

# CALIBRAGEM DE DUAS MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS NO LABORATÓRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL WALTER EMMERICH, SÃO PAULO\*

Francisco Carlos Soriano ARCOVA\*\*

Walter de Paula LIMA\*\*\*

Valdir de CICCO\*\*

## RESUMO

A calibragem das microbacias hidrográficas experimentais B e D, do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, foi realizada para um período de seis anos. Empregando o método das microbacias pareadas, por meio de regressões lineares estabeleceu-se equações de predição para os deflúvios anual e mensal e para o volume de escoamento direto e pico de vazão de hidrogramas. A microbacia D foi considerada como controle no estudo. As equações de predição foram determinadas ao nível de significância de 0,05. As equações para os deflúvios anual e mensal apresentaram reduzidos erros padrão de estimativa, podendo ser utilizadas para avaliação de possíveis alterações na microbacia B, ao contrário dos modelos para estimativa do volume de escoamento direto e do pico de vazão, que produziram resultados ainda não significativos. De qualquer maneira, recomenda-se que a calibragem deve ser prolongada por mais alguns anos, a fim de amostrar uma amplitude maior de observações das precipitações e dos deflúvios anual e mensal, assim como a inclusão de mais hidrogramas na tentativa de melhorar as equações para o escoamento direto e pico de vazão.

Palavras - chave: microbacias; calibragem; deflúvio.

## 1 INTRODUÇÃO

Para que se possa avaliar as alterações na produção de água de microbacias experimentais, decorrentes das mudanças das condições originais das bacias, é necessário que se estabeleçam relações matemáticas entre as características do deflúvio de interesse e outra, ou outras, variáveis hidrológicas das microbacias estudadas. Estas relações devem ser determinadas durante um período que antecede

## ABSTRACT

The calibration of two experimental watersheds (B and D) in Walter Emmerich Hydrologic Laboratory was made for a period of six years. Applying the paired catchment method by means of linear regressions, it was correlated the annual streamflow, monthly streamflow, the amount of stormflow and peak discharge of hydrograph. The D watershed was used as the control. The prediction equations were estimated for the 0.05 significance level. The equations for annual and monthly streamflow, with low standard error of estimate, could already be used to predict streamflow after an eventual experimental treatment in the B catchment. However, the calibration period must be prolonged for a few more years, to sample a higher range of annual and monthly precipitation and streamflow data, and also to include more observations to improve the prediction equations of the amount of stormflow and peak discharge.

Key words: small watersheds; calibration; streamflow.

ao tratamento experimental a ser implementado. Este procedimento é denominado de calibragem (REIGNER, 1964; REINHART, 1967; GOLDING, 1980 e SWINDEL & DOUGLAS, 1984).

Conforme GOLDING (1980), os métodos de calibragem de microbacias experimentais são três: o método das microbacias pareadas; o método da calibragem de uma única microbacia usando dados climáticos, e o método da curva de dupla massa.

(\*) Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada em 19/12/96 à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba e aceito para publicação em junho de 1998.

(\*\*) Instituto Florestal, Caixa Postal 1322, 01059-970, São Paulo, SP, Brasil.

(\*\*\*) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Departamento de Ciências Florestais, USP, Caixa Postal 9, 13418-900, Piracicaba, SP, Brasil.

No método das microbacias pareadas, uma variável do deflúvio de interesse da microbacia a ser alterada é correlacionada com a mesma variável de interesse de uma segunda microbacia adjacente ou vizinha, de condições similares à primeira, denominada de microbacia controle. Esta correlação é estimada pela análise de regressão, resultando numa equação de predição que é usada para a determinação da mudança na produção de água após a alteração das condições originais da microbacia. A diferença entre o deflúvio medido na microbacia que sofreu a modificação e o deflúvio estimado pela relação obtida na calibragem fica, por este procedimento, estatisticamente caracterizado como resultado da alteração ocorrida na microbacia.

Segundo REIGNER (1964) o método das microbacias pareadas tem elevada confiabilidade, pois trata-se de um procedimento bastante usado nos experimentos de hidrologia florestal, com resultados satisfatórios, sendo ele o mais recomendado. O sucesso do método é baseado na elevada correlação existente entre as características do deflúvio das microbacias.

As características mais comumente utilizadas na calibragem estão relacionadas à quantidade de deflúvio. Evidentemente, quanto maior o número de características empregadas, maior o número de informações que poderão ser obtidas, porém mais complexo se torna o estudo. O deflúvio mensal, sazonal e anual são as características de maior interesse em estudos de hidrologia florestal. Outras características, como o deflúvio diário, vazão máxima diária, vazão máxima de hidrogramas isolados, vazão mínima diária, volume de escoamento direto, escoamento base, etc., são também frequentes (REINHART, 1958; SAMRAJ *et al.*, 1988; BOSCH & SMITH, 1989; BREN & PAPWORTH, 1991).

