

BALANÇO DE MASSA EM MICROBACIA EXPERIMENTAL COM MATA ATLÂNTICA, NA SERRA DO MAR, CUNHA, SP¹

Cíntia Ferreira DONATO²

Maurício RANZINI³

Valdir de CICCIO⁴

Francisco Carlos Soriano ARCOVA⁵

Lívia Fagnani Sanchez de SOUZA⁶

RESUMO

Com o objetivo de aprofundar o conhecimento dos processos hidrológicos quanto ao balanço hídrico e seus componentes, a precipitação, o deflúvio e a evapotranspiração, estudou-se uma microbacia experimental de primeira ordem, a qual possui área de 37,5 ha e vegetação secundária de Mata Atlântica. Localiza-se a leste do Estado de São Paulo, no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, entre os paralelos 23° 13' 28'' e 23° 16' 10'' de latitude sul e os meridianos 45° 02' 53'' e 45° 05' 15'' de longitude oeste de Greenwich. No período compreendido entre outubro de 2001 a setembro de 2006, efetuaram-se medições contínuas das precipitações pluviométricas e das descargas. Os dados de precipitação apresentaram-se consistentes pela curva de dupla-massa. A precipitação média anual foi de 1.784,0 mm, com 73% ocorrendo no período chuvoso, sendo o deflúvio médio anual de 1.086,5 mm. Ambas variáveis mostraram ampla variação entre os anos estudados. O balanço hídrico resultou numa evapotranspiração média de 697,5 mm, representando 39,1% da precipitação média anual. Esse corrobora os de outros estudos na região, ou seja, uma baixa evapotranspiração para as cabeceiras do rio Paraíba do Sul.

Palavras-chave: microbacia; precipitação pluviométrica; deflúvio; evapotranspiração; Mata Atlântica.

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade natural da água encontra-se cada vez mais no foco da atenção, devido a recorrentes problemas de distribuição, escassez, poluição e transformação antrópica da paisagem, que estão comprometendo os recursos hídricos. Nesse contexto se destaca a Mata Atlântica que, tendo ocupado cerca de 15% do território nacional, hoje está reduzida a menos de 8%, estendendo-se ao longo da costa

ABSTRACT

The main propose of this study was to improve the knowledge on hydrological processes, mainly related to water balance and its components precipitation, evapotranspiration and discharge. The study was carried out in a catchment with area of 37.5 ha, covered by secondary Atlantic Rainforest. The experimental area is located on the Serra do Mar State Park, between the following geographic coordinates: 23° 13' 28'' to 23° 16' 10' S and 45° 02' 53'' to 45° 05' 15'' W. It's a first order catchment that belongs to the Paraíba do Sul River basin. The data period was from October 2001 to September 2006. Rainfall values as well as the discharge of the catchment were measured continuously. The analysis of consistency of rainfall data was made by using the double mass curve method. As a result, the average rainfall observed was 1748.0 mm and the average annual discharge was 1086.5 mm. Seventy-three percent of the total amount of precipitation occurred during the rainy season. Evapotranspiration average annual value obtained from the water balance corresponded to 697.5 mm. These results are according to another researches carried out in these headwater streams and permitted to infer that there is a low evapotranspiration in the headwater catchments located in the Paraíba do Sul basin, in comparison with another regions.

Key words: small catchment; rainfall; streamflow; evapotranspiration; Atlantic Rainforest.

litorânea, originalmente desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte (Fundação SOS Mata Atlântica, 2006), constituindo uma floresta pluvial tropical, com clima quente e úmido. Sua vegetação, bastante densa, foi intensamente devastada desde o início da colonização do Brasil devido, principalmente, à extração de madeira e lenha e à ocupação rural e urbana. Atualmente, restam somente 13,9% da Mata Atlântica original do Estado de São Paulo (Kronka *et al.*, 2005).

(1) O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Aceito para publicação em fevereiro de 2008.

(2) Discente do curso de Gestão Ambiental da USP/Leste. Bolsista do CNPq. E-mail: tin_donato@hotmail.com

(3) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: ranzini@if.sp.gov.br

(4) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: valdircicco@if.sp.gov.br

(5) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil. E-mail: arcova@if.sp.gov.br

(6) Discente do curso de Geografia da UniSant'Anna. Bolsista da FUNDAP. E-mail: li_2908@hotmail.com

O Instituto Florestal de São Paulo, órgão da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, desenvolve pesquisas hidrológicas em microbacias hidrográficas, com vegetação natural de Mata Atlântica, no Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha/SP. Três microbacias experimentais denominadas A, B e D são monitoradas continuamente, com medições das precipitações pluviométricas e das descargas. Estudos sobre o balanço hídrico, o processo de interceptação das chuvas pela floresta, dinâmica da água no solo, qualidade da água, ciclagem geoquímica de nutrientes, simulação de hidrógrafas, modelagem hidroquímica, dentre outros, têm produzido grande gama de informações sobre a hidrologia e ecologia da área (Cicco *et al.*, 1985a; 1985b; 1986/88; 1989; 1995; Furian, 1987; 1994; Carvalho *et al.*, 1992; Cicco & Fujieda, 1992; Arcova *et al.*, 1993; 1998; Passos, 1993; Fujieda *et al.*, 1993; Arcova, 1996; Arcova & Cicco, 1997; Fujieda *et al.*, 1997; Bourotte, 2002; Ranzini *et al.*, 2004a; 2004b).

