

**CICLAGEM DE NUTRIENTES MINERAIS NA MATA MESÓFILA SECUNDÁRIA –  
SÃO PAULO. II – O PAPEL DA PRECIPITAÇÃO NA IMPORTAÇÃO E  
TRANSFERÊNCIA DE POTÁSSIO E FÓSFORO.**

**CYCLING OF MINERAL NUTRIENTS IN A SECONDARY SEMIDECIDUOUS  
FOREST – SÃO PAULO. II – THE ROLE OF RAINFALL AND THROUGHFALL ON  
THE TRANSFER OF POTASSIUM AND PHOSPHORUS.**

*Marico Meguro<sup>(1)</sup>, Gilberto Napoleón Vinueza<sup>(2)</sup> e Welington Braz Carvalho Delitti<sup>(1)</sup>.*

**SUMMARY** – This paper studies the input and transfer of potassium and phosphorus by rainfall water and throughfall water in a secondary semideciduous forest located in a metropolitan area of São Paulo – (23° 33' S, 46° 43' W) – State of São Paulo. 68% of annual rainfall reached the soil surface during the period of experiment. The potassium input by rainfall was 2,3 kg.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> and 126 kg.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> reached the soil surface by throughfall. The phosphorus input was 1,12 kg.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> and the amount washed by throughfall water 7,5 kg.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>. These quantities represent more than 70% of potassium and 40% of phosphorus of the total amount annually recycled by litter-fall and throughfall.

**RESUMO** – Este trabalho estuda o papel da precipitação na importação e transferência de potássio e fósforo na reserva da mata mesófila secundária localizada na área metropolitana de São Paulo-S.P. (23° 33' S; 46° 43' W). Os resultados obtidos mostram que cerca de 68% da precipitação atingiu efetivamente a superfície do solo, atravessando a cobertura vegetal no período do experimento. Cerca de 2,3 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de potássio foram importados através da precipitação incidente e nada menos de 126 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> chegaram à superfície do solo da mata, conduzidos pela água de gotejamento. Quanto ao fósforo cerca de 1,12 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> foram trazidos pela água de precipitação livre e sua participação na água de gotejamento foi muito menor (7,5 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) em relação ao potássio. Em termos globais de transferência via folheto e água de precipitação, mais de 70% de K e mais de 40% do P foram conduzidos pela água de chuva.

**INTRODUÇÃO**

A água de precipitação pluvial exerce um destacado papel no processo de ciclagem dos minerais nos ecossistemas florestais, atuando, de um lado, como importador de diversos elementos, nutrientes ou não, e de outro, como principal veículo de transferência de muitos deles da copa à superfície do solo coberto pelo folheto. A fração que penetra no solo contribui, por sua vez, para a exportação dos nutrientes do ecossistema, através da maior ou menor lixiviação e condução dos elementos ao lençol freático e deste à bacia de drenagem.

De todos os nutrientes minerais, o potássio constitui, pela grande mobilidade, um dos elementos de maior expressão na água de chuva, especialmente a que atravessa o dossel e goteja na superfície do solo. O fósforo, por outro lado, é considerado elemento limitante

(1) Depto. de Ecologia Geral, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo – CP 11461, 05421 São Paulo.

(2) Equador – Quito. Bolsista do Ministério das Relações Exteriores. Estagiário do Depto. de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo no período de 1975 a 1977.

nos ecossistemas tropicais úmidos, estando concentrado em maior proporção na biomassa que no solo e cicla, como no caso do potássio, rapidamente através do sistema (Golley *et al.* 1975).

O objetivo do presente trabalho é o estudo da importação do potássio e do fósforo pela água de precipitação incidente e a ordem de grandeza da transferência destes elementos ao solo, através da ação filtrante da cobertura vegetal.

Os estudos foram conduzidos na reserva florestal localizada no "Campus" da Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira" — São Paulo-S.P., cujas características estão descritas de modo sucinto nos trabalhos de Varanda (1977) e Meguro *et al.* (1981).