O emprego de outras características combinadas com o deflúvio, usadas como variável de predição, pode ser frutífero no estabelecimento das regressões. REINHART (1967) sugere o uso de dados climáticos obtidos no local do estudo, destacando que a utilização da diferença entre os valores de precipitação das duas microbacias pareadas é promissora.

O período de calibragem deve ser o mais representativo possível das condições climáticas e hidrológicas da área, abrangendo a maior gama de variações climáticas que possa ocorrer,

incluindo anos secos e anos úmidos no estudo (REINHART, 1967).

BRUIJNZEEL (1990) destaca que um fator complicador na avaliação de efeitos hidrológicos com a transformação da cobertura vegetal nas regiões tropicais é a elevada variabilidade climática no decorrer dos anos. Isto, é claro, se aplica tanto ao período de pós-tratamento quanto ao período da calibragem das microbacias.

Evidentemente, como lembrado por BROOKS *et al.* (1991), o número de anos necessário para que se obtenha uma calibragem adequada entre microbacias pareadas não é fixo, dependendo dos objetivos do estudo e também da variabilidade dos dados utilizados para tal. Caso se deseje determinar uma equação de predição para o deflúvio anual, cada ano representa apenas um dado na regressão. Por outro lado, se o interesse existe na determinação de uma relação que estime componentes de hidrogramas, vários eventos podem ser analisados em poucos anos, proporcionando um conjunto de dados adequados para a calibragem.

A acurácia a ser alcançada nos experimentos com microbacias é freqüentemente de difícil determinação. Na calibragem, uma equação de predição é definida e a ela está associado um erro de estimativa. Caso este erro seja suficientemente pequeno para ser aceito, significa que o grau de correlação entre as características das microbacias e a precisão das observações são satisfatórios (REIGNER, 1964).

Este estudo, desenvolvido nas microbacias B e D do Laboratório de Hidrologia Florestal Eng. Agr. Walter Emmerich, teve por objetivos obter equações de predição para os deflúvios anual e mensal, o volume de escoamento direto e para o pico de vazão de hidrogramas. Utilizou-se para tanto o método de calibragem das microbacias pareadas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Características Gerais do Meio Biofísico

O Laboratório de Hidrologia Florestal Engenheiro Agrônomo Walter Emmerich está situado no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha, no Estado de São Paulo. Está localizado entre os paralelos 23° 13' e 23° 16' de Latitude Sul e os meridianos 45° 02' e 45° 05' de Longitude Oeste de Greenwich.

ARCOVA, F. C. S.; LIMA, W. de P. & CICCIO, V. de. Calibragem de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo.

As microbacias experimentais B e D distam aproximadamente três quilômetros entre si, fazendo parte da bacia hidrográfica do rio Paraibuna (FIGURA 1).

Apresentam relevo montanhoso, com predomínio de altitudes superiores a 1.000 metros e declividades de encostas acima de 15°.

Os solos são predominantemente Latossolos e Cambissolos Álicos, provenientes de rochas duras,

orientadas e de difícil decomposição, como gnaisses, migmatitos e granitos.

A vegetação é de floresta natural secundária de Mata Atlântica, resultado de exploração madeireira ocorrida há aproximadamente 45 anos.

As microbacias sofrem fortes influências da altitude e dos efeitos orográficos da Serra do Mar, com massas de ar equatoriais e tropicais proporcionando à área condições de clima úmido.

