

**Pesquisas nas Microbacias Experimentais do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich Relacionadas aos Processos Hidrológicos Quantitativos**

Valdir de Cicco <sup>1</sup>  
Francisco Carlos Soriano Arcova <sup>2</sup>  
Maurício Ranzini <sup>3</sup>  
João Batista Amaro dos Santos <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Florestal  
Rua do Horto, 931 - CEP 02377-000 - Horto Florestal - São Paulo - SP, Brasil  
valdircicco@if.sp.gov.br

<sup>2</sup> Instituto Florestal  
Rua do Horto, 931 - CEP 02377-000 - Horto Florestal - São Paulo - SP, Brasil  
fcarcova@if.sp.gov.br

<sup>3</sup> Instituto Florestal  
Rua do Horto, 931 - CEP 02377-000 - Horto Florestal - São Paulo - SP, Brasil  
ranzini@if.sp.gov.br

<sup>4</sup> Instituto Florestal  
Praça São Paulo, 101 - CEP 12530-000 - Cunha - SP, Brasil  
pesmcunha@ig.com.br

**Abstract.** The Forestry Institute of São Paulo State has been studying forest-water relationship in the Eng. Agr. Walter Emmerich Forest Hydrology Laboratory (LHFEAWE), located in the Serra do Mar State Park – Cunha Sector, since 1980, aiming to develop studies of hydrological processes related to the quantity and quality of water. The Laboratory is situated along the headwaters of the Paraíba river, tributary of the Paraíba do Sul. Three experimental watersheds named A, B and D are being monitored through continuous records of precipitation and streamflow through a rain gauges and water stage since 1991, 1987 and 1982, respectively. This article summarizes the most relevant results of research related to quantitative hydrological processes such as water balance, interception and runoff total, direct and basic. Thus, it is expected to contribute to the understanding of relations between the Atlantic Rain Forest and water resources. The losses are reduced through evapotranspiration and soil permeability promote the recharge of reservoirs, therefore, these watersheds with forest of Atlantic Rain Forest, characterized as conservative as the consumption of water. It appears that the evapotranspiration for the watersheds show a positive trend, probably associated with natural regeneration process. The research developed in the Forest Hydrology Laboratory are providing knowledge of hydrological processes in the Atlantic Rain Forest and could thus contribute to making decisions regarding management of water resources and environmental risks. This region should be viewed as strategic to the water supply to the Paraíba Valley, North Coast and Rio de Janeiro.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico, interceptação, Mata Atlântica.

## Introdução

A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Cnumad – RIO 92) estabeleceu a Agenda 21 com ações voltadas ao desenvolvimento sustentável. O Capítulo 18 desta agenda foi dedicado exclusivamente à proteção e à importância da gestão dos recursos hídricos, como também a inclusão dos atores sociais no processo de gestão. Esta Agenda contempla macrodiretrizes; (i) quanto aos aspectos instrumentais: “melhorar e consolidar o conhecimento sobre a dinâmica hidrológica, hidrogeológica e da qualidade das águas como forma de aprimorar as bases técnicas e apoiar a tomada de decisões na gestão das águas”; (ii) quanto aos aspectos transversais relacionados às ações de capacitação e de comunicação social: “desenvolver estudos e pesquisas voltados para ampliar a base atual do conhecimento, no campo dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, sob a ótica da qualidade e da quantidade”, Brasil (2006).

Nesse enfoque, a água é o recurso natural mais importante do planeta, sendo o componente fundamental da dinâmica da natureza, capaz de estimular todos os ciclos e dar sustentabilidade a vida. O crescimento populacional associado ao aumento da expectativa de vida e a diminuição das áreas naturais, bem como a sua degradação, tornaram-se fatores importantes por causarem sérias ameaças ao homem e ao ambiente. O conhecimento desses processos é importante também para o estabelecimento de políticas públicas para o desenvolvimento sustentado de ecossistemas frágeis como são os tropicais (FORTI, 2003).

A Mata Atlântica é reconhecida como um dos cinco hotspots mais importantes do mundo. Os hotspots são definidos como áreas prioritárias à conservação da biodiversidade baseado em dois fatores: o número de espécies endêmicas e o seu grau de ameaça. Em alguns hotspots a destruição atinge 90% da paisagem, como a Mata Atlântica, da qual restam apenas 8% (CONSERVAÇÃO INTERNACIONAL, 2005).

A maior porção de remanescentes contínuos de Mata Atlântica localiza-se entre os estados do Paraná, São Paulo e o Rio de Janeiro, sendo esta uma das regiões mais ricas em diversidade biológica do bioma. Mesmo reduzida e muito fragmentada, a Mata Atlântica possui uma enorme importância, pois exerce influência direta na vida de mais de 80% da população brasileira que vive em seu domínio (São Paulo, 2006).

