutriente, e uma variação líquida negativa indica a perda líquida do elemento. Esta perda precisa ser levada em conta como o decréscimo do nutriente em alguma parte do ecossistema (BORMANN & LIKENS, 1979 e JORDAN & KLINE, 1972).

De acordo com JORDAN & KLINE (1972), os ecossistemas com solos saturados de nutrientes, aqueles com alta capacidade de troca catiônica, perdem relativamente mais seus nutrientes que aqueles solos não saturados, com baixa capacidade de troca de nutrientes. Os autores afirmam que nos sistemas eutróficos, ricos em nutrientes, a perda desses elementos é diretamente proporcional ao volume de deflúvio, porque a concentração permanece constante. Por outro lado, nos sistemas insaturados, ou melhor, pobre em nutrientes, o aumento do deflúvio promove diluição dos elementos, causando o decréscimo de nutrientes no solo em função do volume de deflúvio.

JOHNSON et alii (1968) mostraram que o balanço de nutrientes também permite uma estimativa das taxas de intemperismo. Em ecossistemas florestados, as perdas

líquidas de elementos sedimentares como o cálcio ou o sódio proporcionam uma estimativa da taxa de liberação destes nutrientes pelo intemperismo do substrato mineral.

ART et alii(1974) esclareceram que elementos como nitrogênio, oxigênio e enxôfre tendem a entrar no ecossistema via meteorológica; através do intemperismo são admitidos cátions como o Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e outros ions. Esse argumento apoia a indicação de que a entrada meteorológica funciona como componente regulador, quando a contribuição de nutrientes minerais ao sitio via intemperismo de rocha for desprezível.

SWANK(1984), comparando o fluxo atmosférico de nutrientes com a incorporação anual de nutrientes na biomassa lenhosa de florestas de folhosas, verificou que nas bacias experimentais de Walker Branch, no Tennessee, EUA, e de Coweeta, Carolina do Norte, EUA, o nitrogênio admitido pela atmosfera, via precipitação, representou 70% da quantidade anualmente incorporada nos tecidos vegetais acima do solo. A propósito dos cátions Ca^{++} e K^+ , o fluxo de fonte atmosférica representou aproximadamente 40% em Walker Branch, e 20% em Coweeta. Na região de Agudos, São Paulo, LIMA(1986), utilizando dados de POGGIANI(1985), registrou que a entrada de nutrientes através das chuvas nos ecossistemas florestais de *Pinus oocarpa* atendeu a demanda anual destes nutrientes na biomassa nos seguintes percentuais:

188% para magnésio, 226% para o cálcio e 105% para o potássio. Nos ecossistemas tropicais amazônicos, JORDAN(1985) constatou uma grande dependência do fluxo atmosférico de nutrientes na manutenção do equilíbrio.

HENDERSON et alii(1978) verificaram que o intemperismo químico foi responsável por 95% da saída de cálcio e magnésio na bacia de Walker Branch. Esses resultados foram atribuídos à dissolução das rochas subjacentes de dolomita e andesita(feldspato), respectivamente.

De acordo com JORDAN & KLINE(1972) e SPURR(1979), a falta de capacidade tampão dos solos sob florestas de coníferas está correlacionada com as condições da mata florestal dominante nesses ecossistemas, quando comparados com as florestas de folhosas. Para os autores, a mata ácida resulta no empobrecimento relativo dos solos, em razão da substituição dos íons hidrogênio pelos nutrientes no complexo de troca do solo.

LIKENS et alii(1977) e BORMANN & LIKENS(1979), estudando a biogeoquímica dos ecossistemas não perturbados de Hubbard Brook, através do balanço de nutrientes em bases mensais, elaboraram três padrões de fluxo, caracterizados como segue: a) entrada de nutrientes maiores que as saídas; b) saídas de nutrientes maiores que as entradas

e c) cruzamento entre os fluxos de entrada e de saídas, anualmente. Neste contexto, os autores verificaram que os valores de fluxo na entrada de potássio excederam a saída na estação de crescimento, indicando que, provavelmente, este íon foi absorvido dos sítios de reserva durante a estação de crescimento; o Mg^{++} , Ca^{++} , Na^{+} e Al^{+++} apresentaram padrões de fluxo com a saída excedendo a entrada, consistentemente, em bases mensais.

A vegetação e fauna de um ecossistema terrestre maduro são efetivas na conservação das perdas de nutrientes de bacias hidrográficas. Todavia, esses sistemas podem apresentar as mais variadas respostas, quando as suas estruturas, funções e mecanismos regulatórios são danificados. Estas respostas devem estar relacionadas à sensibilidade e complexidade do ecossistema (BORMANN & LIKENS, 1979). Estes autores citam a manta florestal como indispensável ao processo de homeostase do ecossistema, funcionando como elemento regulador, com estocagem líquida de energia e nutrientes durante o início da fase de crescimento da vegetação. A rápida recuperação do ecossistema face a um distúrbio é devido à participação dos processos heterotróficos desencadeados, que funcionam como uma retroalimentação positiva favorecendo a produtividade primária.

VITOUSEK & REINERS (1975)

constataram que o potássio, o magnésio e o cálcio, todos essenciais às plantas, são mais efetivamente retidos nos ecossistemas sucessionais do que nos maduros. LIKENS et alii (1977) e ODUM (1969) constataram que os nutrientes em um ecossistema florestal não perturbado, assim como plantações florestais, são conservados e eficientemente utilizados pela vegetação e organismos do solo.

Uma das evidências que apoiam a importância dos fatores bióticos no controle das perdas é a variação sazonal da saída de nutrientes. Os elementos são conservados no ecossistema por estarem ligados ao crescimento da biomassa, possuindo sazonalidade característica e apresentando baixas perdas nas estações de crescimento (VITOUSEK & REINERS, 1975).

A conservação de nutrientes dentro dos ecossistemas depende do equilíbrio funcional. A absorção de água e nutrientes pela vegetação é crítica para este equilíbrio. A perda de nutrientes dentro de um ecossistema terrestre não somente representa perda de fertilidade daquele ecossistema, como também pode acelerar a eutrofização dos ecossistemas aquáticos a jusante (LIKENS et alii, 1977).

Segundo LOWRANCE et alii (1984), a vegetação ribeirinha desempenha um importante papel na

conservação de nutrientes no ecossistema, e, por sua vez, influencia a qualidade da água do deflúvio. BREN et alii(1979), estudando a ciclagem de nutrientes, em Myrtleford, Australia, verificaram que a vegetação ribeirinha tem importante papel na acumulação e movimento de nutrientes dentro da zona dessa vegetação que, provavelmente, participa na variação sazonal do conteúdo de nutrientes no curso d'água.

BORMANN & LIKENS(1979) relataram que as atividades humanas dentro das bacias hidrográficas, como a urbanização, exploração madeireira, construção de estradas, agricultura, mineração e a industrialização, tendem a alterar ou destruir a capacidade homeostática dos ecossistemas terrestres naturais.

A formação de plantações florestais caracterizam-se como forma de uso da terra capaz de introduzir distúrbios classificados de leve a severo, e duração de curto a longo prazo, a medida que causam a destruição das estruturas e funções dos ecossistemas(JORDAN,1985). A princípio, as intervenções de estabelecimento de plantações impõem um fluxo unidirecional de nutrientes, devido à eliminação das condições necessárias aos processos de ciclagem(ODUM,1985).

As plantações, no curso de seu desenvolvimento, promovem a formação de novas estruturas e

e c) cruzamento entre os fluxos de entrada e de saídas, anualmente. Neste contexto, os autores verificaram que os valores de fluxo na entrada de potássio excederam a saída na estação de crescimento, indicando que, provavelmente, este íon foi absorvido dos sítios de reserva durante a estação de crescimento; o Mg^{++} , Ca^{++} , Na^{+} e Al^{+++} apresentaram padrões de fluxo com a saída excedendo a entrada, consistentemente, em bases mensais.

A vegetação e fauna de um ecossistema terrestre maduro são efetivas na conservação das perdas de nutrientes de bacias hidrográficas. Todavia, esses sistemas podem apresentar as mais variadas respostas, quando as suas estruturas, funções e mecanismos regulatórios são danificados. Estas respostas devem estar relacionadas à sensibilidade e complexidade do ecossistema (BORMANN & LIKENS, 1979). Estes autores citam a mata florestal como indispensável ao processo de homeostase do ecossistema, funcionando como elemento regulador, com estocagem líquida de energia e nutrientes durante o início da fase de crescimento da vegetação. A rápida recuperação do ecossistema face a um distúrbio é devido à participação dos processos heterotróficos desencadeados, que funcionam como uma retroalimentação positiva favorecendo a produtividade primária.

VITOUSEK & REINERS(1975)

constataram que o potássio, o magnésio e o cálcio, todos essenciais às plantas, são mais efetivamente retidos nos ecossistemas sucessionais do que nos maduros. LIKENS et alii(1977) e ODUM(1969) constataram que os nutrientes em um ecossistema florestal não perturbado, assim como plantações florestais, são conservados e eficientemente utilizados pela vegetação e organismos do solo.

Uma das evidências que apoiam a importância dos fatores bióticos no controle das perdas é a variação sazonal da saída de nutrientes. Os elementos são conservados no ecossistema por estarem ligados ao crescimento da biomassa, possuindo sazonalidade característica e apresentando baixas perdas nas estações de crescimento(VITOUSEK & REINERS,1975).

A conservação de nutrientes dentro dos ecossistemas depende do equilíbrio funcional. A absorção de água e nutrientes pela vegetação é crítica para este equilíbrio. A perda de nutrientes dentro de um ecossistema terrestre não somente representa perda de fertilidade daquele ecossistema, como também pode acelerar a eutrofização dos ecossistemas aquáticos a jusante(LIKENS et alii, 1977).

Segundo LOWRANCE et alii(1984), a vegetação ribeirinha desempenha um importante papel na

conservação de nutrientes no ecossistema, e, por sua vez, influencia a qualidade da água do deflúvio. BREN et alii(1979), estudando a ciclagem de nutrientes, em Myrtleford, Australia, verificaram que a vegetação ribeirinha tem importante papel na acumulação e movimento de nutrientes dentro da zona dessa vegetação que, provavelmente, participa na variação sazonal do conteúdo de nutrientes no curso d'agua.

BORMANN & LIKENS(1979) relataram que as atividades humanas dentro das bacias hidrográficas, como a urbanização, exploração madeireira, construção de estradas, agricultura, mineração e a industrialização, tendem a alterar ou destruir a capacidade homeostática dos ecossistemas terrestres naturais.

A formação de plantações florestais caracterizam-se como forma de uso da terra capaz de introduzir distúrbios classificados de leve a severo, e duração de curto a longo prazo, a medida que causam a destruição das estruturas e funções dos ecossistemas(JORDAN,1985). A princípio, as intervenções de estabelecimento de plantações impõem um fluxo unidirecional de nutrientes, devido à eliminação das condições necessárias aos processos de ciclagem(ODUM,1985).

As plantações, no curso de seu desenvolvimento, promovem a formação de novas estruturas e

restabelecem as funções dos ecossistemas. Este ecossistema sob manejo mantém a produtividade e evita a degradação dos sítios. Na Amazônia Oriental, RUSSEL(1983) constatou que as plantações florestais com *Pinus* sp aos 10 anos de idade restabeleceram o equilíbrio em termos de ciclo de nutrientes, em se comparando com as florestas nativas.

As plantações florestais constituem ecossistemas ecológicamente pobres e simples, apresentando semelhança com os estágios iniciais de sucessão em ecossistemas naturais(EVANS,1982). Em bacias hidrográficas reflorestadas com *Pinus radiata*, na Nova Zelândia, DICK & COOK(1984) constataram uma baixa concentração de nutrientes na água do deflúvio. Este resultado foi atribuído ao eficiente processo de ciclagem no ecossistema propiciado pelo longo intervalo adotado entre as intervenções de exploração florestal. AUBERTIN & PATRIC(1974) constataram baixas perdas de NO_3^- e PO_4^- via água do deflúvio em bacias hidrográficas exploradas sob regime de cortes parciais. Os autores verificaram que há uma variação diferencial de ciclagem entre as espécies, e que certas espécies promovem o restabelecimento das estruturas e funções dos ecossistemas em curto prazo de tempo, enquanto outras degradam o sítio.

3. MATERIAL E METODOS

3.1. Área Experimental

A área experimental, constituída de duas microbacias hidrográficas, localiza-se na Companhia Agroflorestal Monte Alegre, CAFMA, Município de Agudos, Estado de São Paulo, com coordenadas geográficas de $22^{\circ} 25'$ de latitude Sul e $48^{\circ} 50'$ de longitude Oeste de Greenwich, numa altitude de 600 metros (Figura 1).



Figura 1. Localização das áreas experimentais no Brasil e Estado de São Paulo

Uma das microbacias experimentais, denominada Bacia Canivete, possui área de 163,7 ha, com orientação norte, apresentando cobertura vegetal constituída de coníferas do gênero *Pinus* representando 81,3% da área, folhosas do gênero *Eucalyptus* com 1,9%, cultivo de cafeeiro com 0,8% e uma área contígua ao curso d'água, contendo pastagem, perfazendo 16% (Figura 2).