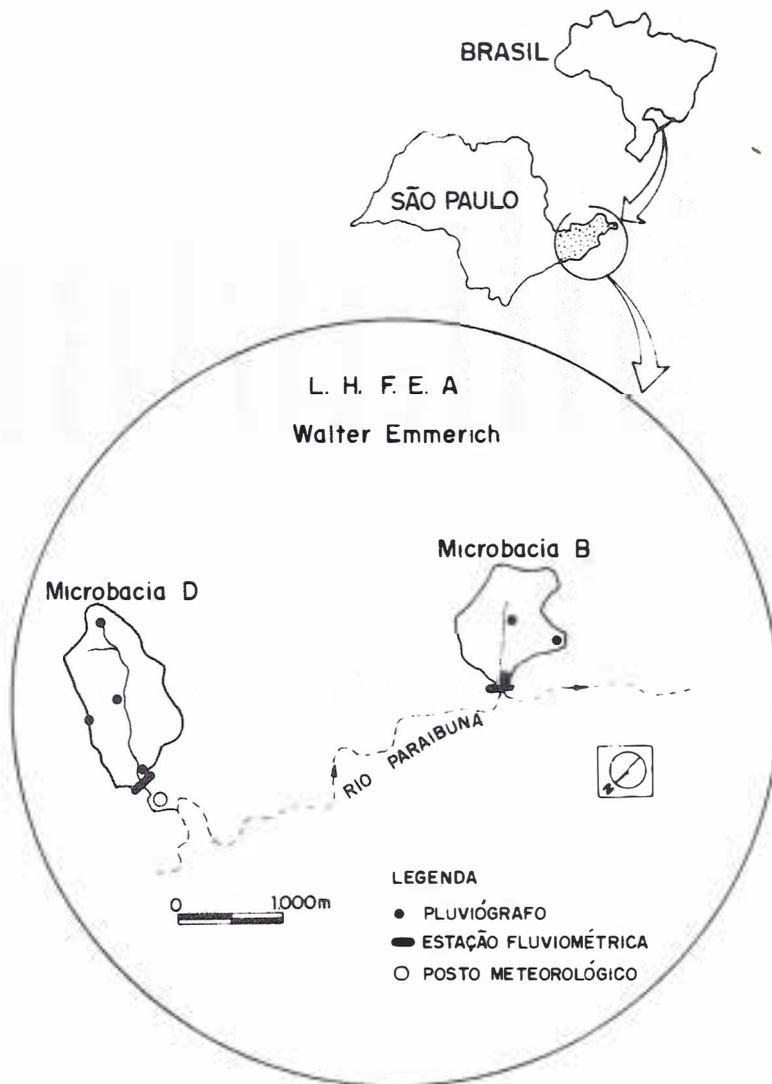


FIGURA 1 - Localização das microbacias B e D.

A precipitação média anual no Laboratório é da ordem de 2240 mm. Num período de doze anos, entre outubro de 1982 e setembro de 1994, os valores extremos registrados foram 1815 mm e 3088 mm (FIGURA 2).

Com relação à distribuição das chuvas, o ano pode ser dividido em um período caracterizado como úmido, que se estende de outubro a março (estação das chuvas) e um período seco ou pouco úmido, compreendendo os meses de abril a setembro.

A variação da precipitação mensal de ano para ano é bastante significativa. O quociente entre as precipitações mensais máxima e mínima para os meses de janeiro e fevereiro são 5,2 e 9,1, respectivamente, demonstram uma grande flutuação das chuvas mensais.

Um resumo das características físicas das microbacias está presente na TABELA 1.

Maiores detalhes da área são fornecidos por ARCOVA (1996).

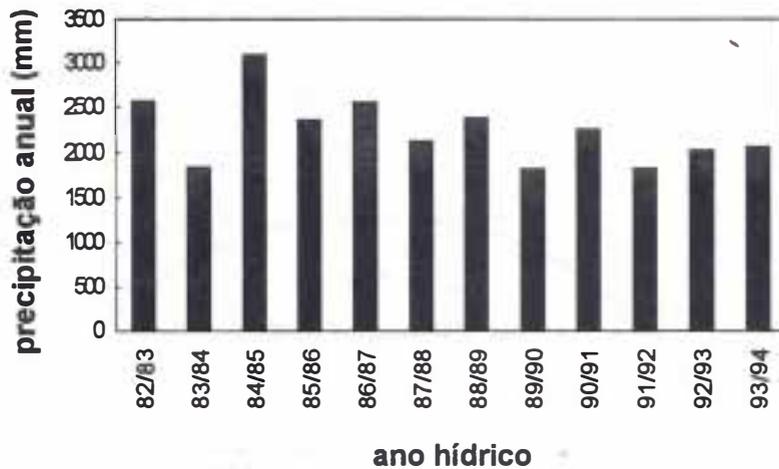


FIGURA 2 - Precipitação anual no L.H.F.E.A. Walter Emmerich.

TABELA 1 - Características físicas das microbacias B e D.

Característica	Microbacia	
	B	D
Área (ha)	36,68	56,04
Comprimento do rio principal (m)	920,00	1260,00
Comprimento total dos rios (m)	920,00	1550,00
Densidade de drenagem (km/km <sup>2</sup> )	2,51	2,77
Declividade do canal (%)	6,6	7,1
Perímetro (m)	2750,00	3450,00
Fator de forma	0,433	0,353
Declividade média da bacia (%)	25,8	28,1

## 2.2 Métodos

As microbacias B e D vêm sendo monitoradas desde 1986 e 1982, respectivamente, por meio de medições contínuas da precipitação pluviométrica e do deflúvio. Este estudo abrangeu um período de seis anos, estendendo-se de outubro de 1986 a setembro de 1992.