No Brasil, microbacias hidrográficas foram instrumentadas em diferentes regiões com floresta natural, objetivando o monitoramento da vazão, da precipitação, da qualidade da água, da ciclagem de nutrientes e, também, para estimativa da evapotranspiração. Em 1979, o Instituto Florestal do Estado de São Paulo iniciou suas pesquisas sobre o manejo de bacias hidrográficas com enfoque nas relações floresta - água. A região escolhida para os estudos foi o Alto Vale do rio Paraíba do Sul, caracterizada por um relevo montanhoso e com elevado índice pluviométrico. Os principais rios da região, Paraitinga e Paraibuna, formam o rio Paraíba do Sul, que é responsável pelo abastecimento de inúmeras cidades nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Estas áreas experimentais têm gerado grande gama de informações sobre os processos hidrológicos na Serra do Mar (Cicco et al., 1986/88, Furian, 1987, Arcova, 1996; Arcova e Cicco, 1997; Fujieda et al., 1997; Anido, 2002; Ranzini, 2002; Arcova et al., 2003; Cicco, 2004 e 2009; Ranzini et al., 2004).

Este artigo apresenta uma síntese dos resultados mais relevantes das pesquisas desenvolvidas nas microbacias experimentais relacionados aos processos hidrológicos quantitativos do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich (LHFEAWE). Desta forma, espera-se poder contribuir para o entendimento das relações entre a Mata Atlântica e os recursos hídricos.

## Material e Métodos

O LHFEAWE está localizado no município de Cunha, São Paulo, entre as coordenadas 23°16'28" e 23°16'10" de latitude sul e os meridianos 45°02'53" e 45°05'15" de longitude oeste, próximo às nascentes do rio Paraibuna, entre 1.000 e 1.300 metros de altitude e inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Em escala regional, ela abrange parte do alto ao médio vale do rio Paraibuna, pertencente ao Planalto de Paraitinga, no Planalto Atlântico (Furian, 1987), Figura 1.

Ponçano et al. (1981) descrevem que na região do rio Paraibuna, a drenagem principal é muito encaixada, não formando planícies aluvionares. A influência estrutural é marcada pelo padrão em treliça da drenagem, que é governada por sistemas de juntas noroeste e pela foliação nordeste das rochas. O sistema de relevo é do tipo Morros Paralelos e, junto às bordas do planalto, por Morrotes Baixos, o conjunto constituindo a Morraria do Paraibuna.

Os solos do Laboratório foram classificados por Furian e Pfeifer (1986) como Latossolo Vermelho Amarelo fase rasa, atualmente Latossolo Vermelho Amarelo câmbico (EMBRAPA, 1999), provenientes de rochas duras, orientadas e de difícil decomposição, como gnaisse, migmatitos e granitos. São solos quimicamente pobres, ácidos e relativamente rasos, com textura grosseira, estrutura fraca, elevada porosidade e boa permeabilidade. São susceptíveis a erosões e também a escorregamentos, quando da ocorrência de chuvas de alta intensidade.

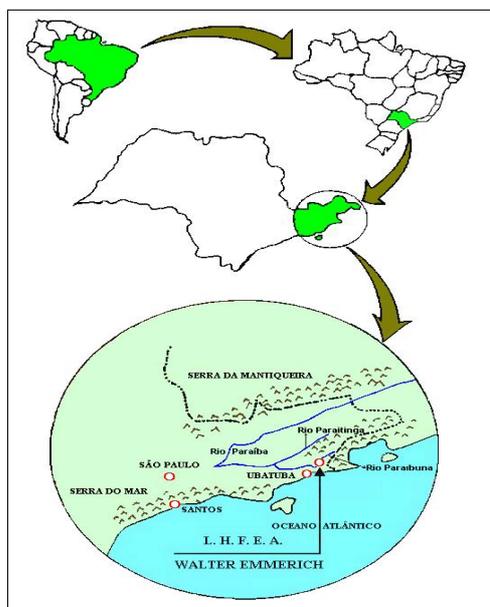


FIGURA 1 - Localização do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich no Núcleo Cunha do Parque Estadual da Serra do Mar.

A vegetação original é de Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica), a qual no passado foi submetida à exploração para produção de carvão e madeira para serraria, sendo parcialmente substituída por pastagens. Hoje predomina uma vegetação secundária em fase de regeneração, com aproximadamente 50 anos de idade (Domingues et al., 2001). O uso do solo no entorno do laboratório é diversificado, havendo principalmente floresta natural secundária, agricultura, pastagem e eucalipto.

A área sofre forte influência da altitude e dos efeitos orográficos da Serra do Mar, com massas de ar tropicais proporcionando à região condições de clima úmido. As precipitações pluviométricas anuais oscilam entre 1.440 mm e 3.100 mm, com valor médio de 2.200 mm. A temperatura média anual é de 16,5°C, sendo no inverno e no verão, em média de 10°C e 22°C, respectivamente. A umidade relativa média do ar é de 85% no período chuvoso (outubro a março), sendo inferior a este valor no período menos chuvoso (abril a setembro). A ocorrência de nevoeiros é frequente na região (Cicco, 2004).

Segundo Diaz e Studzinski (1994), os efeitos dos fenômenos El Niño/Oscilação Sul (ENOS) são mais intensos nas anomalias sazonais de precipitação e temperatura do ar, incluindo a variabilidade das temperaturas da superfície do mar no Atlântico Sul, conseqüentemente, influenciando o clima das regiões sul e sudeste do Brasil. Quadro e Abreu (1994) mostram que a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), durante os meses de maior atividade convectiva, é um dos principais fenômenos que influenciam o regime das chuvas nessas regiões.