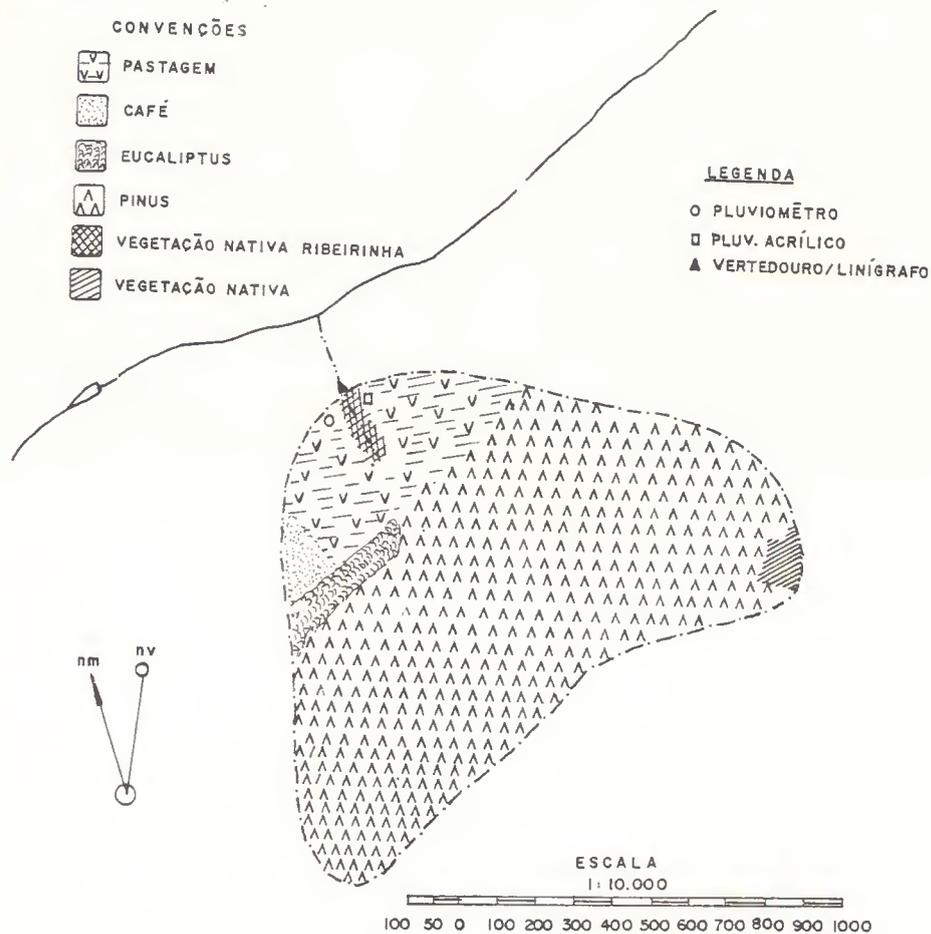


Figura 2. Distribuição da cobertura vegetal e uso da terra na bacia Canivete, mostrando as plantações de *Pinus*, *Eucalyptus*, cafeeiro e a área de pastagem.

A Figura 3 apresenta uma vista com detalhes da parte baixa da microbacia, predominada por pastagem ao redor do curso d'água, e a instalação do vertedor com o linígrafo.



Figura 3. Vista parcial da Bacia Canivete, com detalhes da cobertura. No primeiro plano, tem-se o vertedouro com vegetação aquática e ribeirinha; no segundo plano observa-se a área de pastagem e o reflorestamento com *Pinus sp* (Foto : M.Ranzini)

Hierarquicamente, segundo STRAHLER(1964), a Bacia Canivete é de primeira ordem, apresentando um canal primário com cerca de 200 m de comprimento e características físicas de acordo com o contido na Tabela 1 e na Figura 4.

A partir dos mapas plani-altimétricos das bacias experimentais fez-se a determinação de alguns parâmetros físicos das mesmas(Tabela 1), de acordo com os métodos propostos por STRAHLER(1964).

Tabela 1. Dados de área (ha), orientação, fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc), densidade de drenagem (Dd), declividade média (Dm) e a altura média (Hm) ndas Bacias Canivete e Limeira.

Bacia Hidrografica	Área (ha)	Orientação	Kf	Kc	Dd (Km/Km ²)	Dm %	Hm (m)
Canivete	163,7	N	1,64	1,16	0,001	6,96	574
Limeira	370,0	N	0,48	1,13	1,08	5,22	584

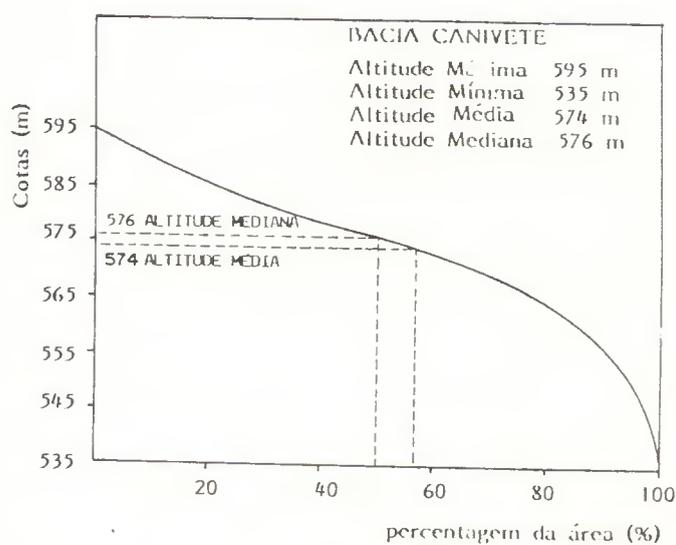


Figura 4. Curva hipsométrica da bacia Canivete com altitude mínima, máxima, média e mediana.

A segunda bacia experimental, denominada Bacia Limeira, ocupa uma área total de 370 ha, também de orientação norte, e cobertura vegetal totalmente constituída de coníferas

do gênero *Pinus* sp, com pequenas reservas de vegetação nativa nas cabeceiras dos cursos d'água (Figura 5). De acordo com STRAHLER (1964), trata-se de uma bacia de segunda ordem, com o canal principal apresentando cêrca de 2900 m.

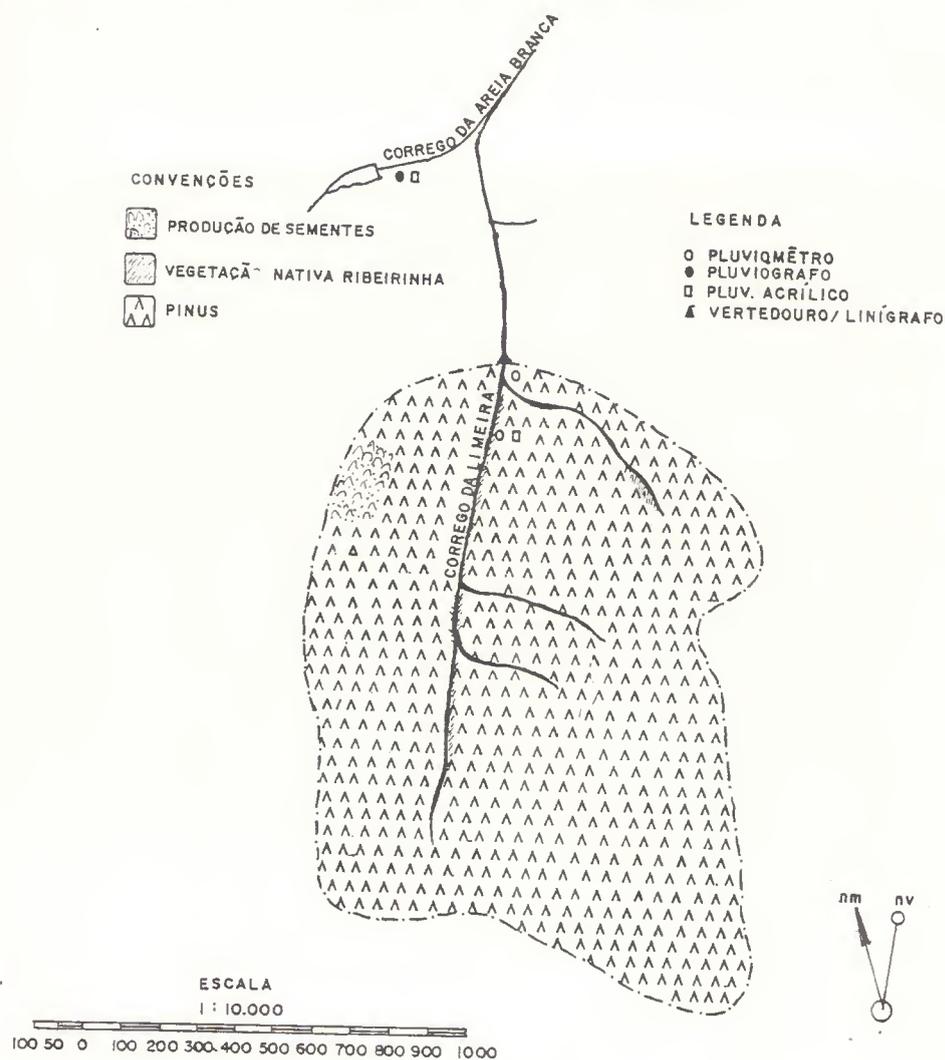


Figura 5. Distribuição da cobertura vegetal e uso da terra na bacia Limeira.

A Figura 6 mostra detalhes do povoamento de pinheiros (*Pinus sp*) na Bacia Limeira, assim como de seu sub-bosque. Outras características físicas da bacia são dadas na Tabela 1 e na Figura 7.



Figura 6. Vista parcial da cobertura vegetal da bacia Limeira mostrando a vegetação herbácea e arbustiva sob o povoamento de pinheiros tropicais (*Pinus sp*).

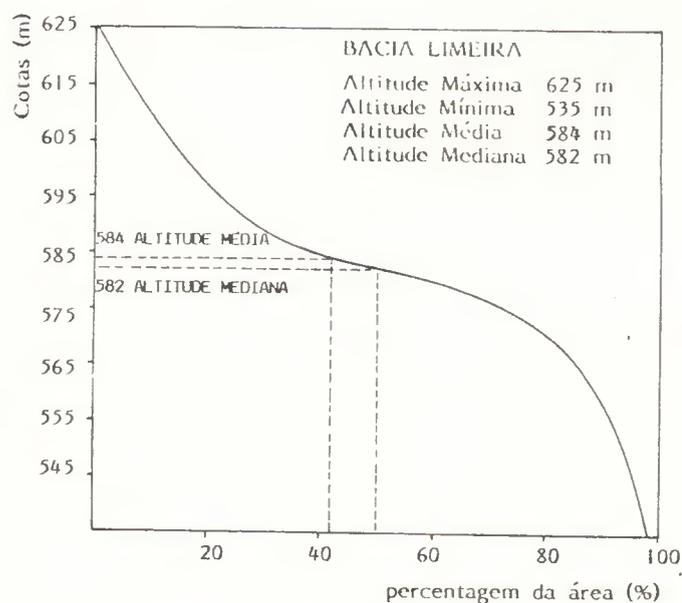


Figura 7. Curva hipsométrica da bacia hidrográfica Limeira, altitudes mínima, máxima, média e mediana.

A experimentação foi implantada na ocasião em que os povoamentos florestais encontravam-se com idade média de 17 anos.

Os desbastes foram iniciados quando os povoamentos contavam com 8 e 9 anos de idade. Na Bacia Canivete, até o final da fase de medição no campo foram realizados três desbastes, enquanto que na Bacia Limeira foram realizados oito desbastes. Estas operações silviculturais foram do tipo seletivo em combinação com o sistemático. Desta maneira, a redução na cobertura florestal nas bacias hidrográficas foi de 2000 para 200 árvores por hectare.

Na Bacia Canivete, além dos desbastes florestais, outra intervenção realizada durante o período experimental consistiu na fertilização da área contendo de pastagem, a qual foi fertilizada à base de nitrogênio (sulfato de amônio) e chorume rico em nitrogênio, potássio e fósforo. Além disto, no último trimestre do período experimental foi realizada uma reforma na pastagem, consistindo do revolvimento da camada superficial do solo através de gradagem e aplicação de fertilizantes.

No contexto de uso da terra na região, as bacias experimentais encontram-se localizadas nas proximidades de extensos canaviais, situados a nordeste e sudeste (Figura 8).

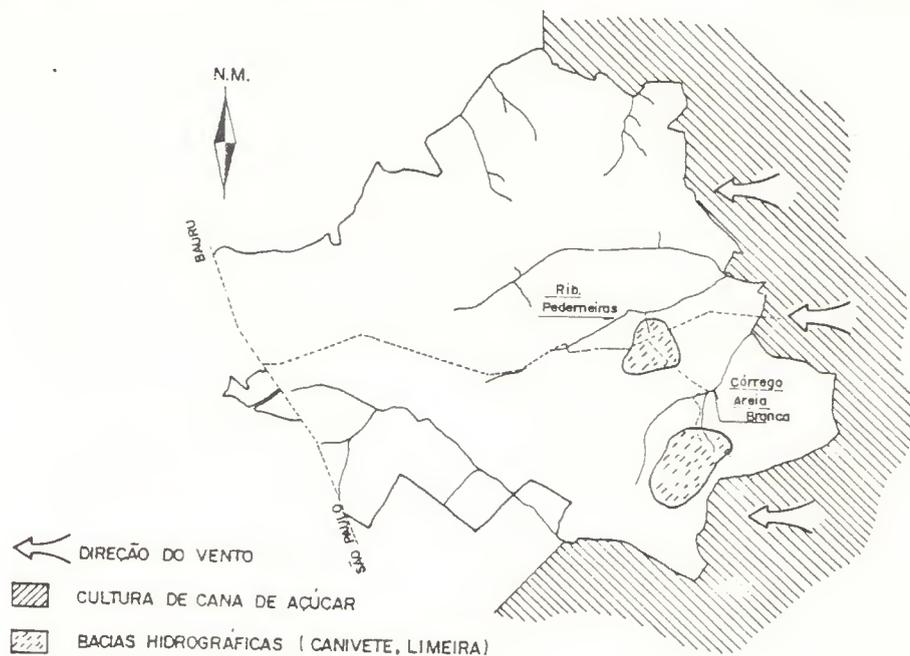


Figura 8. Localização das áreas de cultivo da cana-de-açúcar em relação às áreas experimentais e direção predominante dos ventos durante o ano.