## MATERIAL E MÉTODOS

*Coleta de água de gotejamento e de precipitação* — A água de precipitação que atravessa o dossel e goteja na superfície do solo, foi captada mensal ou quinzenalmente, por meio de 11 pluviômetros de polietileno distribuídos ao acaso no interior da mata. Os funís, com cerca de 63,61 cm<sup>2</sup> de abertura, eram munidos de uma tela de "nylon" na base e ligados aos recipientes por meio de um tubo estreito de polietileno a fim de evitar a evaporação. A abertura dos funís foi mantida a uma altura de 30 cm do solo. A água de precipitação livre ou incidente foi coletada, paralelamente, por meio de 4 pluviômetros localizados fora da mata, acima do nível da cobertura vegetal. Em todos os recipientes foram colocados cristais de timol (Lemée 1974).

Os experimentos foram realizados no período de abril de 1976 a março de 1977, com algumas observações que se prolongaram até julho do mesmo ano.

Os dados de precipitação livre, em frações mensais, foram posteriormente comparados com aqueles do posto meteorológico do Centro Tecnológico da Hidráulica — DAEE — EPUSP, para a verificação das diferenças eventualmente devidas ao tipo e localização dos pluviômetros.

*Determinação do pH e análises de potássio e fósforo* — Logo após a medida do volume de água captada em cada pluviômetro, foram efetuadas as determinações de pH em cada uma das amostras. Alíquotas de amostras filtradas em papel analítico foram submetidas às análises de potássio por espectroscopia de emissão (Fotômetro de chama de Evans Electro-selenium, mod. Mark II) e de fosfato solúvel por método colorimétrico de fosfo-molibdato azul, utilizando-se redutante cloro-estano (Jackson 1967). Os resultados foram expressos em ppm, kg.ha<sup>-1</sup>.mes<sup>-1</sup>, ou ainda, em kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS

*Dados pluviométricos obtidos no período de observação* — A quantidade total de precipitação incidente nos 12 meses de estudo na mata (abril/76 — março/77), por meio de pluviômetros de polietileno, foi de 1443,40 mm. Este resultado, quando comparado com o fornecido pelo posto meteorológico da Cidade Universitária (Centro Tecnológico de Hidráulica — DAEE-EPUSP—, revelou ser inferior, cuja diferença (14,4%) foi atribuída, principalmente, à área de abertura e à altura da localização dos funis dos pluviômetros. Segundo Schnock (1973), a coleta de precipitação livre efetuada acima do nível da cobertura da mata apresenta, sempre valores inferiores àqueles obtidos nas proximidades da superfície do solo, num local totalmente aberto, em virtude do maior ou menor tubilhonamento, dependente da velocidade do vento e estrutura do dossel. Esta diferença será traduzida por uma subestimativa no valor da interceptação e superestimativa da água de gotejamento. Por outro lado, a parte da precipitação que chega ao solo por escorrimento