O sudeste do Brasil, conforme destaca Nimer (1979), devido a sua localização latitudinal, se caracteriza como uma região de transição entre climas quentes das latitudes baixas e climas mesotérmicos de tipo temperado das latitudes médias. Assim, nas regiões serranas como o município de Cunha / SP, localizadas a leste, são registrados os extremos mínimos de temperatura durante o inverno do hemisfério sul (Quadro et al., 2004).

Monteiro (1973), destaca que o vale do Paraíba e o litoral norte são caracterizados pela presença da Massa Tropical Atlântica. A região de Cunha localiza-se entre as vertentes mais íngremes das Serras do Mar e da Mantiqueira, onde correntes úmidas provenientes do leste e sudeste, deixam boa parte das chuvas na escarpa Atlântica e Litoral.

As microbacias experimentais, denominadas A, B e D possuem áreas de 37,50 ha, 36,68 ha e 56,04 ha, e estão sendo monitoradas por intermédio de medições contínuas das precipitações e das vazões desde 1991, 1987 e 1982, respectivamente (Figura 2).

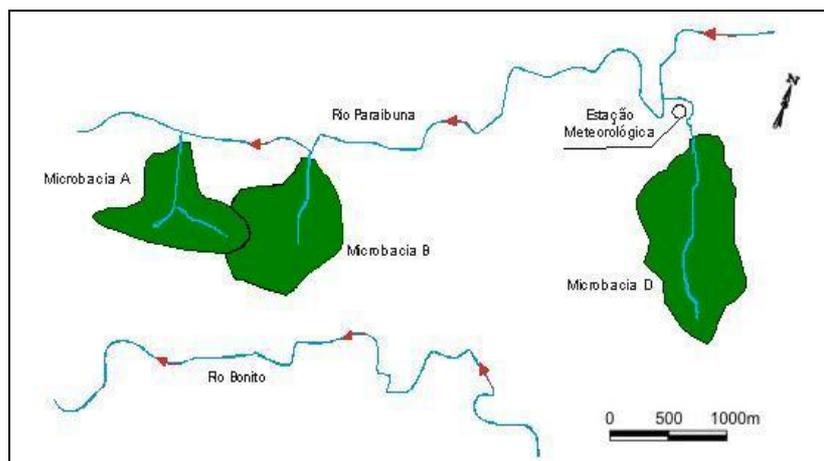


FIGURA 2 – Localização das microbacias hidrográficas experimentais A, B e D.

Cada microbacia hidrográfica foi dotada de uma estação fluviométrica equipada com linígrafo do tipo flutuador, com vertedouros triangulares de 120° e 90° (microbacias A e B) e de canal aberto trapezoidal para a microbacia D. Maiores detalhes das áreas e das instalações são encontrados em Arcova (1996) e Anido (2002), Figura 3.



FIGURA 3 – Estações fluviométricas e vertedouros das microbacias hidrográficas experimentais A, B e D.

Os processos relacionados à interceptação das chuvas pela floresta nas microbacias B e D foram estudados mediante a instalação de 16 pluviômetros sob as copas das árvores, e de 38 dispositivos coletores de água de escoamento pelo tronco na microbacia A e 8 na microbacia B. Um pluviômetro em clareira foi utilizado para a medição das chuvas antes da interação com o dossel florestal (Cicco et al., 1986/1988; Arcova et al., 2003).

O cálculo da evapotranspiração real foi realizado segundo a equação hidrológica fundamental (Hewlett e Nutter, 1969), que considera que a microbacia não apresenta vazamentos, isto é, nem entrada nem saída de água através de fluxos laterais. O balanço hídrico pode ser determinado da seguinte forma:

$$P = Q + ET \pm \Delta S \quad (1)$$

onde: P = precipitação (mm); Q = deflúvio (mm); ET = evapotranspiração (mm);  $\Delta S$  = variação de armazenamento de água no solo (mm).

Para determinação do balanço considera-se o período de doze meses do ano hídrico. A variação do armazenamento de água no solo é considerada desprezível, ou seja, tendendo a zero. A evapotranspiração é a diferença entre a precipitação e a vazão, portanto, a equação 1 pode ser simplificada, de modo que:

$$ET = P - Q \quad (2)$$

A análise de consistência, conhecido como método da Curva de Dupla Massa, desenvolvido pelo Geological Survey – EUA (Searcy e Hardison, 1960), foi utilizado para verificar a homogeneidade da série de dados de precipitação e do deflúvio da microbacia D, para os anos hídricos de 1983 a 1998.

Os testes de tendência não-paramétricos de Mann-Kendall (Morales et al., 1995) e de Pettitt (Pettitt, 1979) foram aplicados para as séries de dados da precipitação, do deflúvio e da evapotranspiração, com os limites de confiança de 90% e 95%, para os anos hídricos de 1983 a 1998 da microbacia D.

As análises de hidrogramas foram realizadas para obtenção dos volumes de escoamento direto, necessários para o cálculo da relação escoamento direto/precipitação (Arcova, 1996; Fújieda et al., 1997; Anido, 2002).