Quatro pluviógrafos medem a precipitação na microbacia D. A microbacia B conta com três pluviógrafos.

Para a medição do deflúvio utilizam-se estações linimétricas localizadas na saída das microbacias. A estação da microbacia B é constituída de dois tanques de sedimentação e um vertedouro triangular de 90°. A estação da microbacia D é composta de um tanque de sedimentação e um canal trapezoidal aberto. Linígrafos do tipo flutuador medem continuamente as variações da altura da lâmina de água.

Segundo o método das microbacias hidrográficas pareadas, as características do deflúvio das duas microbacias foram correlacionadas por meio de análise de regressão, resultando na determinação de equações de predição.

A microbacia D foi considerada como "controle" no estudo, sendo suas características do deflúvio as variáveis de predição. As características da microbacia B compuseram as variáveis resposta.

Assim, os totais anuais e mensais do deflúvio da microbacia D, além do volume de

escoamento direto e dos picos de vazão dos oitenta e oito hidrogramas selecionados, foram correlacionados com estas mesmas características da microbacia B.

Outras características hidrológicas e climáticas também foram testadas como variáveis de predição. Para as regressões do deflúvio mensal e anual, serviu-se da quantidade de precipitação dos respectivos períodos, além da diferença entre a precipitação das duas microbacias. A evapotranspiração potencial da área, calculada pelo método de THORNTHWAITE & MATTER (1955), também foi testada para ambos os casos. Os dados de temperatura do ar utilizados para os cálculos foram obtidos no posto meteorológico do Laboratório.

Para as equações do escoamento direto e do pico de vazão, as seguintes características foram empregadas: 1) a quantidade de precipitação que provocou o hidrograma; 2) a diferença entre as precipitações nas duas bacias; 3) a precipitação de cada um dos cinco dias que antecederam à ocorrência do hidrograma; 4) o total de precipitação dos cinco dias antecedentes ao hidrograma; 5) a intensidade máxima da precipitação do evento no intervalo de uma hora, e 6) o deflúvio antecedente, que se refere à vazão no início da ascensão de cada hidrograma.

A FIGURA 3 ilustra os principais componentes dos hidrogramas e das precipitações empregadas na calibragem do escoamento direto e do pico de vazão.

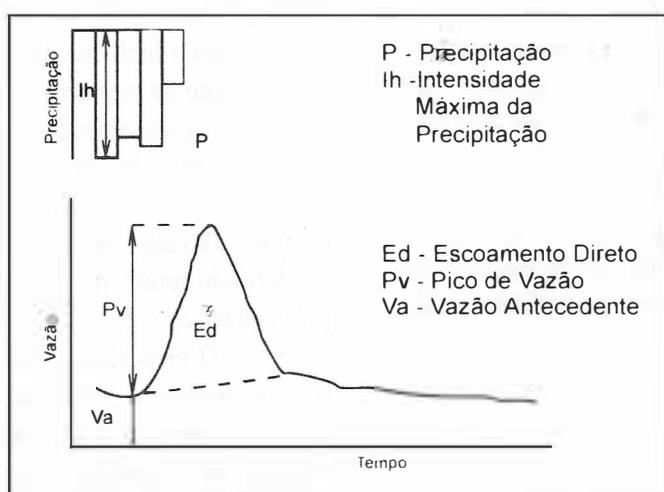


FIGURA 3 - Componentes dos hidrogramas e das precipitações empregadas na calibragem do escoamento direto e do pico de vazão.

As características hidrológicas adotadas como variáveis resposta, bem como as testadas como variáveis de predição nas análises de

regressão para definição dos modelos de calibragem das microbacias estão resumidas na TABELA 2.

TABELA 2 - Variáveis resposta e de predição utilizadas nas análises de regressão para calibragem das microbacias B e D.

Característica hidrológica		
Variável resposta	Variável de predição	
Deflúvio anual, mensal da bacia B ( $Q_{a,m}B$ )	Deflúvio da bacia D	( $Q_{a,m}D$ )
	Precipitação da bacia D	( $P_{a,m}D$ )
	Evapotranspiração potencial (*)	( $ET_{a,m}$ )
	Diferença entre precipitação das bacias	( $PD - PB_{a,m}$ )
Escoamento direto da bacia B ( $EdB$ ) e	Escoamento direto da bacia D	( $EdD$ )
	Pico de vazão da bacia D	( $PvD$ )
Pico de vazão da bacia B ( $PvB$ )	Precipitação da bacia D	( $PD$ )
	Diferença entre as precipitações das bacias D e B	( $PD - PB$ )
	Precipitações dos 5 dias antecedentes aos hidrogramas da bacia D	( $P1,2,3,4,5,Pt$ )
	Intensidade máxima da chuva da bacia D	( $IhD$ )
	Vazão antecedente da bacia D	( $VaD$ )

Subscritos "a" e "m" significam período anual e mensal, respectivamente.