Muitos dos conhecimentos atuais sobre os processos hidrológicos de áreas montanhosas florestadas são o resultado de estudos conduzidos em microbacias hidrográficas experimentais. Andréassian (2004) sintetiza a evolução dos trabalhos em microbacias experimentais, com o registro do primeiro em 1850 na França e, na sequência, em outros países. Entretanto, todos esses estudos comparavam microbacias com diferentes coberturas florestais, e nenhum deles esclareceu em definitivo os impactos hidrológicos das florestas. Esses esclarecimentos começaram a ser respondidos com a metodologia de microbacias pareadas, sendo o primeiro experimento implantado nas montanhas do Estado do Colorado, EUA, na região de Wagon Wheel Gap, de 1910 a 1926 (Bates & Henry, 1928).

As práticas de manejo de microbacias hidrográficas fundamentam-se na hidrologia florestal que, por sua vez, trata dos efeitos da floresta e vegetação associada sobre o ciclo hidrológico, podendo-se dizer que as características de um curso d'água refletem as características de sua bacia de drenagem. Os trabalhos realizados em microbacias hidrográficas experimentais proporcionam os dados necessários para a avaliação das técnicas de manejo hidrológicamente sustentáveis (Fujieda, 1991).

Os mecanismos que influenciam a geração do deflúvio, as perdas evaporativas, a produção de água em área com florestas, bem como os efeitos das intervenções do homem sobre estas, decorrentes das atividades de manejo e colheita, são estudados com a utilização de microbacias experimentais

em vários locais do mundo (Bosch & Hewlett, 1982; Shimizu, 1983; Bruijnzeel, 1990 & Whitehead & Robinson, 1993).

Estudos envolvendo as relações entre florestas e os recursos hídricos têm como ponto inicial a realização do balanço hídrico. Mesmo nas bacias hidrográficas menores, existe sempre uma área de terreno que recebe água de chuva, evapora parte desta e o restante compõe o deflúvio ou a recarga de água subterrânea (Hewlett, 1982).

Uma microbacia instrumentada para a medição da precipitação e do deflúvio pode ser considerada como um grande lisímetro. Pela diferença entre esses dois componentes do ciclo hidrológico é possível estimar a evapotranspiração para qualquer período, no qual o armazenamento de água inicial é igual ao final, isto é, a variação de armazenamento de água na microbacia seja nula. Essa restrição, freqüentemente possibilita o uso de microbacias hidrográficas apenas para a estimativa da evapotranspiração de valores anuais (Federer, 1975). O período utilizado para tanto é aquele correspondente ao do ano hídrico.

No contexto do balanço hídrico, o conhecimento das taxas anuais de evapotranspiração é de grande importância, uma vez que o rendimento hídrico de uma microbacia é afetado pelo consumo total de água pela vegetação. Esse componente do balanço pode mesmo suplantar a produção de água da microbacia (Arcova, 1996).

Resultados de estudos de evapotranspiração compilados por Bruijnzeel (1990) mostram grande amplitude de valores para florestas tropicais. Em geral, as florestas a baixas altitudes evapotranspiram em média $1.400 \text{ mm.ano}^{-1}$, enquanto as florestas em áreas montanhosas têm perdas pela evapotranspiração que ultrapassam a $1.000 \text{ mm.ano}^{-1}$. Para regiões de maiores altitudes a evapotranspiração tende a ser menor; em termos médios da ordem de 1200 mm.ano^{-1} . Lima (1993) relata que as florestas tropicais atingem um valor médio limite de $1.500 \text{ mm.ano}^{-1}$, e que florestas naturais de folhosas mistas de clima temperado, tendem a apresentar uma taxa média anual de evapotranspiração entre 1.000 e 1.100 mm, sob precipitação anual superior a 1.500 mm.

De acordo com as pesquisas desenvolvidas em outras microbacias experimentais localizadas na área do presente trabalho, a evapotranspiração está ao redor dos 30% da precipitação, tendo valores médios anuais de 677 mm.ano^{-1} para a microbacia D, em 16 anos de observações e de 540 mm.ano^{-1} para a microbacia B em 6 anos de observações (Cicco *et al.*, 2007).

Esses autores argumentam que estas baixas taxas evaporativas são, provavelmente, decorrentes das condições climáticas, dentre as quais, baixas temperaturas, elevada umidade do ar e nevoeiros intensos que ocorrem por períodos prolongados. Essas condições são similares às condições das chamadas “cloud forests”, biomas normalmente localizados a grandes altitudes, nos quais nevoeiros densos são freqüentes, e que se caracterizam por apresentar evapotranspiração reduzida (Bruijnzeel, 1990).