O modelo TOPMODEL, baseado em aspectos físicos e topográficos, foi aplicado na microbacia D para identificar as áreas potencialmente geradoras do fluxo rápido de água, além de simular a vazão e analisar seu funcionamento hidrológico para um hipotético corte-raso da floresta (Ranzini et al., 2004).

## Resultados e Discussão

### Interceptação das chuvas pelo dossel florestal

A Tabela 1 apresenta os valores de precipitação no aberto, da precipitação interna, do escoamento pelo tronco e da interceptação das chuvas pelas copas das árvores nas microbacias B e D. Os resultados obtidos foram muito próximos, apesar dos estudos terem sido realizados em anos distintos. A precipitação interna foi o principal processo pelos quais as chuvas alcançaram o piso florestal, com um montante de 81%. O escoamento pelo tronco se apresentou pouco importante, da ordem de 1%, segundo Cicco et al. (1986/88) e Arcova et al. (2003).

Tabela 1 - Precipitação no aberto, precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação nas microbacias B e D.

Microbacia	Precipitação no aberto		Precipitação interna		Escoamento tronco		Interceptação	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
B	2220,3	100	1802,9	81,2	4,8	0,2	412,6	18,6
D	2252,6	100	1816,8	80,7	25,30	1,1	410,6	18,2

### Microbacia hidrográfica experimental D

Para os anos hídricos de 1983 a 1998 a precipitação média anual foi de 2.205,5 mm, com um desvio padrão da média de 331,5 mm, correspondendo a 15% da precipitação média. O deflúvio médio anual foi de 1.528,2 mm, com um desvio padrão da média de 424,9 mm ou 27,8% do deflúvio médio. Os maiores índices de precipitação e de deflúvio ocorreram no ano de 1985, excessivamente chuvoso, com 3.040,4 mm e 2.722,4 mm, respectivamente. O ano mais seco do período estudado foi 1997, com uma precipitação de 1.769,3 mm e com o menor deflúvio, de 760,7 mm (Cicco, 2004).

A maior precipitação ocorreu em 1985, alcançando 3.040,4 mm, conseqüentemente, o deflúvio anual também foi elevado, de 2.722,4 mm. No ano de 1986, a precipitação foi superior à média do período de estudo, atingindo 2.371,8 mm e o deflúvio, da ordem de 1.183 mm, valor característico dos anos considerados mais secos. A evapotranspiração real média determinada pelo método do balanço hídrico foi de 677,3 mm, representando 30,7%. As variações extremas foram de 318,0 mm e 1.188,8 mm, para os anos hídricos de 1985 e 1986, conforme Figura 4. Deste modo, a evapotranspiração real na microbacia D apresentou uma variação de 10% a 57% em relação à precipitação total. Estes resultados reforçam a tese de que para sua estimativa, são necessárias séries longas de observações e registros, isto porque, a evapotranspiração é um processo complexo e dinâmico (Cicco, 2004).

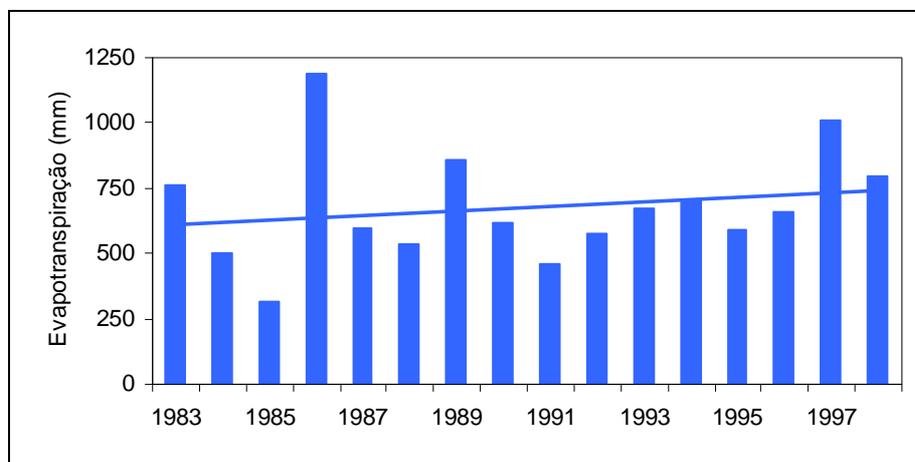


FIGURA 4 – Evapotranspiração real anual da microbacia hidrográfica experimental D para o período de 1983 a 1998.

O teste de consistência, através da curva de dupla massa entre precipitação e deflúvio anual, indicou uma boa concordância entre os valores acumulados. A linearidade apresentada mostrou que não houve alteração da inclinação da reta, que poderia resultar em mudanças na relação entre as variáveis analisadas. Através de regressão linear obteve-se um alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,9990$ ), indicando que a declividade da reta determina o fator de proporcionalidade entre as séries, demonstrando que as variáveis possuem boa consistência, Figura 5 (Cicco, 2004).