(\*) Evapotranspiração calculada pelo método de THORNTHWAITE & MATTER (1955).

Os modelos de regressão empregados na calibragem foram a regressão linear simples e a regressão linear múltipla.

As variáveis de predição foram selecionadas baseando-se no procedimento da inclusão das variáveis uma a uma à equação e também em função da análise de resíduos.

Para assegurar uma precisão adequada, incluiu-se nas equações apenas as variáveis de predição com nível de significância dos coeficientes "b" superior a 0,05. O mesmo procedimento foi adotado para o coeficiente "a".

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Deflúvio Anual

O modelo que melhor ajusta as relações entre as duas microbacias para a calibragem do

deflúvio anual é do tipo linear simples. A equação de predição é apresentada na FIGURA 4.

A equação satisfaz as premissas estabelecidas para a inclusão da variável de predição, com o coeficiente de regressão da variável deflúvio anual da bacia apresentando adequado nível de significância, com valor de  $t = 58,0140$ .

O coeficiente de determinação mostra-se bastante elevado, indicando que 99% da variação do deflúvio anual da microbacia B é quantificada pela equação.

O erro padrão de estimativa (s.e.) obtido para o modelo é reduzido, um valor que corresponde a somente 4,3% do deflúvio médio anual medido na microbacia B (1473 mm). Este é claramente um bom indicativo de que se conseguiu uma precisão satisfatória para a equação de calibragem do deflúvio anual, conforme explicitado por REIGNER (1964).

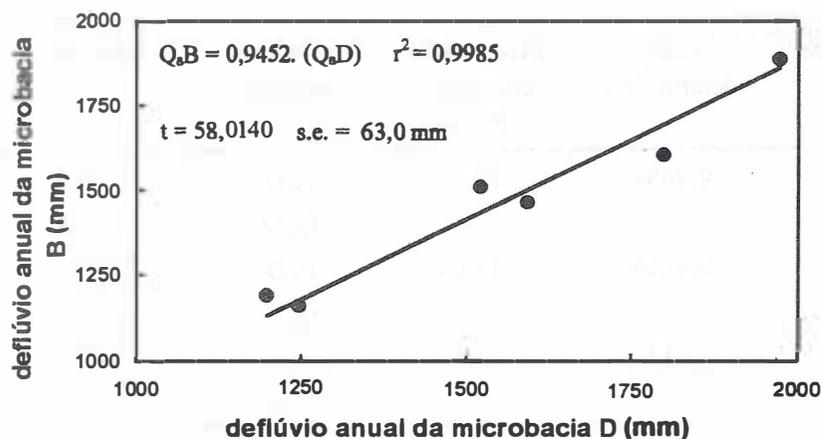


FIGURA 4 - Relação entre o deflúvio anual das microbacias B e D.

O resíduo absoluto máximo determinado não passa de 90 mm, correspondendo a apenas 5,3% do deflúvio estimado da microbacia B.

Os baixos valores dos resíduos e também do erro padrão de estimativa obtidos são adequados para que a equação possa ser usada na avaliação de uma eventual alteração na microbacia B sobre a produção hídrica anual. Porém, algumas considerações devem ser feitas sobre a calibragem do deflúvio anual das microbacias.

Os dados hidrológicos dos seis anos da microbacia D utilizados no estudo, fazem parte de um conjunto maior de registros já feitos, que totaliza 12 anos. Neste universo mais amplo, houve a ocorrência de um ano atípico (ano hídrico de 1984/85), excessivamente úmido, com uma precipitação total no período de 3088 mm, que resultou num deflúvio anual de 2722 mm. Este fato é revelador de que o modelo de predição do deflúvio anual estabelecido no presente trabalho não abrange a variação total das chuvas e, conseqüentemente, do deflúvio anual, que podem vir a ocorrer nas microbacias experimentais. Assim, a equação determinada no período deve restringir-se a representar os anos hídricos cuja precipitação varie entre 1815 mm a 2552 mm, isto é, para um universo de dados disponível até o momento que corresponde a 92% dos valores anuais obtidos na microbacia D.

### 3.2 Deflúvio Mensal

Com a finalidade de se ter equações de predição para avaliar alterações do deflúvio mensal para os períodos seco e úmido separadamente, as observações foram divididas de acordo com a época do ano e então submetidas à análise de regressão. Também obteve-se o modelo considerando os dados do ano hídrico conjuntamente (período total).