O presente trabalho dá prosseguimento aos estudos iniciados por Anido (2002), referentes aos conhecimentos dos processos hidrológicos da microbacia experimental A, quanto ao balanço hídrico e seus componentes, a precipitação pluviométrica, o deflúvio e a evapotranspiração.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

Com uma área de 2.854 ha, o Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar, localiza-se em região de encostas altas, nas cercanias das cabeceiras do rio Paraibuna, um dos formadores do rio Paraíba do Sul (FIGURA 1), entre os paralelos 23° 13' 28'' e 23° 16' 10'' de latitude Sul e os meridianos 45° 02' 53'' e 45° 05' 15'' de longitude Oeste de Greenwich, voltado para o Oceano Atlântico (Furian & Pfeifer, 1986). Sofre influências das massas de ar equatoriais e tropicais, caracterizando um clima, segundo Köppen, do tipo Cfb, ou seja, temperado úmido, com a temperatura do mês mais quente inferior a 22 °C (Ranzini, 2002).

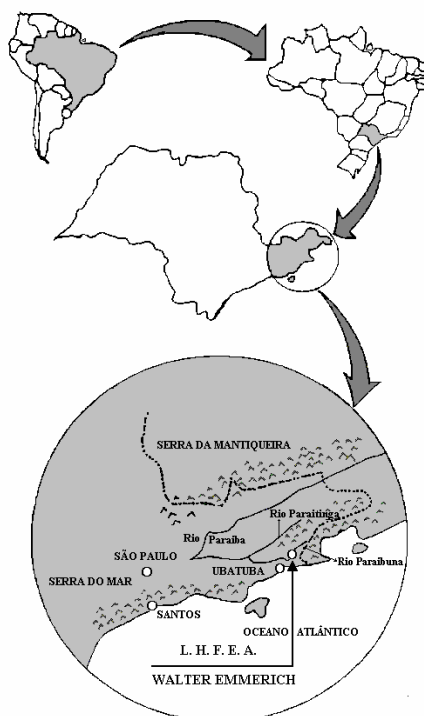


FIGURA 1 – Localização do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, SP.

A estrutura geológica da área faz parte do Complexo Cristalino, do período Pré-Cambriano. Contém granitos miloníticos, gnaisses, xistos cristalinos (micaxistos, quartzoxistos), granitos e diabásios básicos de intrusão parcial na era Mesozóica (Japan International Cooperation Agency - JICA, 1980).

Furian & Pfeifer (1986) classificam os solos do Núcleo Cunha como Latossolo Vermelho Amarelo Fase Rasa, atualmente Latossolo Vermelho Amarelo

câmico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1999), provenientes de rochas duras, orientadas e de difícil decomposição, como os gnaisses, migmatitos e granitos. Em consequência, é quimicamente pobre, ácido e relativamente raso; com textura grosseira e estrutura fraca, isto é, os grânulos formam uma massa homogênea com muita fraca coerência, que aliados à elevada porosidade, lhe condicionam boa permeabilidade.

As precipitações anuais são elevadas, resultantes dos efeitos orográficos da Serra do Mar. A precipitação média anual da microbacia D, próxima à área de estudo, é de 2.205 mm (Cicco, 2004). O período úmido estende-se de outubro a março (estação chuvosa) e o período seco ou pouco úmido, compreende os meses de abril a setembro. A temperatura média anual do ar é de 16,5 °C, com 10 °C no inverno e 22 °C no verão. A umidade relativa média mensal do ar está entre 80 a 85% para a estação chuvosa e inferior a 80% para o restante do ano. Caracteriza a área a ocorrência freqüente de nevoeiros densos nos períodos crepuscular e noturno (Arcova, 1996).

A vegetação consiste de uma cobertura natural secundária, sucessora da vegetação natural primária conhecida como Mata Atlântica (Floresta Ombrófila Densa), resultado da exploração madeireira ocorrida há aproximadamente 45 anos (Leitão Filho, 1982).

A área da microbacia A é de 37,50 ha, com elevações variando de 1.175 m ao longo do divisor de água, a 1.030 m no exutório (FIGURA 2). A declividade média da bacia é de 18° 48'; seu perímetro é de 2.800 m, a largura média é de 350,5 m e o comprimento do canal principal é de 1.070 m (Anido, 2002).