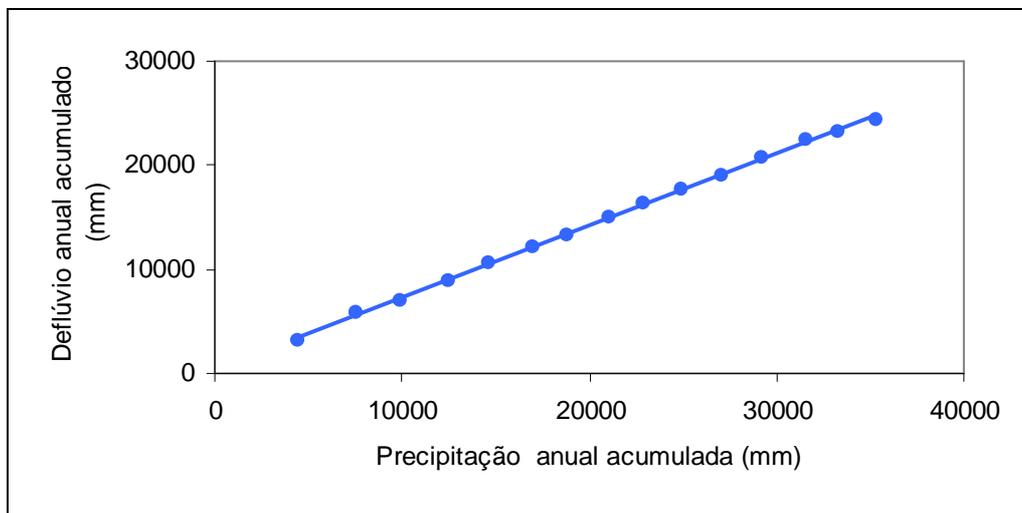


FIGURA 5 - Curva de dupla massa da precipitação e do deflúvio anual acumulado.

As séries hidrológicas da precipitação e do deflúvio anual não apresentaram autocorrelação serial significativa, sendo, portanto, os valores independentes. Como decorrência, os testes estatísticos de tendências puderam ser aplicados (Cicco, 2004).

Os valores da precipitação anual de 1983 a 1991 estiveram abaixo dos limites de confiança para o teste de Mann-Kendall. A precipitação para os anos hídricos de 1992, 1993 e 1998 ultrapassou um dos limites do intervalo de confiança, tornando-se estatisticamente significativa para o nível de 10%. Observou-se que a curva mostrou uma oscilação da precipitação anual entre os anos chuvosos e menos chuvosos. As curvas se cruzaram entre os anos hídricos de 1987 e 1988, indicando uma mudança, apresentando uma tendência negativa, e estatisticamente levemente significativa para o nível de 10% nos anos de 1992, 1993 e 1998 (Cicco, 2004).

Os resultados analíticos do teste de Pettitt para a precipitação anual indicaram o ponto de mudança brusca ou de ruptura dessa série temporal no ano hídrico de 1989. A tendência passou a ser negativa a partir desse ano, mas não estatisticamente significativa. Verificou-se uma grande variação entre os anos hídricos, representados pelos anos chuvosos e menos chuvosos (Cicco, 2004).

Os testes de Mann-Kendall e de Pettitt para a série da precipitação anual mostraram que as mudanças de tendências ocorreram em anos muito próximos. Entre 1987 e 1988 para o teste de Mann-Kendall e em 1989 para o de Pettitt, indicando coerência dos resultados (Cicco, 2004).

Para o teste de Mann-Kendall do deflúvio anual nenhum valor ultrapassou os limites de confiança de 90% e 95%. O valor mais alto encontrado foi no ano hídrico de 1998, provavelmente associado ao baixo valor do deflúvio do ano anterior. Não houve tendência estatisticamente significativa para essa série temporal (Cicco, 2004).

Observou-se que a curva mostrou uma oscilação do deflúvio anual como conseqüência da alternância dos anos chuvosos e menos chuvosos. Para o teste de Pettitt o ponto de ruptura ou de mudança brusca na média dessa série temporal ocorreu em 1989. A tendência passou a ser negativa a partir desse ano, mas não estatisticamente significativa (Cicco, 2004).

Para a estimativa da evapotranspiração pelo método do balanço hídrico, o teste de Mann-Kendall mostrou mudança de tendência em 1996, tornando-se positiva. A mudança brusca nas médias para Pettitt ocorreu em 1992, apresentando também tendência positiva. Os testes divergem quanto ao ano de ocorrência da mudança de tendência, mas em ambos não houve significância estatística (Cicco, 2004).

O regime do rio da microbacia D foi estável durante o ano, e o escoamento diário se apresentou elevado, em média de 4,3 mm. Do escoamento total da microbacia, o escoamento de base foi o principal componente do fluxo diário da água dos rios durante o ano, correspondendo a 90% do tempo na curva de duração de fluxo, enquanto que o escoamento direto, composto pela soma da precipitação nos canais, mais os escoamentos superficial e subsuperficial alcançou 10%. Verificou-se também, que ocorreu um retardamento da saída de água da microbacia de até dois meses, período este compreendido pelo momento de entrada da precipitação e da saída do deflúvio (Arcova, 1996).

Barbiero et al. (2002) mostraram que as características físicas dos solos da microbacia D favoreceram: (a) de um lado, durante precipitações de alta intensidade, a formação temporária de reservatórios de água nos horizontes subsuperficiais e, (b) de outro, durante as precipitações com frequência regular, a recarga dos reservatórios profundos, um dos quais o lençol freático.