3.2. Clima

O clima da área das bacias experimentais é classificado , segundo o sistema Koppen, como sendo do tipo Cwa, com temperatura média anual de 21,1 °C, e precipitação média anual de 1.300 mm. A temperatura média está em torno de 18,6 °C no inverno e 23,3 °C no verão. No mês mais frio a temperatura média varia de 16 a 18 °C.

De acordo com RANZANI(1971), a região apresenta um déficit hídrico anual de até 50 mm, e um excedente hídrico anual variando de 300 a 600 mm, o que resulta em um índice hídrico de 20 a 60, definindo um tipo climático semi-úmido, segundo a classificação de THORNTHWAITE. Com os dados termopluviométricos de 36 anos de Agudos, São Paulo, elaborou-se o balanço hídrico segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955), no qual constatou-se um período de deficiência hídrica nos meses de junho e julho (Figura 9).

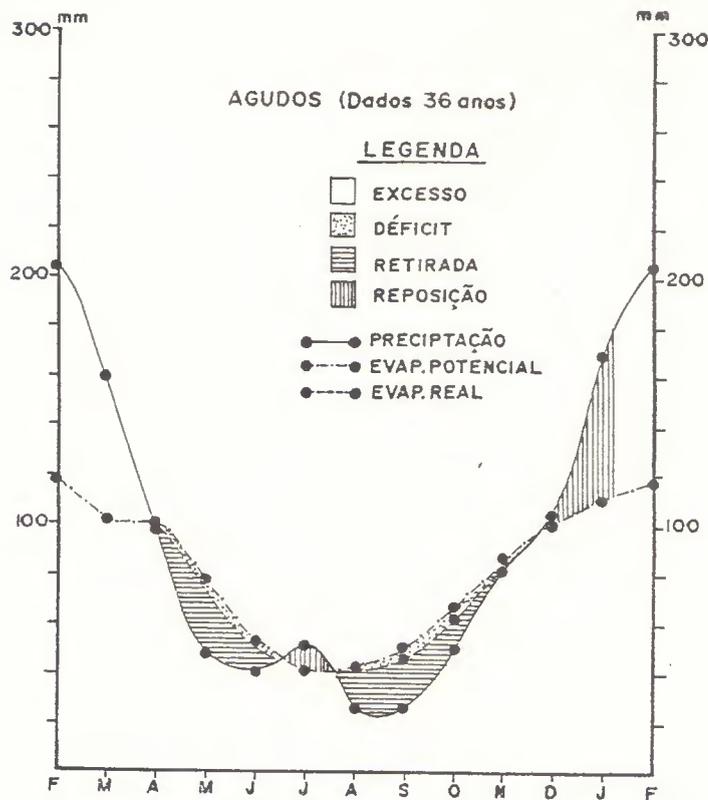


Figura 9. Balanço hídrico segundo THORNTHWAITE & MATHER (1955) para o município de Agudos, São Paulo, com dados termopluiométricos de 36 anos (Lab. of Climatology C.W.Thornthwaite, 1965).

3.3 Geologia

As bacias hidrográficas experimentais estão localizadas na Formação Adamantina, pertencente ao grupo Bauru, acumulado no Cretáceo Superior, que aparece em grande parte do Estado de São Paulo recobrendo lavas basálticas do Planalto Ocidental (Figura 10). Esta formação somente deixa de aparecer nas porções mais rebaixadas dos vales dos principais rios, onde já foi removida pela erosão (ALMEIDA et alii, 1981).

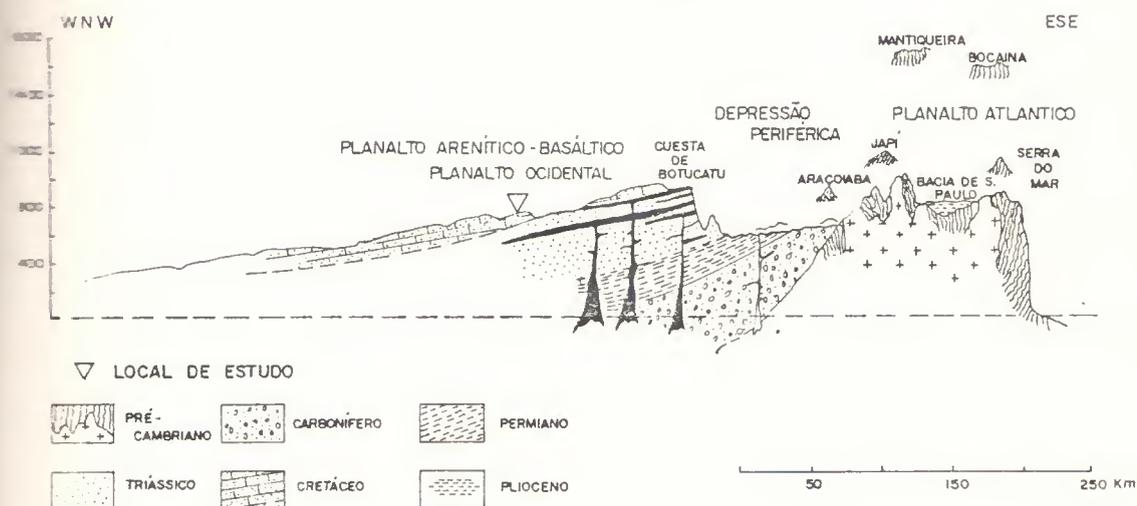


Figura 10. Seção geológica do Estado de São Paulo e localização da área de estudo no Cretáceo Superior (POÇANO et alii, 1981).

POÇANO et alii (1981) relataram que a formação Adamantina constitui os bancos de arenito alternados com lamitos, siltitos e arenitos lamíticos situados estrategicamente entre a Formação Santo Anastácio e a Formação Marília (Figura 11)

3.4. Geomorfologia

As bacias hidrográficas Canivete e Limeira localizam-se no Planalto Ocidental de São Paulo, o qual situa-se, essencialmente, sobre rochas do Grupo Bauru, que são constituídas por diversas formações predominantemente areníticas (Figura 11).

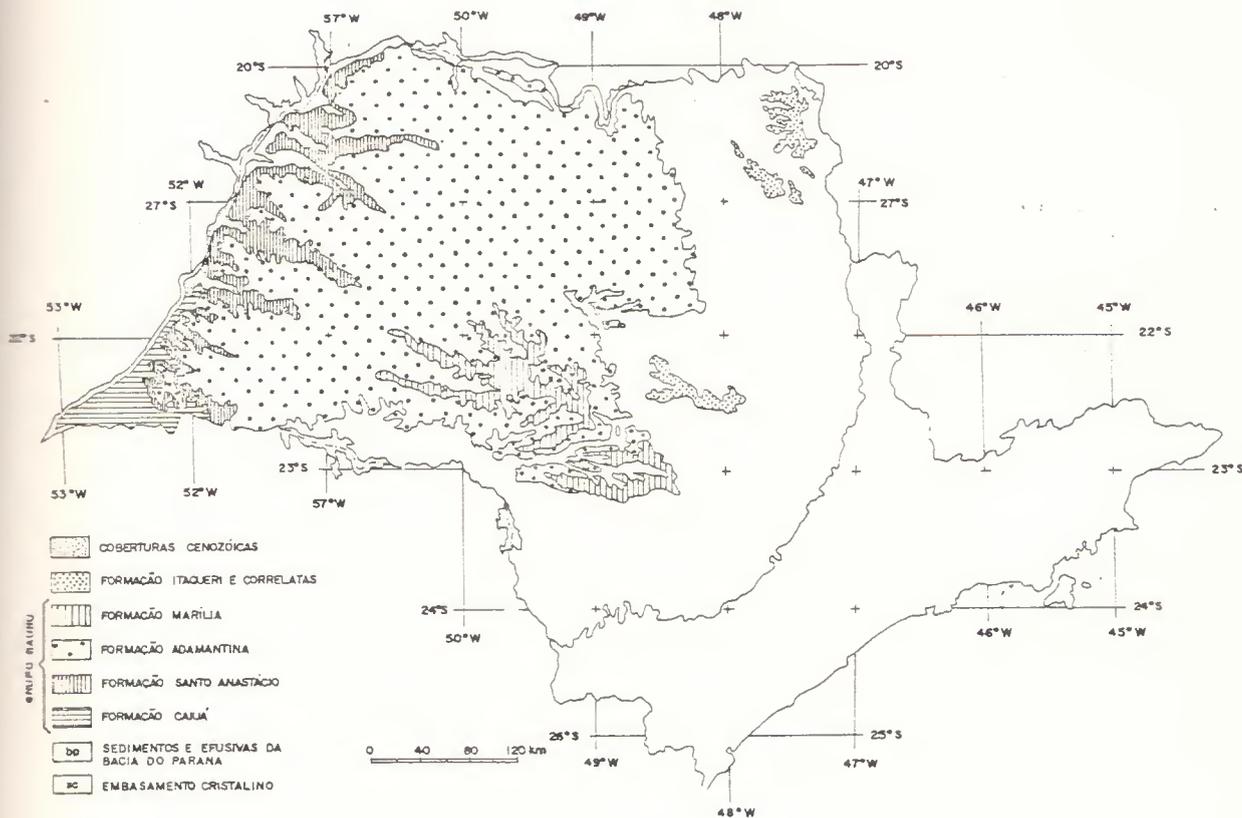


Figura 11. Distribuição do Grupo Baurú, Formação Adamantina, Formação Itaqueri e correlatos no Estado de São Paulo (POÇANO et alii, 1981).

Os mapas plani-altimétricos das bacias hidrográficas Canivete e Limeira são apresentados na Figura 12.

3.5. Solos

Os solos da área experimental pertencem às classes do Latossolo Vermelho-Escuro e

Podzólico Vermelho-Amarelo, com baixa saturação de bases, alta saturação de alumínio e um baixo pH (Tabelas 2,3,4,5,6 e 7).

Estes resultados são coerentes com as constatações obtidas por RANZANI(1971) nesta área experimental, e LOPES(1983) para a maioria de solos sob cerrado. Essas classes de solos, em geral, apresentam baixo teor de cálcio, magnésio, deficiência de potássio e alumínio, com um pH que acentua o caráter distrófico.

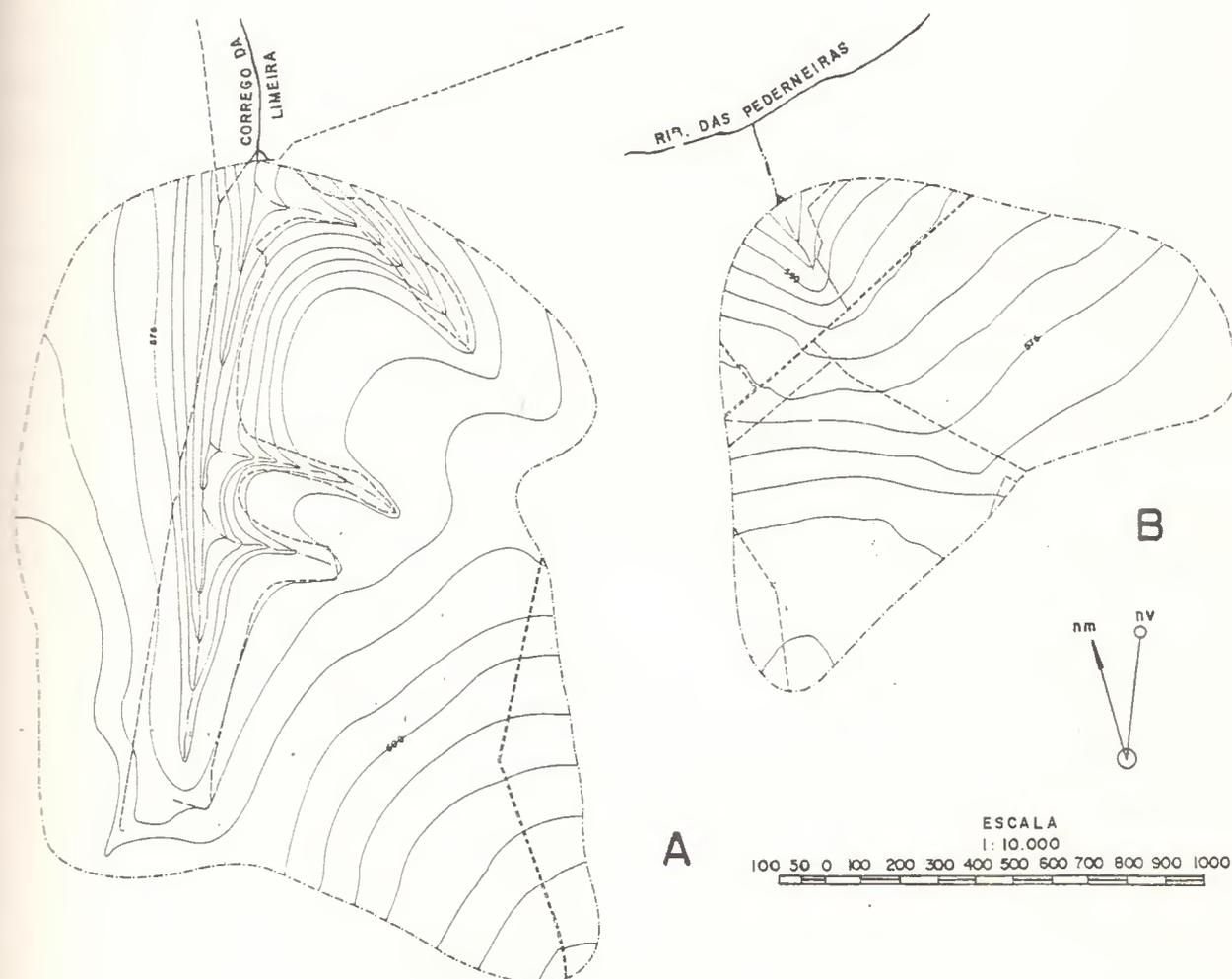


Figura 12 Mapa plani-altimétrico das bacias Limeira (A) e Canivete(B).