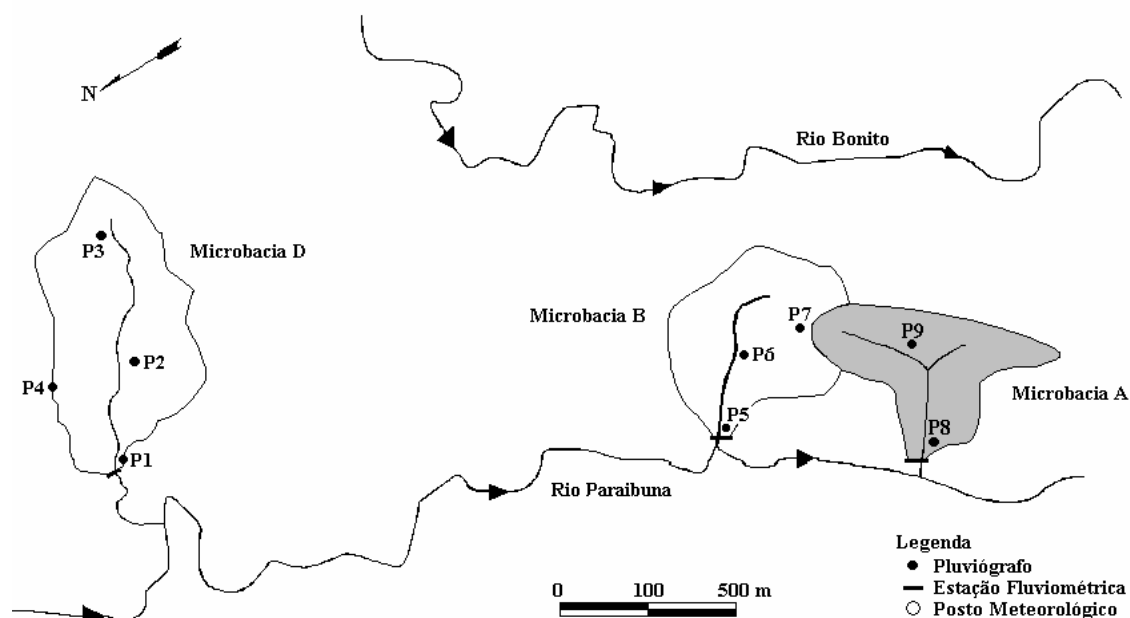


FIGURA 2 – Localização das microbacias experimentais A, B e D.

2.2 Monitoramento Hidrológico

A entrada de água na microbacia A foi quantificada por dois pluviômetros do tipo caçamba, com precisão igual a 0,5 mm; um localizado na saída (P8) e o outro no interior da microbacia (P9). As precipitações mensais foram calculadas pela média aritmética dos dois. Na ausência de registro diário em um dos dois equipamentos, utilizou-se a precipitação do outro. Quando da falta de dados dos dois dispositivos, calculou-se a precipitação para este dia a partir de uma regressão linear ($R^2 = 0,9189$), entre os dados de chuva da microbacia A (P9) e daquele oriundo

da microbacia B (P5), área vizinha à estudada, obtida por Luiz *et al.* (2005), expressa na equação 1.

$$P9 = 1,1164 \times P5 \quad (1)$$

A consistência dos dados de precipitação anual foi testada por meio do método da curva de dupla-massa desenvolvido pelo Geological Survey - EUA. Em um gráfico cartesiano foram plotados os totais acumulados da precipitação da microbacia A (variável de interesse) e os da estação meteorológica do Laboratório de Hidrologia Florestal (variável de controle). A declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre as séries, tornando possível verificar a homogeneidade dos dados.

A saída de água foi monitorada através de uma estação fluviométrica, composta de dois tanques de sedimentação e um vertedor triangular de ferro de 120° de abertura. Está equipada com um linígrafo do tipo flutuador que registra as cotas numa carta de duração mensal. Por intermédio da curva-chave $Q = 0,0661.H^{2,303}$ com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9922, determinam-se as vazões e, posteriormente, a quantificação dos deflúvios diários, mensais e anuais.

Eventuais falhas dos deflúvios diários, em virtude da ausência de registros do linígrafo, foram preenchidas por meio de regressão linear ($R^2 = 0,9657$) entre os dados de deflúvio da microbacia A (Def. A) e daquele oriundo da microbacia B (Def. B), expressa na equação 2.

$$\text{Def. A} = 0,5893 \times \text{Def. B} + 0,8781 \quad (2)$$

2.3 Balanço de Massa

O balanço de massa foi calculado considerando-se a ausência de vazamentos pelo substrato rochoso e que não ocorrem fluxos laterais para fora ou para dentro da microbacia. Dessa forma, o balanço hídrico foi determinado através da equação hidrológica fundamental (3):

$$P = Q + ET \pm \Delta S \quad (3)$$

onde,

P = precipitação pluviométrica (mm);

Q = deflúvio (mm);

ET = evapotranspiração (mm), e

ΔS = variação de armazenamento de água no solo (mm).

Como o balanço de massa considera ciclos anuais, a variação de armazenamento (ΔS) tende a zero (Hewlett & Nutter, 1969), pois há um equilíbrio durante o ano da água armazenada no solo, permitindo obter o balanço hídrico pela equação simplificada (4):

$$P = Q + ET \quad (4)$$

O balanço de massa foi calculado adotando-se o ano hídrico proposto por Cicco *et al.* (1985b), com início a partir de 1º de outubro, quando ocorrem as primeiras chuvas da primavera e o seu término em 30 de setembro, final da estação seca. O estudo contemplou os anos hídricos de 2002 a 2006.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Precipitação Pluviométrica

A curva de dupla-massa comparando as precipitações anuais acumuladas da microbacia A e do posto meteorológico, mostra consistência dos dados para a realização do estudo (FIGURA 3).

A precipitação média anual foi de 1.784,0 mm, valor inferior ao encontrado por Anido (2002) na mesma microbacia, que foi de 1.832,0 mm. Os valores extremos de precipitação anual foram de 2.010,8 mm, no ano de 2005 e 1.578,3 mm, no ano de 2002 (TABELA 1).