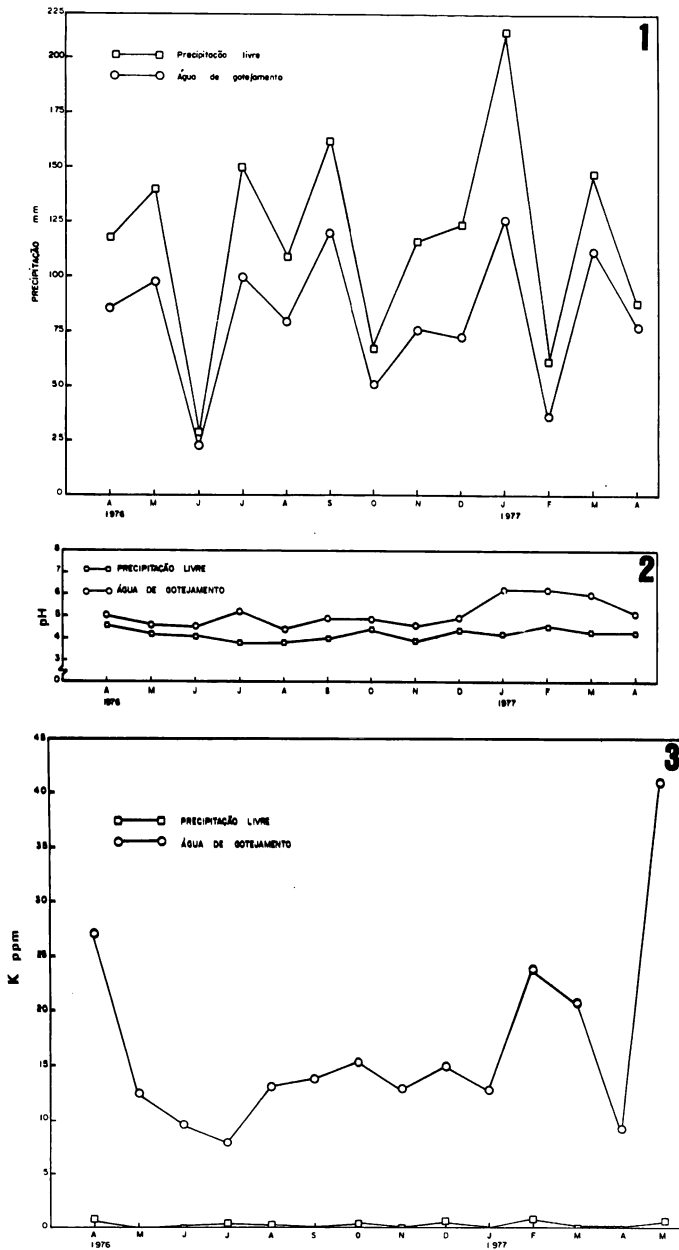


Fig. 1 - Precipitação livre e água de gotejamento na mata mesófila secundária, São Paulo. Fig. 2 - pH da água de precipitação livre e de gotejamento. Fig. 3 - Concentração de potássio na água de precipitação livre e de gotejamento.

Fig. 1 - Rainfall and throughfall in a secondary forest, São Paulo. Fig. 2 - pH of rainfall water and throughfall water. Fig. 3 - Potassium concentration in rainfall water and throughfall water.

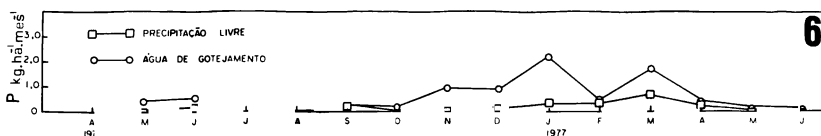
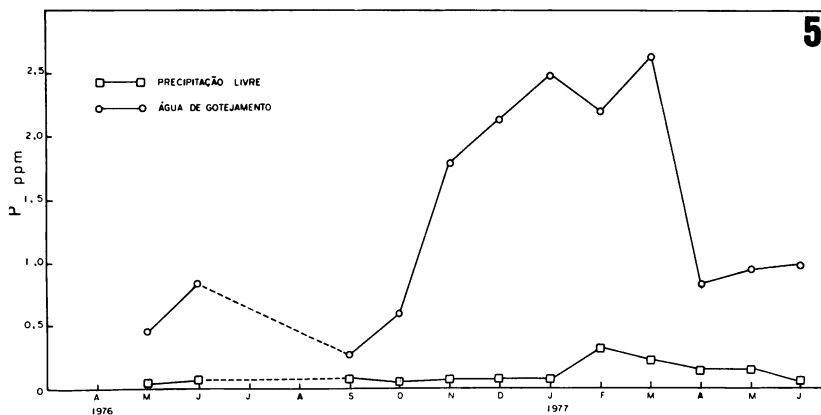
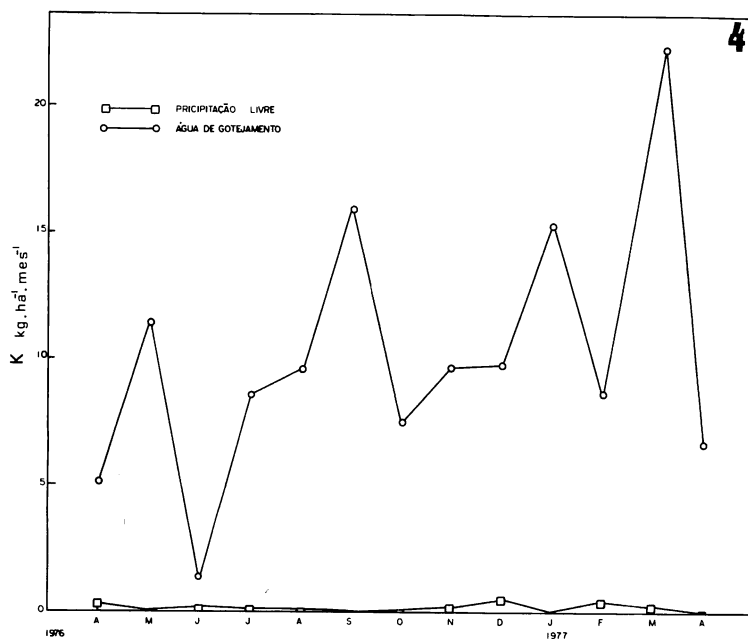