Os três modelos selecionados são lineares múltiplos. A contribuição da precipitação mensal como variável de predição é significativa para os três casos. As equações obtidas são:

- período seco:  $Q_{mB} = 0,1769.(P_{mD}) + 0,7110.(Q_{mD})$
- período úmido:  $Q_{mB} = -14,7479 + 0,2198.(P_{mD}) + 0,7220.(Q_{mD})$
- período total:  $Q_{mB} = 0,1867.(P_{mD}) + 0,6957.(Q_{mD})$

A TABELA 3 apresenta um resumo das principais características estatísticas das equações. Não mais que 4% da variação do deflúvio mensal da microbacia B deixa de ser quantificado pelas equações, conforme indicado pelos respectivos coeficientes de determinação ( $r^2$ ). O erro padrão de estimativa para as três regressões são praticamente iguais, estando em torno de 15 mm, não ultrapassando o valor de 12,7% da média (período seco).

TABELA 3 - Características estatísticas das equações de predição do deflúvio mensal.

Período	Coef. determ. ( $r^2$ )	Erro padrão estimativa (mm)	Variável de predição	Valor de t	Nível significância
Total	0,9884	15,1	$P_mD$	8,7230	0,0000
			$Q_mD$	21,7972	0,0000
Seco	0,9856	13,6	$P_mD$	5,5537	0,0000
			$Q_mD$	19,1173	0,0000
Úmido	0,9578	13,7	$P_mD$	6,0989	0,0000
			$Q_mD$	11,3336	0,0000

A contribuição de cada variável de predição na definição do modelo do deflúvio mensal para o período total pode ser constatada por intermédio da comparação do coeficiente de determinação e do erro padrão de estimativa entre o modelo linear simples, usando apenas o deflúvio da microbacia D e o modelo linear múltiplo, acrescido da variável precipitação. A regressão simples gera um  $r^2$  de 0,9757, sendo o erro padrão de estimativa igual a 21,7 mm. Com a introdução da precipitação no modelo, o valor de  $r^2$  sobe para 0,9884, e o erro padrão de estimativa é reduzido para 15,1 mm.

Comportamento semelhante é observado nos modelos definidos para os períodos seco e úmido. Os valores de  $r^2$  da regressão linear simples e da regressão múltipla, para o período seco, são 0,9734

e 0,9856, respectivamente. Os valores do erro padrão de estimativa são 18,5 mm e 13,6 mm. Para a estação úmida, os valores do coeficiente de determinação dos modelos linear simples e linear múltiplo são 0,9130 e 0,9578, respectivamente. A inclusão da variável precipitação faz com que o erro padrão de estimativa seja reduzido de 23,0 mm para 15,7 mm.

Os gráficos das FIGURAS 5, 6 e 7 mostram que praticamente todos os valores observados do deflúvio mensal da microbacia B estão incluídos na banda de confiança de 95%.

Da mesma forma que para o deflúvio anual, as equações determinadas para o deflúvio mensal apresentam reduzido erro padrão de estimativa, podendo assim ser empregadas na avaliação de efeitos hidrológicos na microbacia B.

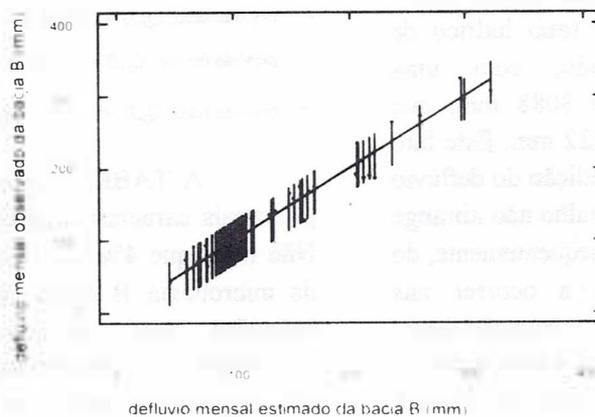


FIGURA 5 - Relação entre os valores estimados e os observados do deflúvio mensal da microbacia B, para o período total.

ARCOVA, F. C. S.; LIMA, W. de P. & CICCIO, V. de. Calibragem de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo.