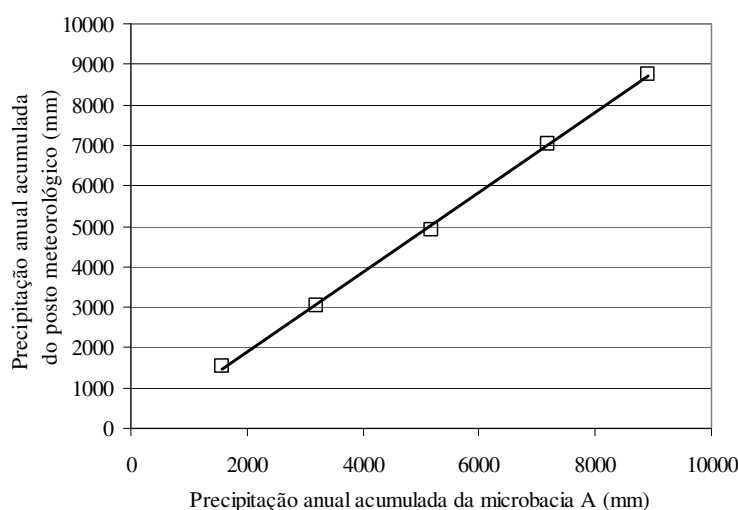


FIGURA 3 – Curva de dupla-massa entre a precipitação pluviométrica anual acumulada da microbacia A e do posto meteorológico.

TABELA 1 – Precipitação mensal e anual para o período de outubro de 2001 a setembro de 2006.

Mês	Ano hídrico					Média
	2002	2003	2004	2005	2006	
outubro	107,5	65,3	182,5	157,8	183,8	139,4
novembro	160,3	304,3	173,5	178,5	212,0	205,7
dezembro	234,3	345,8	200,5	192,0	260,0	246,5
janeiro	226,0	342,0	314,0	313,1	164,8	272,0
fevereiro	294,5	88,5	346,0	212,5	255,5	239,4
março	150,3	222,5	184,3	217,8	230,8	201,1
abril	103,5	25,5	144,5	347,3	115,3	147,2
maio	98,5	37,3	112,0	62,5	86,3	79,3
junho	43,8	1,5	79,0	42,5	18,3	37,0
julho	26,5	43,5	178,8	100,0	55,0	80,8
agosto	39,3	72,8	14,8	10,5	31,5	33,8
setembro	94,0	68,8	55,8	176,3	114,5	101,9
Total	1.578,3	1.617,6	1.985,7	2.010,8	1.727,8	1.784,0

Os totais anuais precipitados e as respectivas barras verticais apresentaram um desvio-padrão da média de 202,8 mm, sendo a máxima amplitude encontrada de 432,5 mm, referente aos anos de 2005 e 2002 (FIGURA 4).

Com relação aos valores de precipitação mensal, observa-se que o mês de outubro do ano hídrico 2002 e os meses de outubro e fevereiro de 2003 ficaram abaixo da média do período chuvoso (TABELA 1).

Já o mês de julho de 2004 superou a média do período seco. Por outro lado, os meses de abril e setembro de 2005, considerados de transição, apresentaram valores acima da média, ressaltando que o mês mais chuvoso da série foi abril desse mesmo ano.

O ritmo da precipitação média mensal e a amplitude de valores demonstraram grande variação dentro de cada mês, com destaque para o mês de abril (FIGURA 5). Aproximadamente 73% das precipitações ocorrem durante o período chuvoso.

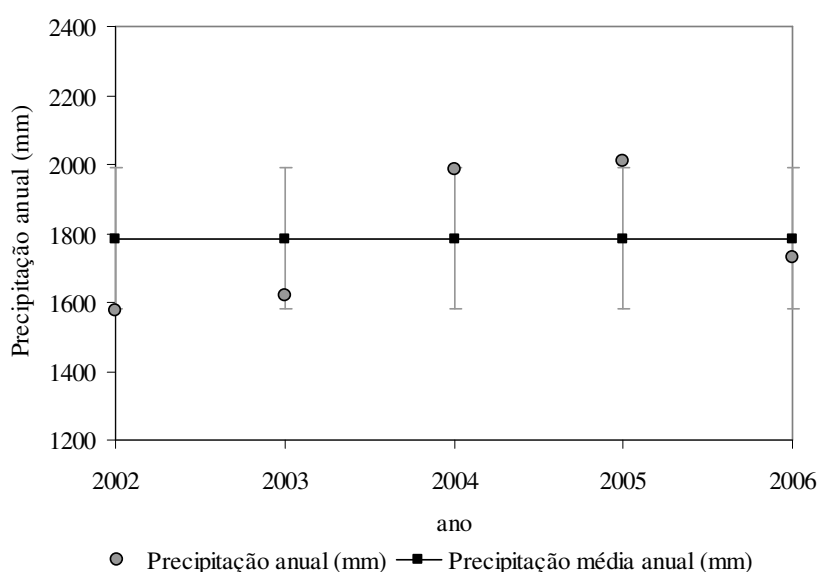


FIGURA 4 – Precipitações anuais observadas dentro da faixa do desvio padrão (barra vertical) em torno da média do período estudado.