Fig. 4 - Quantia  
centração de fós  
fósforo na água c

1 2 3  
1 1 1  
2 1 1

sio na água  
ipitação livi  
de gotejam

1 1 1  
1 1 1  
1 1 1

livre  
ento. 6  
6

mento  
Quantia  
6

5 - Con

mensual de

Fig. 4 - Amoun  
Phosphorus conc  
in monthly collec

1 2 3  
1 1 1  
2 1 1

monthly col  
water and  
throughfa

1 1 1  
1 1 1  
1 1 1

water  
ter. F  
6

phfall  
nount  
6

5 - Con

phosphorus

nos troncos das árvores pode variar, desde menos de 1% da precipitação total nas florestas tropicais (Nye, 1961), a cerca de 2,3% nas populações puras de *Pinus pinea* L. (Rapp & Ibrahim, 1978). Em virtude da contribuição relativamente pequena no cômputo geral, associada às dificuldades na sua determinação, utilizando-se, por exemplo, "colares" de poliuretanos (Likens & Eaton, 1970), a medida da água de escoamento não foi efetuada no presente trabalho.

Feitas as ressalvas acima, os resultados obtidos mostraram que, cerca de 68% da precipitação anual incidente atingiu efetivamente a superfície do solo no interior da mata, atravessando a cobertura vegetal. A amplitude máxima de variação nas diferentes épocas do ano, foi da ordem de 24% (58-82%). A interceptação, média, excluindo-se a água de escoamento, pode ser estimada em torno de 30%. (Figura 1).

*O pH e os elementos K e P presentes* — Os valores de pH da água de precipitação incidente oscilaram em torno de 4,2 (3,8-4,6), extremamente ácidos, e os de água de gotejamento, 5,1 (4,5-6,2) (Figura 2), denotando certo efeito filtrante da cobertura vegetal na redução da acidez.

A concentração do elemento K na água de precipitação livre apresentou pequenas variações em torno de 0,23 ppm, ao contrário da água de gotejamento (14,1 ppm) em que grandes variações (8 a 60 ppm) foram observadas no decorrer do ano (Figura 3). Tais valores, relacionados aos volumes mensais de precipitação, mostraram que, cerca de 126, kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de K eram transferidos da copa ao solo, com uma contribuição mensal na faixa de 1,5 a 22 kg.ha<sup>-1</sup>. (Figura 4). A entrada através da precipitação livre, de "origem atmosférica", foi de 2,36 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou 2,70 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, se admitida a correção de 14,4% no valor da precipitação livre obtido no posto meteorológico.

De modo geral, a concentração dos minerais na água de chuva varia inversamente ao volume precipitado. Isto se deve, principalmente, à lavagem inicial do material suspenso na atmosfera pelo pequeno volume de água e, no caso da água de gotejamento, daquele depositado na copa dos vegetais. Assim, maiores concentrações são observadas nas amostras coletadas nos meses de menor pluviosidade. No entanto, como no caso de K, elemento facilmente lixiviável, não deve ser menosprezado o fato de que maior volume de precipitação pode favorecer a lixiviação da cobertura vegetal, mascarada em grande parte por efeito de diluição. Em termos globais, tanto a quantidade do K introduzida como a transferida foram maiores nos meses de maior precipitação.