Segundo Ranzini (2002), os resultados obtidos com o TOPMODEL indicaram uma eficiência maior para as simulações de eventos isolados de vazão do que para as de períodos longos. A simulação do ritmo hidrológico em função do corte raso na microbacia D mostrou uma diminuição do tempo de pico e um aumento significativo do volume de vazão; de 17% a 44%, em comparação à microbacia coberta com floresta. Demonstrou também, que de 7% a 93% do deflúvio é gerado a partir das "áreas variáveis de afluência" (A.V.A.), conforme Figura 6. As simulações indicaram que o corte raso pode ainda aumentar as áreas de saturação e, conseqüentemente, o escoamento superficial, podendo acarretar em problemas ambientais na microbacia.

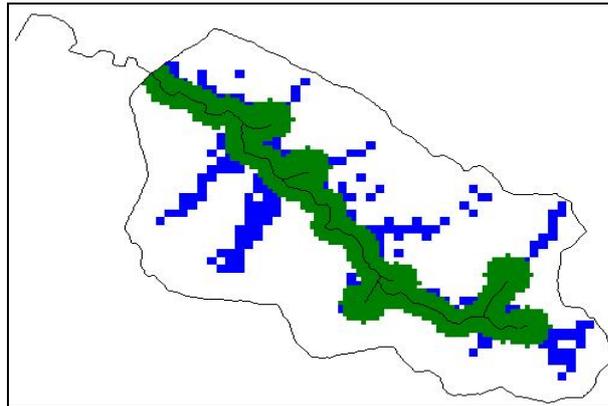


FIGURA 6 - Simulação mostrando em azul as áreas variáveis de afluência (A.V.A.), potencialmente geradoras do escoamento direto. Em verde são mostradas as áreas de preservação permanente (APPs) da microbacia D.

### Microbacia hidrográfica experimental B

Para os anos hídricos de 1987 a 1992 a precipitação média anual foi de 2.012,8 mm, com um desvio padrão da média de 201 mm, correspondendo a 10% da precipitação média. O deflúvio médio anual foi de 1.473,3 mm, com um desvio padrão da média de 247,4 mm. A evapotranspiração real média determinada pelo método do balanço hídrico chegou a 539,5 mm, representando 26,8% da precipitação média total (Arcova, 1996).

A precipitação e o deflúvio médio anual para os anos hídricos de 2001 a 2003 foram de 1.646,6 mm e 908,5 mm, Figura 7. A evapotranspiração real para a microbacia nos três anos hídricos apresentou uma amplitude de 73,1 mm, com desvio padrão de 38,5 mm. O erro padrão foi de 22,2 mm e o coeficiente de variação de 5,2%. A evapotranspiração real média estimada foi de 738,1 mm, ou 44,8% da precipitação total média (Cicco, 2009). Comparando os dois períodos de estudo, a evapotranspiração real teve um acréscimo, passando de 26,8% para 44,8%, e em termos médios a evapotranspiração foi de 35,8%.

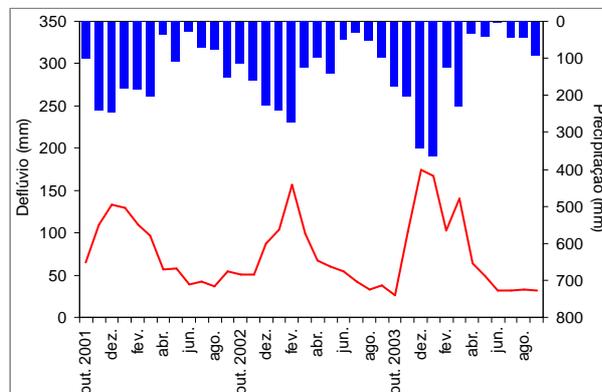


FIGURA 7 - Precipitação (em azul) e deflúvio (em vermelho) mensal para os anos hídricos de 2001 a 2003 na microbacia B (Cicco, 2009).

O regime do rio foi estável durante o ano e o escoamento diário se apresentou elevado, em média de 4,0 mm. O quociente entre o escoamento direto e a precipitação foi de 0,22, esse valor indicou que a resposta foi mais intensa às chuvas, onde até 56% deixou a microbacia na forma de escoamento direto, contra 22% para a microbacia D. Um dos aspectos que influenciaram para que essa área apresentasse maior escoamento direto é pela maior inclinação de suas vertentes (Arcova, 1996).

### Microbacia hidrográfica experimental A

Segundo Anido (2002) e Donato et al. (2008), a distribuição média mensal das chuvas e dos deflúvios da microbacia está presente na Figura 8. De forma geral, as chuvas suplantaram os deflúvios entre os meses de setembro a março. Ao contrário, para os meses mais secos os deflúvios foram maiores que as precipitações. Isto indicou que a microbacia possui uma grande capacidade de armazenamento da água, fazendo com que considerável parte do deflúvio seja alimentado pelo escoamento de base provocado por chuvas que ocorreram na estação chuvosa, conforme Fujieda et al. (1997).