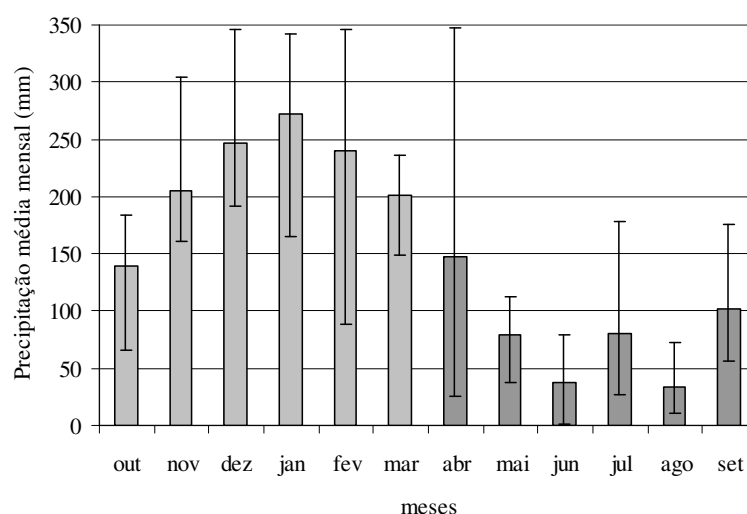


FIGURA 5 – Precipitação média mensal (mm) com respectiva amplitude de valores (barra vertical).

3.2 Deflúvio

O deflúvio médio anual foi de 1.086,5 mm, valor inferior ao encontrado por Anido (2002) na mesma microbacia, que foi de 1.278,6 mm para o período de 1993 a 2001 (TABELA 2). O maior deflúvio (1.431,04 mm) ocorreu no ano hídrico de 2005 e o menor (837,91 mm) em 2002, mostrando uma grande variação entre os anos estudados.

A distribuição do deflúvio mostra, também, grande variação mês a mês (FIGURA 6). Cicco (2004) observou que, na microbacia D,

entre janeiro e março, se concentram os maiores valores, e de junho a agosto ocorrem as menores saídas de água. No entanto, para o período estudado, os mais altos deflúvios ocorreram entre janeiro e abril e os menores de agosto a outubro. Salienta-se que esse descompasso entre o ritmo observado por Cicco (2004) e o do presente estudo, pode ser explicado pelas altas chuvas ocorridas em abril de 2005, as quais influenciaram os deflúvios dos meses de abril a junho. Com relação ao valor de deflúvio acima da média de julho, este se deveu à alta precipitação ocorrida neste mês para os anos hídricos de 2004 e 2005.

TABELA 2 – Deflúvio mensal e anual para o período de outubro de 2001 a setembro de 2006.

Mês	Ano hídrico					Média
	2002	2003	2004	2005	2006	
outubro	52,10	35,79	64,61	65,56	85,43	60,7
novembro	51,80	86,55	53,46	68,82	109,86	74,1
dezembro	73,64	128,42	64,38	79,27	143,98	97,9
janeiro	85,90	124,64	119,59	130,93	114,36	115,1
fevereiro	127,71	86,97	134,66	169,45	133,94	130,5
março	99,99	109,39	161,72	152,33	121,95	129,1
abril	77,52	69,96	102,16	244,90	121,46	123,2
maio	74,71	62,99	86,57	162,23	102,45	97,8
junho	57,22	45,49	84,43	105,02	78,23	74,1
julho	50,00	43,81	98,74	99,96	67,69	72,0
agosto	43,00	44,29	61,69	69,62	64,14	56,5
setembro	44,31	39,72	50,64	82,96	59,57	55,4
Total	837,91	878,02	1.082,64	1.431,04	1.203,06	1.086,5

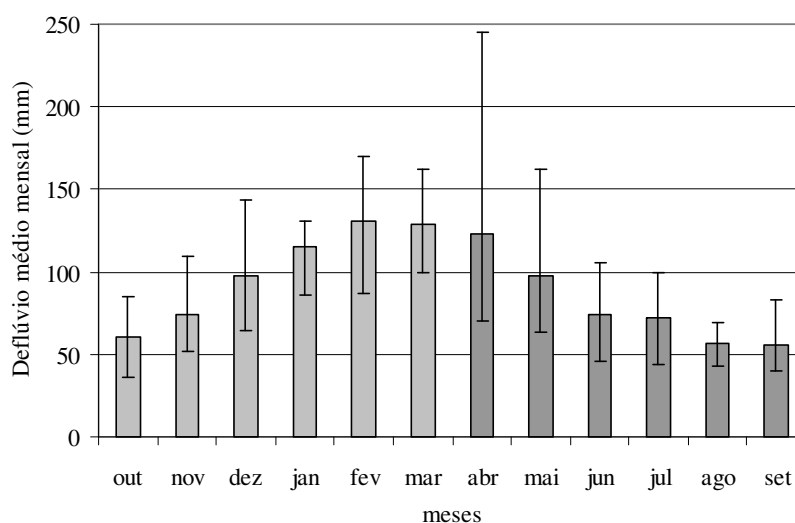


FIGURA 6 – Deflúvio médio mensal (mm) com respectiva amplitude de valores (barra vertical).

A evapotranspiração média foi de 697,5 mm, correspondendo a 39,1% da precipitação média anual. Anido (2002) encontrou, para a mesma microbacia, um valor médio de evapotranspiração igual a 32,0%. Arcova (1996) obteve para as microbacias B e D valores da ordem de 26,8% e 28,0%, respectivamente. Na bacia do rio Grande, município de Ubatuba, SP, inserida no Parque Estadual da Serra do Mar, Buchianeri (2004) obteve uma evapotranspiração de 27,2%. Esses resultados demonstram uma baixa evapotranspiração para a região quando comparada, por exemplo, com a Amazônia, onde Leopoldo *et al.* (1995) encontraram evapotranspiração de 67,6%.