A concentração média do fosfato solúvel presente na água de precipitação livre, no decorrer do período do experimento, foi da ordem de 0,11 ppm (0,06 a 0,50) ppm, alcançando um total anual de 1,12 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Na água de gotejamento, o teor encontrado foi superior (0,85 ppm), oscilando entre 0,16 a 1,72 ppm e, ao contrário do potássio, as maiores concentrações foram observadas nos meses mais chuvosos e quentes (novembro a março). A contribuição anual por esse meio foi em torno de 7,5 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. (Figura 5 e 6).

## DISCUSSÃO

Na mata em estudo, cerca de 68% da água de precipitação incidente atravessam o dossel e atingem a superfície do solo, transportando elementos de diversas origens de difícil discriminação. Nela estão contidos, tanto os minerais originalmente em suspensão na atmosfera e importados no sistema pela água de chuva, como aqueles provenientes de poeiras e aerossóis depositados na cobertura vegetal, ou a fração que recicla através da lixiviação dos órgãos vegetais vivos ou mortos, excrementos e cadáveres de animais, menos a porção eventualmente absorvida ou retida durante a trajetória. O que se pode considerar,

efetivamente, é a quantidade total de cada elemento presente na água de gotejamento coletada no período do experimento.

Considerando-se a quantidade de potássio presente na água de gotejamento ( $126 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) e aquela contida no folheto anualmente produzido ( $38 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  – Meguro *et al.* 1981), as quais constituem parcelas mais significativas em termos globais de transferência dos elementos do compartimento da planta ao solo, verifica-se que mais de 70% foram transferidos através da água. Proporção muito próxima (mais de 60%) foi obtida por Bernhard-Reversat (1975), em 2 anos de estudo nas florestas úmidas sempre verdes da Costa de Marfim, embora os teores absolutos variassem de 12,2 ppm (floresta de “talweg”) a 4,0 ppm (floresta de “plateau”), de acordo com a maior ou menor pobreza do solo. Na mata em estudo, embora o solo apresente apenas teor médio de K na superfície e pobre nas camadas mais profundas (Varanda 1977), a concentração média do elemento na água de gotejamento atingiu cerca de 14 ppm. Em outras florestas tropicais e úmidas como as do Panamá, a concentração observada foi baixa (3,2 ppm) e a contribuição através da água de gotejamento ( $50 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) em relação ao total transferido foi da ordem de apenas 25%, sendo maior a contribuição do folheto, com cerca de  $148 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Golley *et al.* 1975). Este valor baixo se deve, talvez, à extrapolação bastante elástica feita pelos autores, a partir de análises feitas em amostras de água coletadas durante uma semana no mês de setembro de 1967.

Na floresta temperada madura de *Fagus silvatica* L. estudada durante 3 anos por Lemée (1974), a proporção observada foi também alta, sendo mais de 70% do total de K reciclados através da água. Nas formações constituídas por populações mais jovens (30 anos), no entanto, esta proporção foi inferior (50%).

A transferência do elemento fósforo através da água foi também considerável ( $7,5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), atingindo cerca de 44% do total ( $16,9 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), sendo 9,4 kg contidos no folheto (Meguro *et al.* 1981). Este valor é alto em comparação ao observado em outras formações florestais, havendo paralelo apenas na floresta úmida de “talweg” da Costa de Marfim, cuja fração de folheto contribui com 56% do total considerado. Já na floresta de “plateau”, a condução pela água de chuva foi pequena, cabendo ao folheto, mais de 80% do fósforo reciclado (Bernhard-Reversat 1975). Na floresta pluvial de Panamá, o papel da lixiviação no transporte de fósforo foi menor ainda, pois, do total de  $10 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , o folheto continha cerca de 94% (Golley *et al.* 1975).

Na floresta de *Fagus silvatica* L. madura, o transporte pela água de chuva fica aquém de 10%, sendo negligível (0,1%) nas populações mais jovens (Lemée 1974).

Na mata estudada, portanto, o papel de água de precipitação é extremamente importante em termos de reciclagem dos elementos K e P, uma vez que aqueles transferidos pelo folheto não são imediatamente disponíveis na sua totalidade.

A quantidade importada através da precipitação livre, embora pareça pequena, apresenta contribuição considerável, em se tratando de um sistema, cujo reservatório solo é pobre em nutrientes.