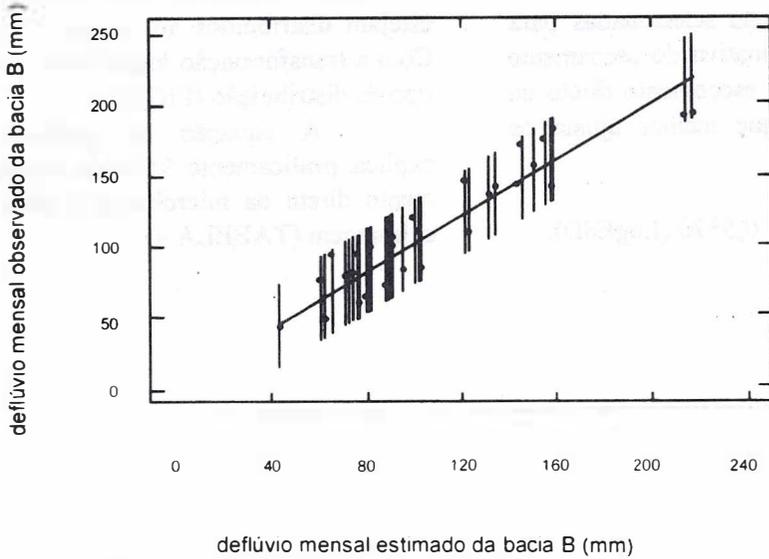


FIGURA 6 - Relação entre os valores estimados e os observados do deflúvio mensal da microbacia B, para o período seco.

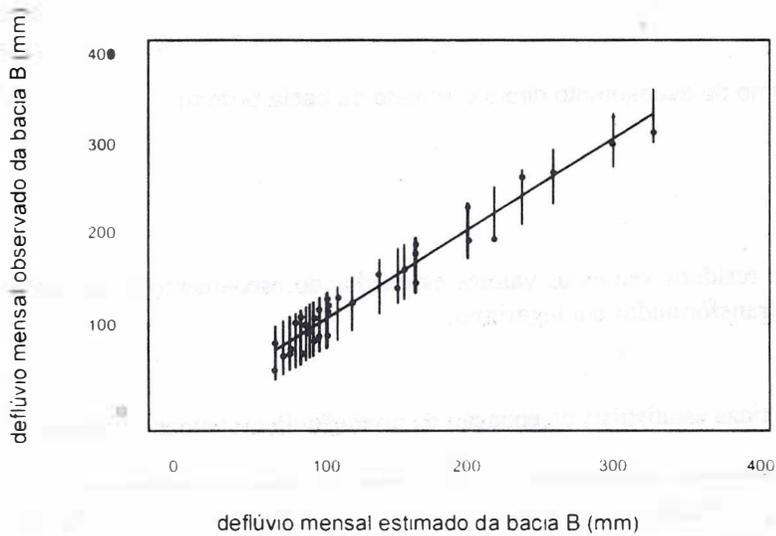


FIGURA 7 - Relação entre os valores estimados e os observados do deflúvio mensal da microbacia B, para o período úmido.

### 3.3 Escoamento Direto

As variáveis de predição selecionadas para comporem a equação de estimativa do escoamento direto são a precipitação e o escoamento direto da microbacia D. O modelo que melhor ajusta os dados é:

$$\text{LogEdB} = 0,3382.(\text{LogPD}) + 0,5570.(\text{LogEdD}).$$

Para que as observações possam ser utilizadas, é necessário que os resíduos do modelo estejam distribuídos ao acaso, o que não ocorre. Com a transformação logarítmica, consegue-se este tipo de distribuição (FIGURA 8).

A equação de predição determinada explica praticamente 95% da variação do escoamento direto da microbacia B para o período de calibragem (TABELA 4).

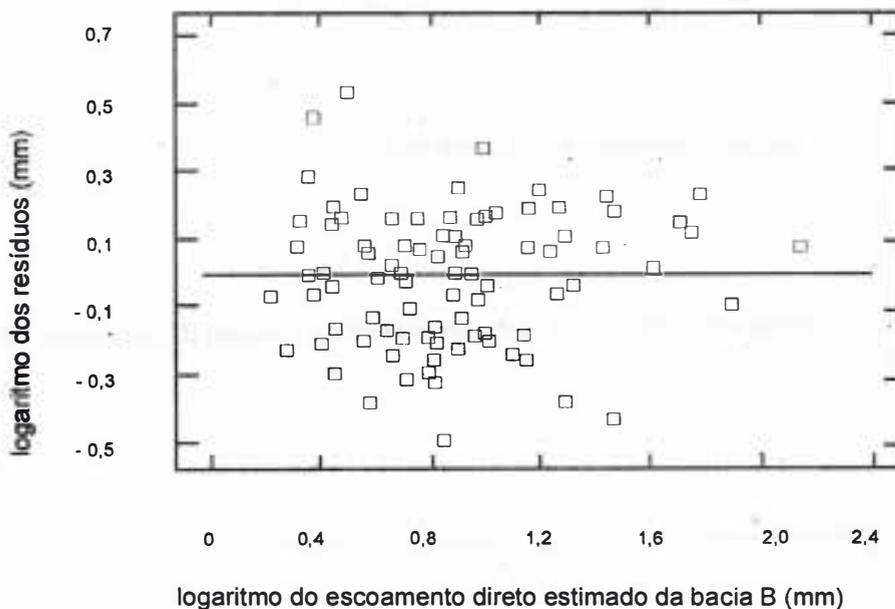


FIGURA 8 - Distribuição dos resíduos versus os valores estimados do escoamento direto da microbacia B a partir de dados transformados em logaritmo.