As características morfológicas e químicas dos solos nas áreas experimentais (Tabelas 2 a 7) foram obtidas através do estudo de 6 perfis localizados no topo, terços médio e inferior das encostas. A descrição destes perfis são apresentadas a seguir:

Perfil n^o 1 (Latossolo Vermelho-Escuro)

Classificação: Latossolo Vermelho-Escuro álico, A moderado, textura argilosa.

Localização: Bacia Limeira, Companhia Agroflorestral Monte Alegre, CAFMA, Agudos, SP.

Altitude: 620 metros

Material de origem: Sedimentos originários do Grupo Bauru, Cretáceo

Relevo: ondulado

Situação: Topo de encosta

Declividade: 5%

Cobertura primitiva: cerradão

cobertura atual: plantação de Pinus oocarpa

A1 0 - 10 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmida); muito argilosa; granular pequena e média forte; friável/firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.

A3 10 - 25 cm; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/4, úmida); muito argilosa; granular pequena/média moderada; friável e pegajosa; transição clara e plana.

B1 25 - 36 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR, úmida); muito

argilosa; subangular média média fraca; friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.

E2 36 - 54 cm; bruno-avermelhado-escuro(2,5 YR 3/6, úmida); muito argilosa; subangular média fraca; friável, plástica e pegajosa; difusa e plana.

E22 54 - 86 cm; bruno-avermelhado-escuro(2,5 YR 3/6, úmida); muito argilosa; subangular média fraca, friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.

E23 86 - 150 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,4 YR 3/6, úmida); muito argilosa; subangular média fraca tendendo para maciça porosa; muito friável, plástica e pegajosa.

Perfil n* 2

Classificação: Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura argilosa.

Localização: Bacia Canivete, Companhia Agroflorestral Monte Alegre, CAFMA, Agudos, SP

Altitude: 590 metros

Material de origem: Sedimentos da formação Adamantina pertencente ao Grupo Baurú.

Relevo: ondulado

Situação: topo de encosta

Declividade: 5%

Cobertura primitiva: cerradão

Cobertura atual: plantação de Pinus sp

- A1 0 - 15 cm; bruno-avermelhado-escuro(5 YR 3/3, úmida); muito argilosa; granular pequena e média forte; friável/firme, plástica e pegajosa; transição clara e plena.
- A3 15 - 30 cm; bruno-avermelhado-escuro(5 YR 3/4, úmida); muito argilosa; granular pequena/média moderada; friável/firme, plástica e pegajosa; transição clara e plana.
- B1 30 - 45 cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmida); muito argilosa; subangular média fraca; friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- B2 45 - 60 cm; bruno-avermelhado-escuro(2,5 YR 3/6, úmida); muito argilosa; subangular média fraca; friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- B22 60 - 90 cm; bruno-avermelhado-escuro(2,5 YR 3/6, úmida); muito argilosa; subangular média fraca; friável; plástica e pegajosa; transição difusa e plana.
- B23 90 - 160 cm; bruno-avermelhado-escuro(2,5 YR 3/6, úmida); muito argilosa; subangular média fraca; muito friável, plástica e pegajosa.

Tabela 2. Características físicas e químicas nos horizontes do Latossolo Vermelho Escuro Álico, situado no topo de encosta na Baía Limeira, CAPMA, Agudos, São Paulo.

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					DENSIDADE	
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa (2-20)	Areia fina (0,2-0,02)	Silte (0,02-0,002)	Argila (>0,002)	Aparente	Real	
A1	0 - 10	14	11	7	68	1,1	2,7	
A3	10 - 25	14	9	7	70	0,9	2,4	
B1	25 - 36	13	9	5	71	-	-	
B21	36 - 54	13	9	4	74	0,9	2,6	
B22	54 - 86	12	9	3	76	-	-	
B23	85 - 150	11	6	3	79	-	-	

Hor.	pH		Bases Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺	Valor S (Ca, Mg, K ⁺)	Acidez trocável (Al ³⁺)	Hidrogênio extraível (H ⁺)	Valor T (S, Al, H)	Valor V $\frac{100 \cdot S}{T}$	Sat. Al ³⁺ $\frac{100 \cdot Al^{3+}}{S + Al^{3+}}$			
	H ₂ O	KCl										
Ap	4,5	4,0	-0,5	0,5	0,2	0,09	0,8	2,3	7,9	11,0	7	74
A3	4,4	4,0	-0,4	0,2	0,1	0,04	0,3	2,3	6,5	9,1	3	74
B1	4,5	4,1	-0,4	0,2	0,1	0,04	0,3	1,9	5,5	7,7	4	86
B21	4,7	4,1	-0,6	0,2	0,1	0,04	0,3	1,7	3,7	6,7	5	85
B22	4,6	4,1	-0,5	0,2	0,0	0,02	0,2	1,5	2,7	4,4	5	88
B23	4,9	4,3	-0,6	0,2	0,0	0,02	0,2	0,6	3,0	3,8	5	75

Tabela 3. Características físicas e químicas nos horizontes de Latossolo Vermelho-Escuro álico, situado no topo da encosta na Bacia Canivete, CAFMA, Agudos.

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					DENSIDADE	
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa (2-020)	Areia fina (0,2-0,02)	Silte (0,02-0,002)	Argila (>0,002)	Aparente	Real	
Ap	0 - 15	13	12	6	69	1,1	2,6	
A3	15 - 30	12	10	6	71	0,9	2,4	
B1	30 - 36	11	11	5	71	-	-	
B21	36 - 56	11	10	5	74	0,9	2,6	
B22	56 - 88	12	9	3	76	-	-	
B23	88 - 150	11	6	4	80	-	-	

Hor.	pH	H ₂ O	KCl	ΔpH	Bases		Acidez trocável (Al ³⁺) meq/100g	Hidrogênio extraível (H ⁺)	Valor T Σ(S,Al,H)	Valor V 100.s. T	Sat. Al ³⁺ 100.Al ³⁺ S+Al ³⁺
					Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺	Valor S Σ(Ca, Mg, K ⁺)					
Ap	4,5	4,0	-0,5	0,3	0,1 0,09	0,5	2,4	7,8	11,0	4,54	82,75
A3	4,3	3,9	-0,4	0,1	0,1 0,04	0,24	2,2	6,4	9,0	2,7	91,7
B1	4,4	4,0	-0,4	0,2	0,1 0,04	0,34	1,8	5,4	7,54	4,5	85,71
B21	4,6	4,0	-0,6	0,2	0,1 0,04	0,34	1,6	3,6	5,54	6,1	84,2
B22	4,5	4,0	-0,5	0,1	0,0 0,02	0,12	1,4	2,6	1,12	2,9	92,1
B23	4,8	4,2	-0,6	0,2	0,0 0,02	0,22	0,5	2,5	3,22	6,8	69,4

Perfil 3

Classificação: Latossolo Vermelho-Escuro, álico, textura média.

Localização: Bacia Limeira, CAFMA, Agudos.

Altitude: 600 metros

Material de origem: sedimentos provenientes de arenitos da formação Adamantina, pertencente ao Grupo Baurú.

Relevo: suave ondulado

Situação: terço médio de encosta.

Declividade: 6%

Cobertura primitiva: cerradão.

Drenagem: boa

Cobertura atual: plantação de pinheiros tropicais *Pinus* sp

A1 0 - 22 cm; bruno-avermelhado-escuro(2,5 YR 3/4, úmida); fino-areno-barrenta; granular média moderada; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

A3 22 - 52 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); fino-areno-barrenta; granular média fraca; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

B1 52 - 78 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); fino-arenoso-barrenta; subangular média

fraca/moderada; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

B21 78 - 150 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); fino-areno-argilosa; subangular média fraca; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

B22 150 - 200 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); areno-barrenta; subangular média fraca; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Perfil 4

Classificação: Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura média.

Localização: Bacia Canivetê, Companhia Agroflorestral Monte Alegre, CAFMA, Agudos, SP.

Altitude: 550 metros+

Material de origem: sedimentos provenientes de arenitos da formação Adamantina pertencente ao Grupo Baurú.

Relevo: suave ondulado

Situação: terço inferior de encosta.

Declividade: 5%

Cobertura primitiva: cerradão

Drenagem: boa

Cobertura atual: plantação de pinheiros tropicais Pinus sp.

- A1 0 - 20 cm, bruno-avermelhado-escuro(2,5 YR 3/4, úmida); fino-areno-barrenta; granular média moderada; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- A3 20 - 54 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); fino-areno-barrenta; granular média fraca; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.
- B1 54 - 76 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); fino-areno-barrenta; subangular média fraca/moderada; friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- B21 76 - 160 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); fino-areno-argilosa; subangular média fraca; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.
- B22 160 - 200 cm; bruno-avermelhado-escuro(1,5 YR 3/4, úmida); areno-barrenta; subangular média fraca; muito friável, ligeiramente pegajosa.

Tabela 4. Características físicas e químicas nos horizontes do Latossolo Vermelho-Escuro álico, situado no terço médio de encosta da Baía Limeira, CAFMA, Agudos, São Paulo.

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					DENSIDADE	
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa (2-020)	Areia fina (0,2-0,02)	Silte (0,02-0,002)	Argila (>0,002)	Aparente	Real	(g/cm ³)
A1	0 - 22	25	53	1	21	-	-	-
A3	22 - 52	25	51	2	22	-	-	-
B1	52 - 78	17	57	1	25	-	-	-
B21	78 - 150	18	53	2	27	-	-	-
B22	150 - 200	32	41	1	26	-	-	-

Hor.	pH		A _{pH}	Bases		Valor S Σ(Ca, Mg, K ⁺)	Acidez trocável (Al ³⁺) meq/100g	Hidrogênio extraível (H ⁺)	Valor T Σ(S, Al, H)	Valor V	
	H ₂ O	KCl		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ , K ⁺					100.s T	Sat. Al ³⁺ 100.Al ³⁺ S+Al ³⁺
A1	4,7	4,1	-0,6	0,7	0,1	0,05	1,0	2,7	4,6	19	52
A3	4,8	4,1	-0,7	0,1	0,0	0,02	1,0	2,4	3,5	3	91
B1	5,0	4,1	-0,9	0,1	0,0	0,01	0,9	2,3	3,3	3	90
B21	4,6	4,3	-0,3	0,1	0,1	0,00	0,5	1,7	2,3	4	83
B22	5,2	4,3	-0,9	0,1	0,0	0,01	0,5	1,6	2,2	5	83

Tabela 5. Características físicas e químicas nos horizontes do Latossolo Vermelho-Baculo A100, situado no terço médio da encosta na Bacia Canivete, CAFMA, Agudos, São Paulo

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					DENSIDADE	
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa (2-020)	Areia fina (0,2-0,02) mm	Silte (0,02-0,002)	Argila (>0,002)	Aparente	Real	(g/cm ³)
A1	0 - 20	24	54	1	21	-	-	-
A3	20 - 54	23	53	2	22	-	-	-
B1	54 - 76	17	57	1	25	-	-	-
B21	76 - 160	18	53	2	27	-	-	-
B22	160 - 200	32	40	2	26	-	-	-

Hor.	pH		ΔpH	Bases		Valor S Σ(Ca, Mg, K ⁺)	Acidez troçável (Al ³⁺) meq/100g	Hidrogênio extraível (H ⁺)	Valor T Σ(S, Al, H)	Valor V $\frac{100 \cdot S}{T}$	Sat. Al ³⁺ $\frac{100 \cdot Al^{3+}}{S + Al^{3+}}$
	H ₂ O	KCl		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ , K ⁺						
A1	4,5	4,2	-0,3	0,8	0,1	0,06	1,3	2,7	4,9	18,0	81,0
A3	4,8	4,2	-0,6	0,1	0,0	0,01	1,2	2,5	3,8	2,6	92,0
B1	4,9	4,0	-0,9	0,1	0,0	0,01	1,0	2,4	3,5	2,8	91,0
B21	4,5	4,1	-0,4	0,1	0,0	0,01	0,9	1,8	2,8	3,6	52,0
B22	5,1	4,5	-0,6	0,1	0,0	0,01	0,5	1,7	2,3	4,3	16,6

Perfil n^o 5

Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo álico, A moderado, textura, arenosa/média.

Localização: Bacia Limeira, CAFMA, Agudos, SP.

Altitude: 538 m

Material de origem: arenito da formação Adamantina.

Relevo: suave ondulado.

Situação: terço inferior de encosta.