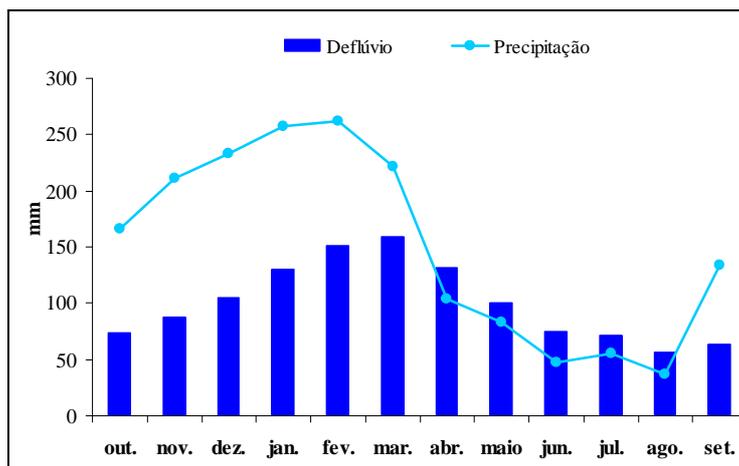


FIGURA 8 - Precipitação e deflúvio médios mensais da microbacia A.

A precipitação e o deflúvio médios dos períodos de 1993 a 1999 e 2001 a 2006 foram de 1.813,5 mm e 1.205,3 mm. A evapotranspiração real alcançou 608,2 mm, representando 33,5% da precipitação, com uma tendência positiva (Figura 9) (Anido, 2002 e Donato et al., 2008).

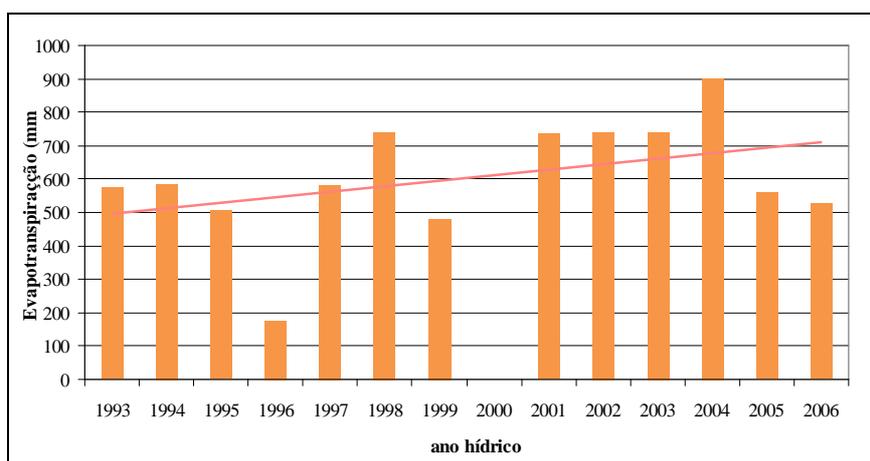


FIGURA 8 – Evapotranspiração real anual da microbacia A com a respectiva linha de tendência.

O regime do rio da microbacia A foi estável durante o ano e o escoamento total médio diário alcançou 2,97 mm, valor este menor quando comparado com as microbacias B e D (4,0 mm e 4,3 mm). Neste caso, deve-se levar em conta o regime pluviométrico distinto entre os dois períodos estudados e, conseqüentemente, às taxas de evapotranspiração, como também as diferentes características físicas das microbacias (Anido, 2002).

Um total de cento e oitenta e oito hidrogramas ocorreram na microbacia A para os anos hídricos de 2005 e 2006. O fator de resposta médio foi de 0,083, ou seja 8,3% da precipitação anual deixaram a microbacia através do escoamento direto.

Através de uma análise mais detalhada de hidrogramas da microbacia A foi verificado que o escoamento direto teve duração de 12 a 15 horas, para chuvas menores do que 30 minutos (Anido, 2002).

## **CONCLUSÕES**

Os resultados alcançados indicam que as microbacias hidrográficas experimentais do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, localizadas nas cabeceiras do rio Paraibuna apresentam elevado rendimento hídrico, e um regime de vazão estável durante todo o ano. As entradas de água pela precipitação são elevadas e as saídas de água através do deflúvio também são altas. As perdas através da evapotranspiração são reduzidas e os solos permeáveis favorecem a recarga dos reservatórios, por isto, essas microbacias com cobertura vegetal de Mata Atlântica, caracterizam-se como conservativa quanto ao consumo de água. Verifica-se que a evapotranspiração para as microbacias apresentam uma tendência positiva, provavelmente associada ao processo de regeneração natural.

As tendências negativas e significativas da precipitação nos meses de outubro e abril podem estar influenciando a redução do deflúvio, que apresenta também tendências negativas significativas, nos meses de novembro e de junho e julho, respectivamente. A diferente resposta hídrica da microbacia D poderia ser associada com a circulação e a retenção de água no solo, possivelmente, pelo tempo necessário para a recarga dos reservatórios de água no solo.

A modelagem hidrológica é uma ferramenta adequada para que futuramente se amplie o seu uso numa escala maior de forma a englobar diversos usos do solo; possibilitando o entendimento dos processos hidrológicos que controlam o funcionamento de uma bacia hidrográfica. E, assim, auxiliar na compreensão das alterações que podem ocorrer dentro de um sistema ecológico complexo, como é o caso da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

As pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich estão proporcionando o conhecimento dos processos hidrológicos na Mata Atlântica, podendo, desta forma, contribuir para tomadas de decisões relativas ao gerenciamento dos recursos hídricos e de riscos ambientais. Assim, esta região deve ser vista como estratégica para o suprimento de água para o Vale do Paraíba, Litoral Norte e Rio de Janeiro.