Por outro lado, as quantidades de K e P presentes na água de precipitação livre não acusam, à primeira vista, influência especial da localização da mata na área metropolitana, cuja atmosfera poderia conter suspensões de diversos tipos, principalmente de origem industrial. Os teores médios encontrados (0,23 ppm para K e 0,11 ppm para  $\text{PO}_4^{3-}$ ) são semelhantes àqueles observados por Roose (1972 Apud Bernhard-Reversat 1975) em Adiopodoumé, na Costa do Marfim (0,36 ppm para K e 0,11 ppm para P). As contribuições anuais recalculadas por Bernhard-Reversat (1975) a partir dos dados de Roose foram  $5,8 \text{ kg.ha}^{-1}$  para K e  $1,6 \text{ kg.ha}^{-1}$  para P. Coutinho (1979), estudando a influência das queimadas no aporte dos nutrientes à atmosfera e sua recondução através da precipitação

no Cerrado (Pirassununga — S.P.), encontrou quantidades comparáveis de K ( $2,57 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) de P ( $0,94 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

Já as quantidades desses elementos transferidas da copa ao solo, bastante elevadas ( $126 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para K e  $7,5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $\text{PO}_4^{3-}$ ), podem denotar um possível efeito da atividade antrópica, uma vez que a água que goteja da copa ao solo pode conter, além dos elementos de reciclagem de origem biológica e de precipitação livre, aqueles provenientes da dissolução de partículas ou aerossóis depositados na vegetação. Esta observação, no entanto, é apenas relevante em relação ao elemento fósforo, uma vez que, altos valores referentes ao potássio foram obtidos mesmo nas formações florestais tropicais não submetidas à influência de atividade humana circunjacente (Nye 1961, Bernhard-Reversat 1975).

*Agradecimentos* — Agradecemos ao Departamento de Química Analítica do Instituto de Química da USP pelo uso do espectrofotômetro de absorção atômica e em especial ao Dr. Roberto Tocoço pela inestimável assistência durante as análises.

#### REFERÊNCIAS

- BERNHARD-REVERSAT, F. 1975. Nutrients in throughfall and their quantitative importance in rain forest mineral cycles. In *Tropical Ecological Systems* p. 153-159. (F.B. Golley & E. Medina, eds). Springer Verlag, New York.
- COUTINHO, L.M. 1979. Aspectos ecológicos do fogo no Cerrado II. A precipitação atmosférica de nutrientes minerais. *Revta brasil. Bot.* 2: 97-101.
- GOLLEY, F.B., MCGINNIS, J.T., CLEMENTS, R.G., CHILD, G.I. & DUEVER, M.J. 1975. *Mineral Cycling in a Tropical Moist Forest Ecosystem*. University of Georgia Press, Athens.
- JACKSON, M.L. 1967. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall, New Delhi.
- LEMÉE, G. 1974. Recherches sur les écosystèmes des réserves biologiques de la forêt de Fontainebleau. IV — Entrées d'éléments minéraux par les précipitations et transfert au sol par le pluviollessivage. *Oecologia Plantarum* 9: 187-200.
- LIKENS, G.E. & EATON, J.S. 1970. A polyurethane stemflow collector for trees and shrubs. *Ecology* 51: 938-939.
- MEGURO, M., VINUEZA, G.N. & DELITTI, W.B.C. 1981. Ciclagem de nutrientes minerais na Mata mesófila secundária. I — Produção e decomposição do folheto. *Bol. Botânica Univ. S. Paulo* 7.
- NYE, P.H. 1961. Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil* 12: 333-346.
- RAPP, M. & IBRAHIM, M. 1978. Égoutement, écoulement et interception des précipitations par un peuplement de *Pinus pienea* L. *Oecologia Plantarum* 13: 321-330.
- SCHNOCK, G. 1973. Réception des précipitations suivant un transect sol-cime dans une chênaie mixte. *Oecologia Plantarum* 8: 17-23.
- VARANDA, E.M. 1977. *Balanço hídrico de espécies da Mata do Butantã*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Botânica da USP, São Paulo.
- WALTER, H., HARNICKELL, E. & MUELLER-DOMBOIS, D. 1975. *Climate-diagram Maps of the individual Continents and the Ecological Climatic regions of the Earth*. Supplement to the Vegetation Monographs. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.