Declividade: 5%

Cobertura primária: cerradão

Cobertura vegetal atual: plantação de pinheiros tropicais

A1 0 - 24 cm; bruno-amarelado-acinzentada (10 YR 4/2, úmida); fino-arenosa; granular pequena fraca e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição gradual e ondulada.

A21 24 - 43 cm; bruno-amarelado-acinzentada (10 YR 4/2, úmida); fino-arenosa; subangular pequena fraca e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada.

A22 43 - 85 cm; laranja-amarelada (10 YR 6/3, úmida); fino-arenosa; subangular pequena fraca e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada.

B21t 85 - 100 cm; bruna (10 YR 4/5, úmida); fino-areno-

barrenta; subangular média moderada; firme, ligeiramente pegajosa; transição gradual e plena.

B22t 100 - 140 cm; bruna(10 YR 4/5, úmida) e bruna forte(7,5,YR 5/8,úmida);fino-areno-argilosa; subangular média moderada; firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Perfil n^o 6

Classificação: Podzólico Vermelho-Amarelo álico, A moderado, textura arenosa/média.

Localização: Bacia Canivete, CAFMA, Agudos, SP.

Altitude: 537 m

Material de origem: arenito da formação Adamantina.

Relevo: suave ondulado.

Situação: terço inferior de encosta.

Declividade: 5%

Cobertura primitiva: cerradão

Cobertura atual: pastagem

A1 0 - 25 cm; bruno-amarelo-acinzentada(10 YR 4/2, úmida); fino-arenosa; granular pequena fraca e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição gradual e ondulada.

A21 21 - 45 cm; bruno-amarelo-acinzentada (10 YR 4/2, úmida); fino-arenosa; subangular pequena fraca e

grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada.

B22 45 - 90 cm; laranja-amarelada (10 YR 6/3, úmida); fino-arenosa; subangular pequena fraca e grãos simples; muito friável, não plástica e não pegajosa; transição clara e ondulada.

B21t 90 - 100 cm; bruna (10 YR 4/5, úmida); fino-areno-barrenta; subangular média moderada; firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

B22t 100 - 140 cm; bruna (10 YR 4/5, úmida) e bruna forte (7,5 YR 5/8, úmida); fino-areno-argilosa; subangular média moderada; firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

Tabela 6. Características físicas e químicas nos horizontes do Podzólico Vermelho-Amarelo álico, situado no terço inferior de encosta da Bacia Limeira, CAFMA, Agudos, São Paulo.

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					DENSIDADE	
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa (2-020)	Areia fina (0,2-0,02)	Silte (0,02-0,002)	Argilla (>0,002)	Aparente	Real	(g/cm ³)
A11	0 - 24	25	64	2	9	-	-	2,60
A21	24 - 43	27	64	2	7	-	-	2,65
A22	43 - 85	30	61	3	6	-	-	2,62
B21t	85 - 100	19	56	3	22	-	-	2,63
B22t	100 - 140	17	49	2	32	-	-	2,65

Hor.	pH		Bases Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺	Valor S Σ(Ca, Mg, K ⁺)	Acidez trocável (Al ³⁺) meq/100g	Hidrogênio extraível (H ⁺)	Valor T Σ(S, Al, H)	Valor V $\frac{100 \cdot s}{T}$	Sat. Al ³⁺ $\frac{100 \cdot Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$			
	H ₂ O	KCl										
A11	5,2	4,5	1,5	0,4	0,07	1,97	0,2	0,2	1,9	4,07	48,4	90,8
A21	5,6	4,8	0,7	0,3	0,03	1,03	0,3	0,3	0,5	1,83	56,3	77,4
A22	5,3	4,5	0,7	0,1	0,08	0,82	0,3	0,3	0,6	1,72	47,7	73,2
B21t	4,9	4,1	1,3	0,2	0,05	1,55	2,4	2,4	2,2	6,15	25,2	39,2
B22t	4,6	4,0	0,8	0,2	0,06	1,06	4,0	4,0	1,6	6,7	15,82	18,9

Tabela 7. Características físicas e químicas nos horizontes do Podzólico Vermelho-Amarelo, textura argilosa, situado no terço inferior de encosta da Bacia Canivete, CAFMA, Agudoa, São Paulo.

HORIZONTE		COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (%)					DENSIDADE	
Símbolo	Profundidade (cm)	Areia grossa (2-020)	Areia fina (0,2-0,02)	Silte (0,02-0,002)	Argila (>0,002)	Aparente	Real	(g/cm ³)
A11	0 - 25	24	65	3	7	-	-	2,60
A21	25 - 45	26	65	2	7	-	-	2,65
A22	45 - 86	31	60	3	6	-	-	2,61
B21t	86 - 100	20	55	4	22	-	-	2,65
B22t	100 - 140	16	50	2	32	-	-	2,65

Hor.	pH		ΔpH	Bases		Acidez trocável (Al ³⁺) meq/100g	Hidrogênio extraível (H ⁺)	Valor T Σ(S,Al,H)	Valor V $\frac{100 \cdot s}{T}$	Sat. Al ³⁺ $\frac{100 \cdot Al^{3+}}{S+Al^{3+}}$		
	H ₂ O	KCl		Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , K ⁺	Σ(Ca, Mg, K ⁺)							
A11	5,0	4,7	-0,7	1,3	0,4	0,07	1,8	0,2	1,9	3,9	46,0	90,0
A21	5,5	4,9	-0,8	0,5	0,3	0,03	0,6	0,3	0,5	1,4	43,0	75,0
A22	5,4	4,6	-0,8	0,6	0,1	0,02	0,7	0,3	0,6	1,6	44,0	78,0
B21t	4,8	4,2	-0,8	1,2	0,2	0,05	1,4	2,4	2,2	6,0	23,0	32,0
B22t	4,5	4,1	-0,6	0,8	0,2	0,06	1,0	4,0	1,6	6,6	15,0	18,0

3.6. Pluviometria, fluviometria, parâmetros físicos, químicos e fluxos de nutrientes.

A medição da precipitação média para as duas bacias experimentais foi realizada através de um pluviôgrafo tipo Hellmann, de rotação semanal, instalado a meia distância entre as bacias.

Além disto, em cada bacia hidrográfica experimental foram instalados um pluviômetro tipo Ville de Paris e um pluviômetro de acrílico.

A precipitação média para cada bacia foi obtida através da média aritmética das precipitações pluviométricas medidas nos pluviômetros de cada bacia, mais os valores obtidos no pluviôgrafo, cujos dados foram utilizados para ambas.

Para a medição do deflúvio, em cada bacia hidrográfica foi instalado um vertedor triangular de 90° , e o registro contínuo da variação da lâmina d'água no vertedor foi realizado através de linígrafo de rotação semanal. A vazão foi determinada a partir da equação de Thompson, específica para este tipo de vertedor.

$$Q = 1,32 H^{2,48}$$

onde:

$$Q = \text{vazão em m}^3/\text{s e}$$

H = altura da lâmina d'água no vertedor

em m.

Para a tabulação dos fluviogramas do linígrafo foram elaborados programas para leitura ótica através de um Sistema de Digitação Digigramer MUTOH associado a um microcomputador Canon EX-1, do Instituto Florestal de São Paulo.

As amostras de água de chuva foram coletadas semanalmente nos pluviômetros de acrílico, as quais foram mantidas em garrafas de polietileno de um litro e armazenadas sob refrigeração sendo, mensalmente, enviadas ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ-USP, para análise dos parâmetros físicos e químicos de qualidade de água.

Semelhantemente, amostras de água do deflúvio foram coletadas, também semanalmente, em garrafas de polietileno de um litro, diretamente no vertedouro de cada bacia experimental, as quais foram armazenadas sob refrigeração e posteriormente enviadas ao laboratório para análise dos parâmetros físicos e químicos de qualidade de água.

Para a análise da água da chuva e do deflúvio, as determinações dos elementos Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Fe^{++} foram feitas através de espectrofotometria de absorção atômica, com equipamento PERKIN ELMER modelo 272. O NO_3^- foi analisado por colorimetria pelo método brucina (BROWN, G., M.W. SKOUGSTAD & M.J. FISHMANN, 1970).

As análises de turbidez, condutividade elétrica e pH foram determinadas utilizando-se um turbidímetro modelo 2100 A-HACH, condutivímetro modelo 2511-HACH e potenciômetro modelo 3221-MICRONAL, respectivamente. Estas análises foram realizadas seguindo as normas da APHA(1975).

Os valores da alcalinidade para água da chuva e do deflúvio foram obtidas por titulação, e os valores de sólidos totais dissolvidos foram obtidos a partir de tabelas de correlação com os valores de condutividade das amostras.

Os fluxos de nutrientes na precipitação pluviométrica e deflúvio foram obtidos pela multiplicação dos valores semanais destes processos em mm com os valores semanais da concentração dos íons (NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Fe^{++}) na água da chuva e do deflúvio, conforme a expressão abaixo:

$$F(\text{mg}/\text{m}^2/\text{t}) = \frac{V(\text{mm}) * C(\text{mg}/\text{l})}{t}$$

onde:

F = fluxo de nutrientes em mg por m^2 por tempo;

V = valores de chuva ou deflúvio em mm;

C = concentração dos nutrientes da água da chuva ou deflúvio em mg/l ; e

t = tempo decorrido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Regime hidrológico e produção de água

Analisando-se o balanço hídrico segundo THORNTHWAITE & MATHER(1955) caracterizou-se hidrológicamente os anos do período experimental, registrando-se a existência de excedentes e déficit hídrico mensais(Figura 13). O período mais úmido ocorreu de fevereiro de 1983 a janeiro de 1984, apresentando excedentes hídricos durante os meses de maio a julho e de setembro a janeiro. Por outro lado, no período de fevereiro de 1984 a janeiro de 1985, constatou-se a ausência de excedentes hídricos durante todo o ano, aliado a deficiência hídrica nos meses de fevereiro a julho e outubro de 1985. Com base nestas características de regime hídrico do período de medições registrou-se um declínio na produção de água na ordem de 50% nas microbacias em relação ao ano anterior(Tabelas 8 e 9).

Em se comparando a evapotranspiração em termos do balanço hídrico para os anos, com os dados estimados pelo Método de Thornthwaite(1955) verificou-se que dados de evapotranspiração medidos pelo

processo hidrométricos foram maiores que os resultados obtidos via balanço segundo Thornthwaite, desta forma admite-se que o deflúvio foi sub-estimado.

Na explicação deste fenômeno elimina-se a hipótese referente a diferença no regime pluviométrico entre as bacias, uma vez que a precipitação foi praticamente idêntica nas bacias (Tabelas 8 e 9). Aliado a este aspecto, destaca-se que as bacias possuem identidade de cobertura com domínios do reflorestamento, considerando-se que a área de pastagem na bacia Canivete e sua dimensão não tenham influenciado em termos globais, o consumo diferencial de água pela cobertura, caracterizando desta forma uma identidade ambiental para as microbacias.

Por não ter sido planejado visando este objetivo, a instalação do vertedor não foi feita de sorte a incluir o escoamento subsuperficial. Desta forma, parte da diferença de produção de água das bacias, em relação ao valor esperado com base no balanço hídrico de Thornthwaite pode ser atribuída a possíveis vazamentos subsuperficiais ao nível da secção de controle das bacias (LIMA, 1979 e FELLER & KIMMINS, 1979)

Tabela 8 : Precipitação e deflúvio nas bacias experimentais durante o período de fevereiro de 1983 a janeiro de 1984.

MES	Bacia Limeira		Bacia Canivete	
	Prec.	Deflúvio	Prec.	Deflúvio
	-----mm-----			
FEV	85,5	19,95	76,7	7,52
MAR	106,1	14,6	102,2	4,13
ABR	68,3	10,69	76,2	2,89
MAI	175,3	16,56	166,0	6,20
JUN	270,2	38,70	267,4	8,77
JUL	27,1	15,90	25,1	4,57
AGO	0,7	15,21	0,9	4,04
SET	202,3	16,43	199,4	4,09
OUT	88,5	14,28	93,1	4,27
NOV	157,3	16,31	157,5	3,80
DEZ	167,9	17,65	163,7	2,43
JAN	212,8	23,09	220,7	4,41
Soma	1.562,0	219,37	1.548,90	57,12

Tabela 9 Precipitação e deflúvio nas bacias experimentais durante o período de fevereiro de 1984 a janeiro de 1985.