## **Referências Bibliográficas**

ANIDO, N. M. R. **Caracterização hidrológica de uma microbacia experimental visando identificar indicadores de monitoramento ambiental**. 2002. 69 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba – SP. 2002.

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

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 9, n. 2, p. 153-170, 1997.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - SP. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003.

BARBIERO, L.; CURMI, P.; FURIAN, S. M.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. 2002. Functioning of a Small Experimental Watershed in the Serra do Mar, Brazil: The Need of a Multidisciplinary Approach. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HYDROLOGY AND WATERSHED MANAGEMENT. Hyderabad, Índia, v. 1, p. 286 - 299.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: Síntese Executiva**. Brasília, DF, 2006. 135 p. Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br>>. Acesso em: 15 jan. 2007.

CICCIO, V.; ARCOVA, F. C. S.; SHIMOMICHI, P. Y.; FUJIEDA, M. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica – SP. **Silvicultura em São Paulo**, v. 20/22, p. 25-30, 1986/1988.

CICCIO, V. **Análise de séries temporais hidrológicas em microbacia com cobertura vegetal natural de Mata Atlântica, Cunha – SP**. 2004. 124 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, FFLCH/USP, São Paulo – SP. 2004.

CICCIO, V. **Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP**. 2009. 138 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, FFLCH/USP, São Paulo – SP. 2009.

CONSERVATION INTERNATIONAL. **Hotspots apontam áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade**. 02/02/2005. Disponível em: <[http://www.biodiversityscience.org/xp/news/press\\_releases/2005/020205por.xml](http://www.biodiversityscience.org/xp/news/press_releases/2005/020205por.xml)> Acesso em: 30 jan. 2008.

DIAZ, A.; STUDZINSKI, D. S. 1994. Rainfall anomalies in the Uruguay – Southern Brazil region related to SST in the Pacific and Atlantic Oceans using canonical correlation analysis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2, Belo Horizonte. **Anais**. Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 42 – 45.

DOMINGUES, E. N.; MATTOS, I. F. A.; FURIAN; S. M. - 2001 - Geomorfologia e cobertura vegetal atual da microbacia do ribeirão do Barracão no Núcleo Cunha – Parque Estadual da Serra do Mar – SP. *Revista do Instituto Florestal*, v. 13, n. 2, p.189–200.

DONATO, C. F. et al. Balanço de massa em microbacia experimental com mata Atlântica, na serra do mar, Cunha, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.20, n. 1, p. 1-11, jun. 2008.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 412p.

FORTI, M. C. **Ciclos biogeoquímicos e transferências de espécies químicas nas interfaces de ecossistemas terrestres de Mata Atlântica: estudo de duas áreas contrastantes**. São José dos Campos: INPE, 2003. 113 p. (Relatório científico, INPE-9547-PRP/237).

FUJIEDA, M.; KUDOH, T.; CICCO, V.; CARVALHO, J. L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments; the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, n. 196, p.26-46, 1997.

FURIAN, S. M.; PFEIFER, R. M. Levantamento de reconhecimento do meio físico do Núcleo Cunha, SP. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 183-193, 1986.

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. 187p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, FFLCH/USP, São Paulo – SP. 1987.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de atlas**. 1973. 129 f. Tese (Doutorado)-Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973.

MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R.L. 1995. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2, Recife - PE. **Anais**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, p. 27-32.

NIMER, E. - 1979 - **Climatologia do Brasil**. SUPREN / IBGE, v 4.

PETTITT, A. N. - 1979 - A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**. London, v. 28, n. 2, p. 126-135.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M.; PRANDINI, F. L. - 1981 - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo, IPT, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, Monografias 5, v.I, São Paulo.

QUADRO, M. F. L.; ABREU, M. L. 1994. Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2, Belo Horizonte - MG. **Anais**. Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 620 – 623.

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S. R.; BATISTA, N. N. M.; Oliveira, G. S. Climatologia de precipitação e temperatura. <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/chuesp.html>. (20 jul. 2004).

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. 132 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos – SP. 2002.

RANZINI, M.; RIGHETTO, A. M.; GUANDIQUE, M. E. G.; MORAES, J. M.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Modelagem hidrológica de uma microbacia florestada da Serra do Mar, SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 4, p. 33-44, 2004.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. **Plano de Manejo do Parque Estadual da Serra do Mar.** São Paulo, 2006. p. 3-5 Disponível em: <[http://www.iflorestal.sp.gov.br/Plano\\_de\\_manejo/PE\\_SERRA\\_MAR/index.asp](http://www.iflorestal.sp.gov.br/Plano_de_manejo/PE_SERRA_MAR/index.asp)>. Acesso em: 15 jan. 2008.

SEARCY, J. K.; HARDISON, C. H. - 1960 - **Double-mass curves**. Geological Survey Water, Washington, 66p. (Supply Paper, 1541 – B).