3.3 Balanço de Massa

Os valores extremos ocorreram em 2004 (903,1 mm) e 2006 (524,7 mm). Foram observados dois períodos distintos no ritmo da evapotranspiração (FIGURA 7). Para os três primeiros anos os valores de evapotranspiração são próximos ao do deflúvio e para os dois últimos apresentam-se distantes. Em relação à razão entre a evapotranspiração e a precipitação, tem-se um valor médio de 46,0% para o primeiro período. Nele se destacam valores altos de evapotranspiração em decorrência aos baixos deflúvios. Para o segundo período ocorreu o inverso, ou seja, baixos valores de evapotranspiração (29,6%) em função dos altos índices de deflúvio.

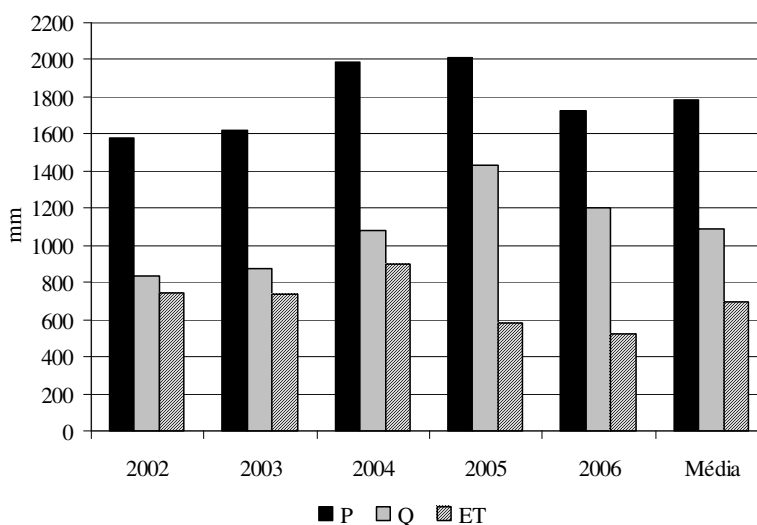


FIGURA 7 – Precipitação (P), deflúvio (Q) e evapotranspiração (ET) para os anos hídricos do período experimental.

A maior precipitação ocorreu em 2005 (2.010,8 mm) e, em consequência, o maior deflúvio (1.431,0 mm), obtendo-se uma evapotranspiração de 28,8%. No extremo oposto, a menor precipitação foi registrada em 2002 (1.578,3 mm) com o menor deflúvio (837,9 mm), resultando numa evapotranspiração de 46,9%. Esses resultados estão de acordo com os observados por Cicco (2004) na microbacia D, onde foi verificada para a evapotranspiração uma variação de 10% a 57%.

4 CONCLUSÕES

As precipitações e os deflúvios médios mensais e anuais apresentaram grandes variações ao longo do período. No entanto, verificaram-se dois ritmos distintos para a evapotranspiração, o primeiro correspondendo aos anos hídricos de 2002 a 2004, com 46,9%, e o segundo de 2005 a 2006, com 29,6% da precipitação. A evapotranspiração média foi de 39,1% da precipitação anual e, portanto, a microbacia experimental A pode ser considerada conservativa quanto ao consumo de água em comparação com a floresta Amazônica.

Pelos resultados obtidos, verifica-se a necessidade de séries mais longas de observações para a caracterização da evapotranspiração. Dessa forma, é importante a continuidade do monitoramento da microbacia em questão, assim como estudos que possibilitem o entendimento da geração do deflúvio e seus componentes, informações estas úteis para a tomada de decisões sobre o manejo sustentável dos recursos naturais da região.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor, ao técnico de campo João B. A. dos Santos (Instituto Florestal de São Paulo) sem o qual este trabalho não teria sido possível, e aos revisores anônimos pelas correções e sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 291, p. 1-27, 2004.

ANIDO, N. M. R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. 2002. 69 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar, SP**. 1996. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

_____.; CICCO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 153-170, 1997.

_____.; _____.; SHIMOMICHI, P. Y. Qualidade da água e dinâmica dos nutrientes em bacia hidrográfica recoberta por floresta de Mata Atlântica. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 1-20, 1993.

_____.; LIMA, W. P.; CICCO, V. Balanço hídrico de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 39-51, 1998.

BATES, C. G.; HENRY, A. J. Forest and streamflow experiment at Wagon Wheel Gap, Colorado. **Monthly Weather Review Supplement**, Boston, v. 30, p. 1-79, 1928.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 55, p. 3-23, 1982.

BOUROTTE, C. L. M. **Caracterização de poluentes atmosféricos (metais traço e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) na interface atmosfera-solo em áreas urbana e natural do estado de São Paulo**. 2002. 251 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo e Et Du Var - LEPI, Université de Toulon, São Paulo.

BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Amsterdam: Free University Amsterdam/UNESCO, Humid Tropics Programme Publication, Free University, 1990. 224 p.

BUCHANERI, V. C. **Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP**: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba. 2004. 105 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CARVALHO, J. L.; CICCIO, V.; FUJIEDA, M. Algumas propriedades físicas dos solos na bacia hidrográfica experimental "D" no Núcleo Cunha – SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNIPRESS, 1992. p. 753-759. (**Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 4, n. único, pt. 3, Edição especial).