MES	Bacia Limeira		Bacia Canivete	
	Prec.	Deflúvio	Prec.	Deflúvio
-----mm-----				
FEV	79,6	13,02	78,80	2,55
MAR	68,3	10,67	74,10	2,11
ABR	61,9	9,66	61,10	2,04
MAI	42,7	10,48	42,10	2,33
JUN	0,0	6,64	0,00	1,47
JUL	9,7	7,66	16,80	1,47
AGO	112,1	10,89	109,30	1,48
SET	59,6	11,75	64,80	1,43
OUT	56,0	6,92	79,80	2,08
NOV	149,10	6,81	139,10	1,32
DEZ	231,90	12,05	237,40	2,63
JAN	159,80	11,88	177,70	2,57
Soma	1.030,70	118,37	1.081,00	23,48

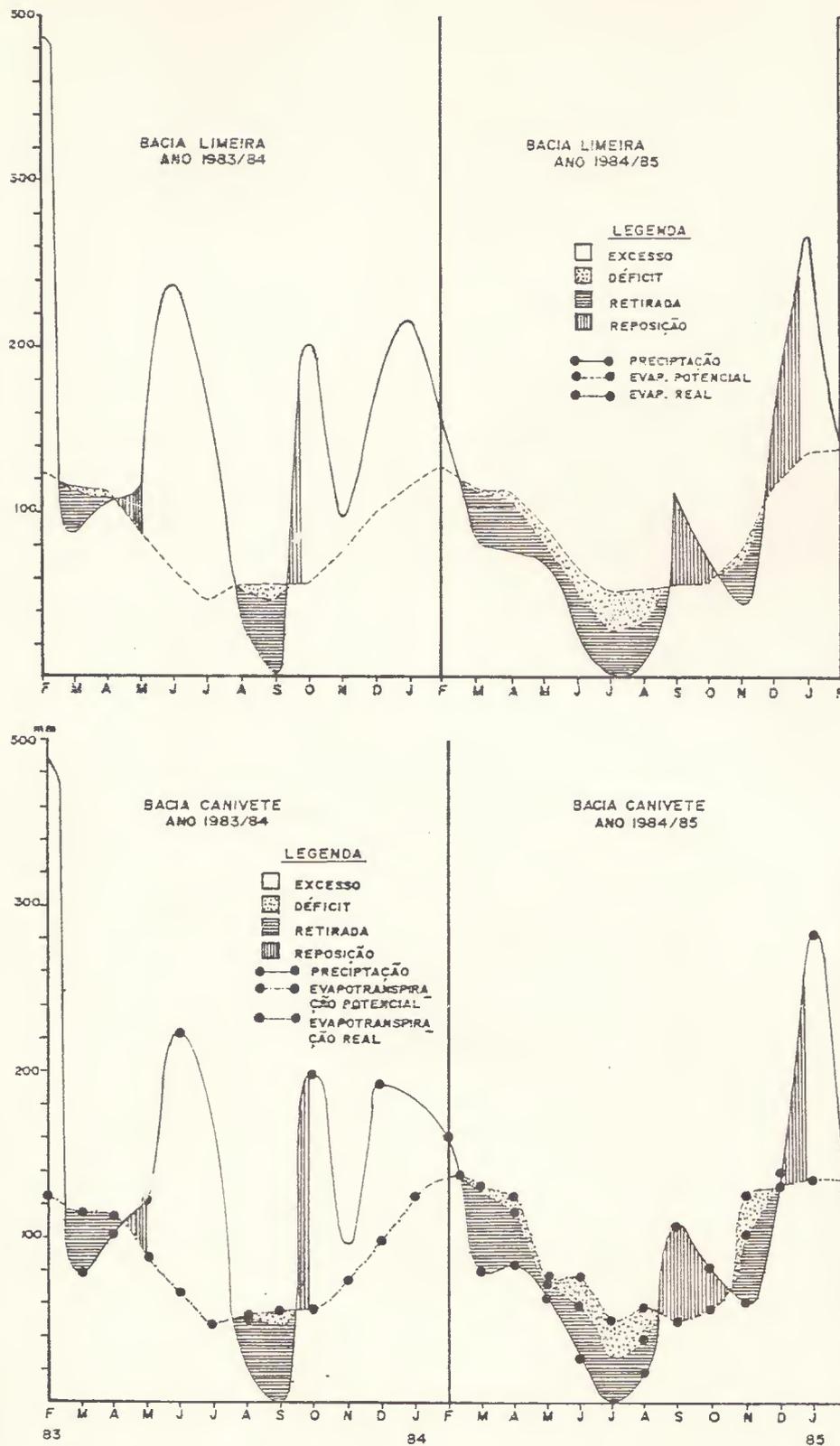


Figura 13 Balanço hídrico mensal segundo THORNTHWAITE & MATHER(1955) das bacias Limeira e Canivete, durante o período experimental.

4.2. Qualidade da água e fluxo de nutrientes

As concentrações médias mensais dos nutrientes analisados no presente estudo, tanto para a água da chuva, quanto para a água do deflúvio das bacias Canivete e Limeira, estão contidas na Tabela 10. Semelhantemente, os valores médios mensais dos parâmetros físicos de qualidade de água estão colocados na Tabela 11.

Embora, para alguns parâmetros físicos, assim como para alguns dos nutrientes, a diferença entre os valores médios da chuva e do deflúvio seja nítida, a significância destas diferenças foi testada através de análise de variância, cujos resultados são mostrados na Tabela 12 e 13.

A magnitude de variação das concentração de NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Fe^{++} na água da chuva (Tabela 10) foi superior aos valores constatados em vários locais (NADP, 1983., SWANK, 1984., SWANK & HENDERSON, 1976., GOLLEY et alii, 1975., STEINHART & FASSBENDER, 1979 e McCOLL, 1981). No período de maio a setembro, provavelmente pode-se atribuir parte deste enriquecimento iônico às queimadas dos canaviais no nordeste e sudeste das

áreas experimentais, como constatado anteriormente por LIMA(1985) e COUTINHO(1979), na região de Agudos e Emas, respectivamente.

As concentrações médias de NO_3^- no deflúvio das bacias Canivete (0,74 mg/l) e Limeira(0,87 mg/l) foram inferiores aos valores constatados por ARCOVA et alii(1985) em Cunha, São Paulo, na Mata Atlântica(1,43 mg/l).

No final do período de medições, ou seja, nos meses de dezembro de 1984 e janeiro de 1985, as operações de reforma e fertilização da área de pastagem na bacia Canivete provavelmente contribuíram para o aumento da concentração média dos nutrientes estudados, tal como constatado por (LIKENS et alii, 1969 e SWANK & DOUGLASS, 1977). Os resultados alcançados por VITOUSEK & REINERS(1975) e SWANK & DOUGLASS(1977), em regiões de clima temperado, foram coerentes com os encontrados neste estudo, em se considerando níveis similares de perturbação ambiental.

Em se tratando da água para consumo humano, os níveis de concentração do NO_3^- estiveram abaixo do limite de tolerância(WHO,1963 e BROWN, SKOUGSTAD & FISHMANN, 1970).

A razão Ca:Mg para a região estudada foi 1.90, indicando a origem continental dos íons Ca^{++}

e Mg^{++} na água da chuva. Provavelmente, também nestes casos pode-se inferir possível influência das queimadas (EATON et alii, 1973; GORE, 1968; COUTINHO, 1979; HOULTON & LESLIE, 1958 e FLINN et alii, 1979).

Quanto aos parâmetros físicos de qualidade da água no deflúvio, os resultados mostraram-se bastante similares entre as duas bacias estudadas, não tendo sido notada diferença significativa entre os valores médios da alcalinidade, do pH, da turbidez, da cor e da condutividade.

Comparativamente entre a água da chuva, todavia, todos os valores médios acima foram superiores nas amostras do deflúvio em ambas as bacias, o que evidencia uma ligeira alteração da qualidade da água após sua interação com a vegetação e com o solo das bacias hidrográficas estudadas.

Tabela 10 Valores médios mensais da concentração de NO₃, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, e Fe⁺⁺ da água da chuva(P) e na água do deflúvio(Q) das bacias Limeira(L) e Canivete(C). [Médias mensais representam médias de amostras semanais coletadas durante o período de fevereiro de 1983 a janeiro de 1985]

Mes	Processo	Nutriente(mg/l)				
		NO ₃	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Fe ⁺⁺
FEV.	P	0,61	0,40	0,43	0,02	0,40
	QL	0,84	0,60	1,50	0,44	0,60
	QC	0,60	1,2	1,20	0,70	2,90
MAR.	P	0,44	0,30	0,51	0,20	0,90
	QL	0,63	0,40	2,20	0,62	1,00
	QC	0,33	0,85	1,60	0,69	2,60
ABR.	P	0,41	0,46	0,41	0,16	0,29
	QL	0,52	0,37	2,16	0,54	0,47
	QC	0,29	1,50	1,38	0,52	1,99
MAI	P	0,85	1,00	0,29	0,12	0,19
	QL	0,99	0,64	0,47	0,55	0,34
	QC	0,75	1,32	1,99	0,49	1,32
JUN	P	0,51	0,15	0,06	0,14	0,90
	QL	1,50	0,51	2,27	0,58	0,99
	QC	0,82	1,11	1,10	0,56	1,52
JUL	P	2,23	0,70	0,71	0,38	0,48
	QL	1,34	0,49	2,46	0,47	0,43
	QC	0,13	0,98	1,28	0,58	0,91
AGO	P	1,20	1,10	1,46	0,27	0,06
	QL	0,93	0,72	2,50	0,50	0,26
	QC	0,78	1,86	1,75	0,59	0,71
SET	P	1,68	0,91	0,72	0,29	0,12
	QL	0,76	0,71	2,32	0,54	0,26
	QC	0,61	1,99	1,43	0,79	1,05
OUT	P	0,47	1,84	0,61	0,13	0,06
	QL	0,36	0,54	2,56	0,52	0,20
	QC	0,61	1,26	2,01	0,64	2,64
NOV	P	1,03	0,88	0,80	0,11	0,06
	QL	1,04	0,54	2,75	0,50	0,24
	QC	0,88	1,41	1,74	0,78	2,27
DEZ	P	0,62	0,78	0,72	0,18	0,02
	QL	0,02	0,51	2,78	0,51	0,22
	QC	1,06	1,58	2,50	1,14	3,18
JAN	P	0,40	0,97	0,55	-	0,06
	QL	0,69	0,56	2,69	-	0,28
	QC	1,00	1,59	3,06	-	4,20

TABELA 11 Valores médios mensais dos parâmetros físicos de qualidade de água da chuva(P) e do deflúvio(Q) nas bacias experimentais Limeira(L) e Canivete(C). [Médias mensais representam médias de amostras semanais coletadas durante o período de fevereiro de 1983 a janeiro de 1985]

Mes	Processo	pH	TURBIDEZ (ftu)	Parametro			
				COR (upc)	COND (umhos/cm)	STD (mg/l)	ALC. (mg/lCaCO ₃)
FEV	P	5,4	2,1	5,8	16,9	6,8	0,68
	QL	6,3	9,4	62,5	29,6	11,5	7,00
	QC	5,8	5,7	87,5	30,6	11,94	7,70
MAR	P	5,6	2,4	3,3	16,9	6,4	1,10
	QL	6,3	10,5	63,1	31,2	12,3	7,30
	QC	5,7	7,7	89,4	29,9	11,9	7,20
ABR	P	6,0	3,2	24,0	18,4	7,3	12,00
	QL	6,3	9,6	59,4	31,3	12,3	7,30
	QC	5,9	4,7	80,0	29,7	11,9	7,20
MAI	P	5,9	3,2	10,6	23,6	9,4	3,70
	QL	6,0	12,4	77,5	33,4	13,10	6,70
	QC	5,7	8,0	77,5	29,4	11,8	6,50
JUN	P	2,8	0,9	1,2	8,5	3,4	0,90
	QL	6,3	14,5	67,5	35,7	14,1	6,6
	QC	6,0	9,2	53,1	29,3	11,6	6,1
JUL	P	6,6	7,8	40,0	16,7	6,5	6,6
	QL	6,5	9,2	57,4	35,4	14,0	7,8
	QC	6,2	4,2	34,5	32,9	12,9	7,1
AGO	P	3,1	2,5	11,7	15,9	6,3	1,4
	QL	6,3	9,5	81,0	38,4	15,1	7,5
	QC	6,2	5,3	63,4	38,4	15,3	8,2
SET	P	5,9	5,4	49,8	23,0	13,1	2,8
	QL	6,5	13,35	87,5	37,9	15,7	7,5
	QC	6,0	7,0	70,6	38,1	15,2	8,4
OUT	P	5,4	4,8	27,5	34,0	1,1	4,0
	QL	6,7	7,5	45,0	38,1	15,1	8,9
	QC	6,2	6,0	99,5	39,6	15,8	9,4
NOV	P	5,7	5,4	24,4	26,1	5,2	2,2
	QL	6,4	11,5	74,4	37,3	14,6	7,5
	QC	5,9	9,0	70,0	42,4	16,9	9,1
DEZ	P	5,4	4,4	19,4	22,9	10,6	1,4
	QL	6,2	13,4	93,7	35,0	13,8	6,4
	QC	5,9	10,7	149,5	38,4	15,2	8,3
JAN	P	5,8	3,7	10,0	26,7	10,7	3,7
	QL	6,4	11,2	53,2	34,0	13,9	7,7
	QC	6,03	13,1	167,5	44,8	17,8	11,5

Tabela 12 Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dos parâmetros químicos da água de precipitação e deflúvio das bacias hidrográficas Canivete(Can) e Limeira(Lim), CAFMA-Agudos, SP. Dados transformados para $\log(x_i + 1)$.

Tratamentos	médias*				
	NO ₃ -	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ mg/l	K ⁺	Fe ⁺⁺
DMS	0,12	0,10	0,04	0,10	0,14
Precipitação	0,56a	0,45a	0,17a	0,54a	0,21a
Deflúvio(Can & Lim)	0,56a	1,07b	0,46b	0,63a	0,69a
DMS	0,12	0,10	0,04	0,10	0,13
Bacia Limeira	0,58b	0,82c	0,29c	0,49c	0,27c
Bacia Canivete	0,54b	0,70d	0,33d	0,68c	0,63d

(*) Médias unidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 13 Comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade dos parâmetros físicos da água da precipitação e deflúvio das bacias Canivete (Can) e Limeira(Lim)CAFMA,Agudos. Dados transformados em $\log(x_i + 1)$

	Alcalinidade (mg/l CaCO ₃)	STD (mg/l)	Médias* Cond (umhos/cm)	Cor (APHA)	Turb (FTU)	pH
DMS	0,17	0,30	0,30	0,41	0,21	0,16
PREC.	1,08a	1,85a	2,78a	2,33a	1,42a	1,75a
DEFL(Can&Lim)	2,15b	2,68b	3,56b	4,29b	2,23b	1,96b
DMS	0,17	0,30	0,33	0,41	0,21	0,16
BACIA LIM.	1,60c	2,27c	3,18c	3,26c	1,74c	1,87c
PACIA CAN.	1,63c	2,27c	3,18c	3,36c	1,91c	1,84c

(*) Médias unidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Pelos dados da Tabela 14, observa-se que alguns destes parâmetros físicos guardam certa correlação com a presença de certos ions em solução na água, o que está coerente com o aumento da concentração de nutrientes estudados na água do deflúvio, em relação aquela da água da chuva.

Os valores semanais dos parâmetros físicos e das concentrações de nutrientes verificadas para o deflúvio das bacias experimentais foram submetidas a análise de regressão, numa tentativa de se obter possíveis correlações que pudessem facilitar o entendimento dos resultados obtidos. Os modelos mais representativos destas análises são resumidos na Tabela 14.

Tabela 14 Principais equações de regressão para parâmetros físicos e concentração de nutrientes obtidas com os 54 valores semanais medidos durante o período de medições das bacias Canivete (Can) e Limeira (Lim).

EQUAÇÃO	r ²	F
Log Alcalinidade Can = 1,57 + 0,01 Ca ⁺⁺	0,63	**
Turbidez Can = -3,20 + 0,11 Ca ⁺⁺	0,81	**
Turbidez Lim = -1,33 + 1,22 Fe ⁺⁺	0,58	**
Cor Can = 9,41 + 1,23 Ca ⁺⁺	0,81	**
Cor Lim = -4,54 + 8,75 Fe ⁺⁺	0,52	**

(*) Altamente significativo (P < 0,01).

Na Tabela 14 observa-se que o ion Ca⁺⁺ estar relacionado com a alcalinidade, turbidez e cor na água do deflúvio da bacia Canivete devido, provavelmente, a maior lixiviação deste cátion da área de pastagem cultivada. Por outro lado, a relação significativa do Fe⁺⁺ com os valores da cor e turbidez na bacia Limeira pode ser atribuída a presença de deste ions associado ao transporte de substâncias húmicas na forma de óxidos e hidróxidos oriundos de sítios hidromórficos ricos em matéria orgânica a montante do local de coleta.

Os valores médios do pH da água da chuva do deflúvio das bacias experimentais variaram de 5,5 a

5,6 estando, portanto, dentro da magnitude de variação de resultados médios considerados em águas naturais (HEM, 1970; APHA, 1975 e FLINN et alii, 1979). Estes resultados demonstram que as diferenças entre as coberturas vegetais e o manejo adotados nos ecossistemas estudados não provocaram variações mensuráveis durante as medições.

A condutividade na água do deflúvio das bacias experimentais apresentou uma distribuição regular ao longo do período de medições, com características semelhantes aos valores verificados em ecossistemas não perturbados (LIKENS et alii, 1977). Todavia, na bacia Canivete constatou-se picos na ordem de 95 umhos/cm no final do período experimental, na mesma época em que foram realizadas medidas de reforma e fertilização na área de pastagem desta microbacia. Este padrão de variação foi semelhante à resposta de bacias submetidas a remoção da vegetação em Hubbard Brook, nos Estados Unidos (LIKENS et alii, 1977).

A Tabela 15 mostra os resultados dos fluxos mensais de NO_3^- , Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} e Fe^{++} nas bacias experimentais durante o período experimental e a Tabela 16, por sua vez, contém os resultados do balanço anual de nutrientes, correspondendo à diferença entre os valores obtidos no processo de entrada via água da chuva e saída pela água do deflúvio, para os íons NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Fe^{++} , durante os dois anos de medições.

TABELA 15 Valores médios mensais do fluxo de nutrientes em kg/ha na água chuva (P) e na água do deflúvio(Q) das bacias Canivete(C) e Limeira(L). [Médias mensais representam médias de amostras semanais coletadas durante o período de fevereiro de 1983 a janeiro de 1985]

Mes	Processo	Fluxo de nutrientes(kg/ha)				
		NO3	Ca++	K+	Mg++	Fe++
FEV	P	0,120	0,820	0,001	0,079	0,076
	QL	0,040	0,054	0,180	0,027	0,028
	QC	0,010	0,011	0,009	0,017	0,040
MAR	P	0,160	0,110	0,051	0,064	0,310
	QL	0,020	0,066	0,019	0,012	0,036
	QC	0,002	0,012	0,005	0,006	0,020
ABR	P	0,080	0,091	0,038	0,066	0,060
	QL	0,010	0,054	0,013	0,009	0,012
	QC	0,002	0,010	0,004	0,004	0,008
MAI	P	0,120	0,090	0,028	0,122	0,064
	QL	0,030	0,060	0,014	0,016	0,070
	QC	0,004	0,009	0,004	0,011	0,011
JUN	P	0,740	0,087	0,440	0,180	1,132
	QL	0,120	0,011	0,031	0,028	0,090
	QC	0,010	0,012	0,007	0,016	0,026
JUL	P	0,305	0,063	0,013	0,060	0,045
	QL	0,040	0,062	0,014	0,009	0,015
	QC	0,014	0,009	0,004	0,006	0,005
AGO	P	0,300	0,230	0,047	0,214	0,000
	QL	0,030	0,070	0,014	0,020	0,008
	QC	0,004	0,010	0,004	0,008	0,004
SET	P	0,530	0,230	0,069	0,234	0,013
	QL	0,030	0,080	0,011	0,163	0,010
	QC	0,003	0,010	0,003	0,013	0,006
OUT	P	0,140	0,124	0,064	0,517	0,004
	QL	0,000	0,052	0,011	0,011	0,005
	QC	0,000	0,012	0,005	0,007	0,014
NOV	P	0,340	0,315	0,067	0,757	0,026
	QL	0,300	0,055	0,014	0,014	0,008
	QC	0,010	0,044	0,004	0,008	0,011
DEZ	P	0,270	0,370	0,058	0,389	0,006
	QL	0,040	0,099	0,019	0,018	0,010
	QC	0,010	0,014	0,005	0,012	0,275
JAN	P	0,170	0,019	0,058	0,330	0,035
	QL	0,280	0,092	0,018	0,123	0,010
	QC	0,005	0,018	0,007	0,105	0,026

Tabela 16 Entrada média anual de nutrientes pela precipitação(P), saída média anual via deflúvio(Q) e respectivo balanço médio anual para as bacias experimentais(P-Q) em kg/ha/ano para o período de fevereiro de 1983 a janeiro de 1985.

Nutriente	Bacia					
	Canivete			Limeira		
	P	Q	P-Q	P	Q	P-Q
N03-	3,31	0,06	+3,15	3,15	0,42	+2,70
Ca++	1,99	0,14	+1,85	1,96	0,86	+1,10
Mg++	0,94	0,07	+0,87	0,91	0,20	+0,71
K+	3,10	0,12	+2,99	2,93	0,21	+2,72
Fe++	1,86	0,20	+1,66	1,89	0,24	+1,64

O confronto dos dados da Tabela 15 e 16 com resultados de trabalhos similares mostra que os fluxos de NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ via atmosfera nas áreas experimentais foram inferiores aos valores constatados em áreas poluídas e sob influência oceânica(LIKENS et alii, 1977; PIERCE et alii, 1970; ARCOVA et alii, 1985 e SWANK & DOUGLASS, 1977). Os fluxos médios de NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} e K^+ na água do deflúvio das bacias experimentais foram inferiores aos valores constatados em ecossistemas não perturbados em vários locais(LIKENS et alii, 1969; PIERCE et alii, 1970; AUBERTIN &

PATRIC, 1974; ART et alii, 1974; LIKENS et alii, 1977; SWANK & DOUGLASS, 1977 e ARCOVA et alii, 1985). O ecossistema da bacia Limeira apresentou maior perda de Ca^{++} durante o período de medições, provavelmente, devido a maior produção de água, por outro lado, constatações semelhantes foram apresentadas por JORDAN & KLINE (1972) e SPURR (1979), em plantações de coníferas em regiões temperadas.

Os resultados dos fluxos de Mg^{++} na água do deflúvio das bacias experimentais estiveram muito abaixo daqueles considerados em vários estudos em regiões de clima tropical e temperado (GOLLEY et alii, 1975; LIKENS et alii, 1977; PIERCE et alii, 1970; JORDAN & KLINE, 1972 e SILVA FILHO et alii, 1985).

Os fluxos de Fe^{++} pela água da chuva nas bacias experimentais foram superiores aos resultados obtidos por STEINHART & FASBENDER (1979) na Venezuela e inferior aos valores constatados por GOLLEY et alii (1975) no Panamá. O maior fluxo de Fe^{++} na bacia Limeira em relação a bacia Canivete deve estar associado ao transporte de substâncias húmicas na forma de óxidos e hidróxidos. Neste contexto, constatações semelhantes foram obtidas em vários trabalhos (BROWN, SKOUGSTAD & FISHMANN, 1976; FELLER & KIMMINS, 1979 e LIMA, 1986).

Com base no balanço médio anual dos nutrientes (Tabela 16), os resultados indicam, na concepção de BORMANN & LIKENS (1979), que os ecossistemas estudados encontram-se na fase de acumulação dos íons NO_3^- , Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Fe^{++} . Esses resultados evidenciam que nos ecossistemas pesquisados as medidas silviculturais adotadas, como os desbastes sistemáticos, a fertilização e reforma da área de pastagem, não perturbaram irreversivelmente o funcionamento das bacias quanto ao processo de ciclagem de nutrientes (VITOUSEK & REINERS, 1975 e BORMANN & LIKENS, 1979).

Os resultados de direção, magnitude, fluxo e balanço anual dos nutrientes nas bacias experimentais estão coerentes com os obtidos em vários estudos realizados em diferentes coberturas vegetais e sob diversas condições de manejo. Estes resultados, ainda, estão também coerentes com as conclusões de DICK & COOK (1984), que analisaram os efeitos de plantações de coníferas do gênero *Pinus* sobre a qualidade da água e conservação de nutrientes pelas bacias, evidenciando resultados positivos à medida que os povoamentos se desenvolviam.

5. CONCLUSÕES

Em razão da natureza do trabalho experimental, que envolveu a análise de dados coletados durante dois anos de medições, os resultados alcançados devem ser considerados como preliminares, sugestivos e não conclusivos, indicativos das condições de funcionamento hidrológico das bacias estudadas no que diz respeito ao balanço hídrico, à qualidade da água e ao balanço de nutrientes.

. Durante o período experimental a produção de água da bacia Limeira foi maior que a Canivete.

. Os desbastes seletivos implementados durante os últimos meses de medição do deflúvio na bacia Limeira não causaram nenhum efeito mensurável no regime de produção de água.

. No período de medições não foi constatada diferença significativa entre os valores médios da alcalinidade, pH, turbidez, cor e da condutividade.

. A ordem da concentração dos íons na água da chuva foi: $\text{NO}_3^- > \text{Ca}^{++} > \text{Fe}^{++} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++}$.

. Na água do deflúvio, os íons assumiram as seguintes ordens : $Fe^{++} > Ca^{++} > K^{+} > NO_3^{-} > Mg^{++}$ e $Ca^{++} > Fe^{++} > NO_3^{-} > K^{+} > Mg^{++}$, para as bacias experimentais Canivete e Limeira, respectivamente.

. As concentrações de NO_3^{-} , Ca^{++} , Mg^{++} e K^{+} na água da chuva aumentaram sensivelmente durante os meses de ocorrência de queimadas nos canaviais da região.

. Os balanços dos nutrientes nas bacias experimentais indicaram uma acumulação destes íons nos ecossistemas, como segue (Kg/ha/ano): $NO_3^{-} : 3,2$; $Ca^{++} : 1,85$; $Mg^{++} : 0,85$; $K^{+} : 2,98$ e $Fe^{+} : 1,66$, na bacia Canivete e $NO_3^{-} : 2,73$; $Ca^{++} : 1,0$; $Mg^{++} : 0,712$; $K^{+} : 2,72$ e $Fe^{++} : 1,64$ na bacia Limeira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; Y. HASUI; W.L. POÇANO; A.S.L. DANTAS; C.D.R. CARNEIRO; M.S. MELO & C.A. BISTRICH. Mapa geográfico do Estado de São Paulo. São Paulo, IPT-Divisão de Minas e Geologia Aplicada, vol. 1,2. 1981., 126pp.
- APHA Standards methods for the examination of water and wastewater. 13 th edition. Washington, American Public Health Association, Inc., 1975, 119p.
- ARCOVA, F.G.S.; V. CICCIO & W.P. LIMA. Balanço dos nutrientes Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, K⁺ e NO₃⁻ em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Cunha, SP. Piracicaba, IPEF, 61-67, 1985.
- ART, A.W.; F.H. BORMANN & G.M. WOODWELL. Barrier island forest ecosystem: role of meteorologic nutrient inputs. SCIENCE, Washington, 134(4132): 60-62, abr.; 1974.
- AUBERTIN, G.M. & J.M. PATRIC. Water quality after clearcutting a small watershed in West Virginia. Journal of Environmental Madison, 3(3): jul/set, 1974.
- BORMANN, F.H. & G.E. LIKENS. Nutrient cycling. Science, Washington, 155:424-429, 1967.
- BORMANN, F.H. & G.E. LIKENS. Patterns and process in a forested ecosystem. New York, Springer Verlag. 1979, 253pp.
- BOSCH, J.M.E. & J.D. HEWLETT. A review of catchment experiment to determine the effects of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. Water Resource Research, Washington, 55:3-23, 1982.
- BRAKENSIEK, D.L. & G.R. AKERMAN. Evaluating effects of land use on streamflow. Agric Eng, Madison, 167(41):158-161, 1960.
- BREN, L.J.; D.W. FLINN; P. HOPMANS & J. LEIAT. The hydrology of small forested catchments in north eastern Victoria: establishment of Cropper Creek Project. Bulletin of the Forest Comission, Victoria, 27:1-44, 1979.