CICCIO, V. **Análise de séries temporais hidrológicas em microbacia com cobertura vegetal natural de Mata Atlântica, Cunha-SP**. 2004. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____.; ARCOVA, F. C. S.; SHIMOMICHI, P. Y. Estimativa da evapotranspiração em bacia hidrográfica com floresta natural secundária de mata Atlântica – SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 43-54, 1989.

CICCIO, V. *et al.* Projeto de pesquisas hidrológicas em floresta natural na Reserva Estadual de Cunha – Determinação do balanço hídrico. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS. A INFLUÊNCIA DAS FLORESTAS NO MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 11., 1984, Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA: PNPF, 1985a. p. 135 -142.

CICCIO, V. *et al.* Determinação do balanço hídrico com emprego de bacia hidrográfica experimental em mata natural secundária. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS E SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS EM REGIÕES METROPOLITANAS, 6., São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1985b. p. 234-246.

CICCIO, V. *et al.* Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica – SP. **Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 20-22, p. 25-30, 1986/88.

CICCIO, V. *et al.* Relações entre a precipitação e os escoamentos total, direto e de base em uma bacia hidrográfica experimental, na região da Serra do Mar, Cunha – SP. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 57-64, 1995.

CICCIO, V. *et al.* Recursos hídricos na Mata Atlântica: estudo de caso do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha - SP. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 1., 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. p. 25-81. 1 CD.

CICCIO, V.; FUJIEDA, M. Pesquisa em manejo de bacias hidrográficas em São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: UNIPRESS, 1992. p. 808-816. (**Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 4, n. único, pt. 3, Edição especial).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: EMBRAPA Produção de Informação, 1999. 412 p.

FEDERER, C. A. Measuring forest evapotranspiration - theory and problems. In: ESCHNER, A. R.; BLACK, P. E. (Ed.). **Readings in forest hydrology**. New York: MSS Information Corporation, 1975. p. 159-184.

FUJIEDA, M. Watershed management and planning methods. In: CURSO INTERNACIONAL SOBRE MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS NA ÁREA FLORESTAL, 1., 1991, São Paulo. São Paulo: Instituto Florestal: Japan International Cooperation Agency, 1991. 18 p. (Apostila).

FUJIEDA, M. *et al.* Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 196, p. 26-46, 1997.

_____.; KUDOH, T.; MASHIMA, Y. Hydrological processes in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. In: YOKOHAMA SYMPOSIUM, 1993, Yokohama. **Proceedings...** Paris: IAHS Publ., 1993. p. 43-51.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**: período de 1995-2000. Relatório Final. p. 1-43. Disponível em: <http://201.6.118.168/sos/download/relatorio_atlas-1995a2000.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2006.

FURIAN, S. M. **Estudo geomorfológico do escoamento superficial em parcelas experimentais no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha/SP. Um esboço metodológico.** 1987. 187 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. **Morphogénèse/pedogénèse en milieu tropical humide de la Serra do Mar, Brésil: Contribution de l' alteration et de la pedogénèse à une dynamique actuelle de glissement.** 1994. 178 f. Tese (Doutorado em Ciências da Terra), Sciences de la Terre - SLSCH - Université de Caen e Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Caen.

_____.; PFEIFER, R. M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP. **Bol. Técn. IF**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 183-193, 1986.

HEWLETT, J. D. **Principles of forest hydrology.** Athens: The University of Georgia Press, 1982. 183 p.

_____.; NUTTER, W. L. **An outline of forest hydrology.** Athens: University of Georgia Press, 1969. 137 p.

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA. **Report of implementation design survey on the Japanese technical cooperation project for the forestry research in São Paulo, Brazil.** [S.l.], 1980. 284 p.

KRONKA, J. F. N. *et al.* **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal: Imprensa Oficial, 2005. 200 p.

LEITÃO FILHO, H. F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 1982, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: UNIPRESS, 1982. p. 197-206. (**Silvic. S. Paulo**, São Paulo, v. 16A, pt. 1, 1982, Edição especial).

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W. K.; VILLA NOVA, N. A. Real evapotranspiration and transpiration through a tropical rain forest in central Amazonia as estimated by the water balance method. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 73, p. 185-195, 1995.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto.** 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1993. 301 p.

LUIZ, R. A. F. *et al.* Estudos pluviométricos no Laboratório de Hidrologia Florestal “Walter Emmerich”, Cunha – SP. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FISICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, USP, 2005. 15 p. 1 CD.

PASSOS, J. R. S. **Modelagem e simulação de hidrógrafas.** 1993. 166 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RANZINI, M. **Modelagem hidrológica de uma microbacia florestada da serra do mar, SP, com o modelo TOPMODEL** – simulação do comportamento hidrológico em função do corte raso. 2002. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

_____. *et al.* Modelagem hidrológica de uma microbacia florestada da Serra do Mar, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 33-44, 2004a.

_____. Processos hidrológicos de uma microbacia com Mata Atlântica, na região da Serra do Mar, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 66, p. 108-119, 2004b.

SHIMIZU, T. Forest watershed experiments in Japan. **JARQ**, Tsukuba, v. 16, n. 4, p. 281-286, 1983.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies - an international and historical perspective of forest impact. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 145, p. 217-230, 1993.