- BROWN, G.W.; M.W. SKOUGSTAD & M.J. FISHMANN. Methods for collection and analysis of water samples for dissolved mineral and gases. Washington, United States Geological Survey, 1970, 160pp.
- CASTRO, P.S. Influencia da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas. Piracicaba, Diss. de Mestrado-ESALQ-USP., 1980. 107p.
- COUTINHO, E.A. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado: a precipitação atmosférica de nutrientes minerais. São Paulo, Revista Brasileira de Botânica, São Paulo. 2:97 - 101, 1979.
- CUMMINS, K.W. Structure and function of stream ecosystems. Bioscience, Washington, 24(11):631-641, nov.1974.
- DASMANN, R.F. Environmental Conservation. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1976. 375p.
- DAVIS, E. A. & L.F. DEBANO Nitrate increases in soil water following conversion chaparral to grass. Biogeochemistry Dordrecht, 3:53-65, jun.1986.
- DOUGLASS, J.E. The potential for water yield augmentation in eastern United States. Water Resource Bulletin, Washington, 19(3): 351-358, abr, 1983.
- DUNFORD, E.G. & P.W. FLETCHER. Effect of removal of streambank vegetation upon water yield. American Union Transactions, Washington, 28(1): 105-110, 1947.
- DYCK, W.J. & J.G. COOK. Exotic forestry and its effect on water quality. In: University of Waikiki, Proceedings of the Waters of Naikato Seminars, Waikiki, p.63-84.1984.
- EATON, J.S.; G.E. JONES & F.H. BORMANN. Throughfall and stemflow chemistry in northern hardwood forest. Journal of Ecology, New York, 61: 495-508, 1973.
- EVANS, J. Plantation forestry in the tropics. Oxford, Clarendon Press. 1982. 472p.
- FELLER, M.C. & J.P. KIMMINS. Chemical characteristics of small streams near Haney in Southwestern Columbia. Water Resources Research, Washington. 15(2): 247-258, 1979.

- FLINN, D.W.; L.J. BREN & P. HOPMANS. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in streamwater from small forested catchments. Australian Forestry, Canberra. 42(1):39-49, 1979.
- GOLLEY, F.B., J.T. MCGINNIS; R.C. CLEMENTS; G.I. CHILD & M.T. DUER. Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. Athens, University of Georgia Press, 1975. 245p.
- GORE, A.J.P. the supply of six elements by rain to an upland plot area. Journal of Ecology, Oxford, 56: 483-495, 1968.
- HEM, J.D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. United States Department of Interior, Geological Survey, Washington, 1970. 363p.
- HENDERSON, G.S.; W.T. SWANK; J.B. WAIDE & C.C. GRIER. Nutrient budgets Appalachian and Cascade region watershed: a comparison. Forest Science, Bethesda, 24(3): 385-397, 1978.
- HEWLETT, J.D.; H.W. LULL & K.G. REINHART. In defense of experimental watersheds. Water Resources Research, Washington, 5(1): 306-316, feb. 1969
- HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: SOPPER, W.E. & H.W. LULL eds. Proceedings of International Symposium on Forest Hydrology Oxford, Pergamon Press, 1967, p.527-543.
- HOOVER, M.D. Effect of removal of forest vegetation upon water yield. Trans. Amer. Geophys. Union. Washington. 6p. 1944.
- HORNBECK, J.W.; E.S. CORBERT; P.D. DUTTY & J.E. LYNCH. Forest hydrology and watershed management. In: Wenger, K.F. ed. Forestry Handbook. 2nd edition, New York, John Wiley & Sons, 1984.
- HOULTON. J.T. & T.J. LESLIE. Accretion of nitrogen dissolved in rain water to soil in Victoria. J. Agric. Res. Madison, 5:492-507, 1958.
- JOHNSON, D.W. & D.W., COLE. Anion mobility in soils: relevance to nutrient transport from terrestrial to aquatic ecosystems. Ecological Research Series, EPA, Corvallis, 1977. 27p.
- JOHNSON, N.M.; G.E. LIKENS; F.H. BORMAN & R.S. PIERCE. Rate of chemical weathering of silicate minerals in New Hampshire. Geochim. Cosmochim. Acta, London, 32:531-545, 1968.

- JOHNSON, P.L. & W.T. SWANK. Studies of cation budgets in the southern Appalachians on four experimental watersheds with contrasting vegetation. Ecology, Durham, 54(1): 70-80, 1973.
- JONES, E. Contribution of rainwater to the nutrient economy of soil in Northern Nigeria. Nature, London, 188: 422-423, 1960.
- JORDAN, C.F. Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: Principles and their applications in management and conservation. Chichester, John Wiley & Sons. 1985 . 179p.
- JORDAN, C. F. & J.R. KLINE. Mineral cycling: some basic concepts and their application in a tropical rain forest. Annual review of Ecology and Systematics, New York, 3:33-50, 1972.
- KELLMANN, M.; J. HUDSON & K. SANMUGADAS. Temporal variability in atmospheric nutrient influx to a tropical ecosystem. Biotropica, Washington, 14(1):1-9, 1982.
- KINJO, T.E. & P.F. PRATT. Nitrate adsorption in some acid soils of Mexico and South America. Soil Science Soc. of Amer. Proc., Madison, 31(6):722-725, 1977.
- KOVNER, J.L. Effect on streamflow of cutting a forest understory. Forest Science, Bethesda, 2(2):82-91, 1956.
- LEE, R. Theoretical estimation versus forest water yield. Water Resources Research, Washington, 6:1327-1334, 1970.
- LIKENS, G.E.; F.H. BORMANN & N.M. JOHNSON. Nitrification: importance to nutrient losses from a cut-over forested ecosystems. Science, Washington, 163:1205-1206, mar. 1969.
- LIKENS, G.E.; F.H. BORMANN; R.S. PIERCE; J.S. EATON & N.M. JOHNSON. Biogeochemistry of a forested ecosystems. New York, Springer Verlag, 146pp, 1977.
- LIMA, W. de P. Hydrologic behavior of two small watersheds in West Virginia undergoing natural reforestation. (Diss. MS-The Ohio State University), 1971. 144p.
- LIMA, W. de P. Ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em cerrado. IPEF, Piracicaba, (30):13-17, ago. 1985.
- LIMA, W. de P. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1986, 242p.

- LOPES, A. Solos sob cerrado: Características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1983. 144pp
- LOWRANCE, R.; R.TODD; J.FAIL; O. HENDRICSON; R. LEONARD & L. ASMUNSSSEN. Riparian forests as nutrient filters in agricultural watersheds. Bioscience, Washington, 34:374-377, jun. 1984.
- LULL, H.W. & K.G. REINHART. Increasing water yield in the northeast by management of forested watersheds. Forest Service Research Paper USDA, Upper Darby, NE-66, 1967. p.63
- MARTIN, C.W. Precipitation and stream water chemistry in an undisturbed forested watershed in New Hampshire. Ecology, Durham, 60(1):36-42, 1972.
- McCOLL, J.G. Trace elements in the hidrologic cycle of a Forest Ecosystems. Plant and Soil, Amsterdam, 62(3):337-349, 1981.
- NATIONAL ATMOSPHERIC DEPOSITION PROGRAM: NADP/NTN Annual Data Summary: Precipitation chemistry in the United States. Fort Collins, Natural Resources Ecology Laboratory, Colorado State University, 1963. 363pp.
- ODUM, E.P. Fundamentals of Ecology. 3th edition, Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1971, 574pp.
- ODUM, E.P. The strategy of ecosystems development. Science, New York, 164:262-270, 1969.
- ODUM, E.P. Trends in stressed ecosystems. Bioscience, Washington, 35(7):419-421, jul/ago, 1985.
- PIERCE, R.S.; J.W. HORNBECK; G.E. LIKENS & F.H. BORMANN. Effect of elimination of vegetation on stream water quantity and quality. In: IASH-UNESCO Proceedings Symposium on the results of research on representative and experimental basins. Wellington, International Association of Hydrology, December, 1970.
- POÇANO, W.L.; C.D.R. CARNEIRO; F.M. ALMEIDA & F.L. LANDIM. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo, Divisão de Minas e Geologia Aplicada. IPT, 1981., 93pp.
- POGIANNI, F. Nutrient cycling in EucalyptusePinus plantations ecosystems: Silvicultural implications. IPEF, Piracicaba, 31:33-40, dez. 1985.

- POPE, W. Impact of man in catchments: roads and urbanization. In: GOWER, A.M. ed. Water quality in catchment ecosystems. Chichester, John Wiley & Sons, 1980, p-73-112.
- RANZANI, G. Carta de solos da Fazenda Agroflorestal Monte Alegre., Piracicaba, Centro de Estudos de Solos, ESALQ-USP, 1971. 31pp.
- ROWE, P.B. & L.F. REIMANN. Water use by brush and grassland vegetation. Journal of Forestry, Washington, 59(3):175-180, mar. 1961.
- RUSSEL, C.E. Nutrient cycling and productivity of native and plantation forests at Jari Florestal, Pará, Brazil. Athens, 1983. 106pp (Diss Doutoramento UGA/USA).
- SILVA FILHO, E.V.; A.R.C. OVALLE & I.F. BROWN. Estudo biogeoquímico das entradas atmosféricas de Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ e Mg⁺⁺ na bacia do Alto Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, RJ. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, 1984. p.4729-4745
- SILVA FILHO, E.V.; A.R.C. OVALLE & I.F. BROWN. Balanço de nutrientes em floresta tropical úmida, Parque Nacional da Tijuca. In: Seminário Regional sobre Ciclagem de Nutrientes em ecossistemas terrestres e aquáticos. São Carlos, 1985. p. 349-369.
- SPURR, S.H. Silviculture. Scientific American, New York, 240(2):76-91, fev. 1979.
- STARK, N. & C.F. JORDAN. Nutrient retention by root mat of an amazonian rain forest. Ecology, Durham, 59:434-437, jun. 1978.
- STEINHARDT, V. & H.W. FASSBENDER. Características y composición química de las lluvias de los Andes Occidentales de Venezuela. Turrialba, Turrialba, 29(3):175-182, abr., 1979.
- STRALHER, A.N. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel network. In: Chow, V.T. (ed). Handbook of Applied Hydrology. New York, McGraw Hill Book Company. 1964. p. 39-76.
- SWANK, W.T. & G.S. HENDERSON. Atmospheric input of some cations and anions to forest ecosystems in North Carolina and Tennessee. Water Resources Research, Washington, 12:541-546, 1976.

- SWANK, W.T. & J.E. DOUGLASS. Nutrient budget for undisturbed and manipulated, hardwood forest ecosystems in the mountains of North California. In: CORREL, D.L. (ed) Proceedings of Watershed Research in Eastern North America. Edgewater, Smithsonian Institution, 1977. v.1., p-343-364.
- SWANK, W.T. & J.B. WAIDE. Interpretation of nutrient cycling research in a management strategies on site productivity. In: Forests: Fresh perspectives from analysis. Corvallis, Annual Biological Colloquium, Oregon State University Press, 1980. p.137-157.
- SWANK, W.T. Atmospheric contribution to forest nutrient cycling in North Carolina. Water Resources Bulletin, Washington, 20(3):313-321, jun.1984.
- SWIFT, L.W. JR.; W.T. SWANK; J.B. MARTIN; R.J. LUXMORE & R.A. GOLDSTEIN. Simulation of evapotranspiration from mature cut and young pine plantation. Water Resources Research, Washington, 11:667-673, sept., 1975.
- THORNTHWAITE, C.W. & J.R. MATHER. The water balance. Centerton, Drexel Institute of Technology, Publication in Climatology, 1955.
- VITOUSEK, P.M.; J.R. GOSZ.; C.C. GRIER; J.M. MELILLO; W.A. REINERS & R.L. TODD. Nitrate losses from disturbed ecosystems. Science, Washington, 204(4):469-474, may, 1979.
- VITOUSEK, P.M. & P.A. MATSON. Mechanism of nitrogen retention in forest ecosystems: a field experiment. Science, Washington, 225(4657):51-52, 1984.
- VITOUSEK, P.M. & W.A. REINERS. Ecosystem succession and nutrient retention: A hypothesis. Bioscience, Washington, 25(6):376-381, jun., 1975.
- WHITEHEAD, H.G. & J.H. FETH. Chemical composition of rain, dry fallout, and bulk precipitation at Menlo Park, California, 1957-1959. Journal of Geophysical Research, Washington, 69(16):3319-3333, aug., 1964.
- WOODMANCE, R.G. & L.S. WALLACH. Effects of fire regimes on biogeochemical cycles. in: CLARK, F.E. & ROSSWALL, T. (eds) Terrestrial nitrogen cycles: processes, ecosystems strategies and management impacts. Ecoll. Bull., Stockholm, 33:649-669, 1979.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. International Standards for drinking water. Geneva, WHO, 1963, 190pp.