TABELA 4 - Características estatísticas da equação de predição do escoamento direto.

Coef. determinação ( $r^2$ )	Erro Padrão Estimativa (mm)	Variável de predição	Valor de t	Nível de significância
0,9542	8,9	PD	9,7766	0,0000
		EdD	8,3949	0,0000

A relação entre valores observados de escoamento direto da microbacia B e os valores estimados pelo modelo de calibragem revela que

apenas 3 pontos amostrados excedem a banda de confiança de 95%, indicando um ajuste bastante satisfatório da equação obtida (FIGURA 9).

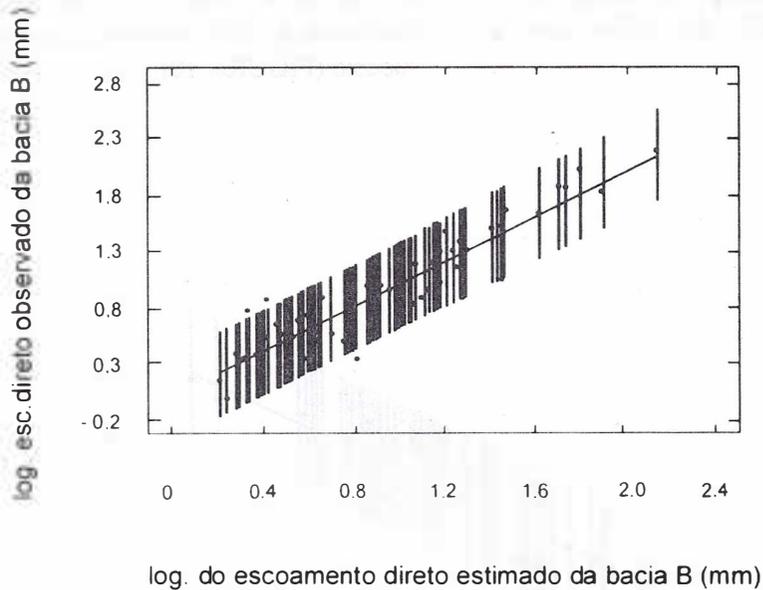


FIGURA 9 - Relação entre o logaritmo do escoamento direto estimado e o observado da microbacia B.

Porém, o modelo apresenta um erro padrão de estimativa bastante elevado. Na forma não logarítmica seu valor é de 8,9 mm, correspondendo a 65% do escoamento médio da microbacia B. Isto deve ocorrer em função da alta variabilidade que há entre o volume de escoamento direto e também entre as precipitações das microbacias.

Assim, a adoção do modelo para a avaliação dos efeitos de um tratamento experimental sobre o escoamento direto da microbacia B pode ser prematura, sendo interessante fazer uma amostragem mais ampla de hidrogramas para a

determinação de uma equação que represente as correlações entre as duas bacias. Outra possibilidade seria o emprego de outros tipos de regressão, além das equações lineares ora utilizadas.

### 3.4 Pico de Vazão

As variáveis de predição utilizadas no modelo para estimativa da taxa de pico de vazão constam da TABELA 5. Além do pico de vazão, a equação inclui a quantidade da precipitação da microbacia D.

TABELA 5 - Características estatísticas da equação de predição do pico de vazão.

Coef. de determinação ( $r^2$ )	Erro Padrão Estimativa (l/s)	Variável de predição	Valor de t	Nível de significância
0,9656	280,9	PvD	3,5807	0,0006
		PD	5,0577	0,0000

A equação que relaciona o pico de vazão da microbacia B com as variáveis selecionadas é:

$$\text{LogPvB} = 0,8294. (\text{LogPD}) + 0,4260. (\text{LogPvD}).$$

Igualmente ao escoamento direto, há a necessidade de transformação dos dados para a forma logarítmica.

Pela equação obtida, 97% da variação da descarga da microbacia B pode ser quantificado.

A relação entre valores observados do pico de vazão da microbacia B e os valores estimados pela equação obtida na calibragem indica que apenas 4 pontos da curva excedem a banda de confiança de 95%, mostrando ajuste satisfatório do modelo (FIGURA 10).

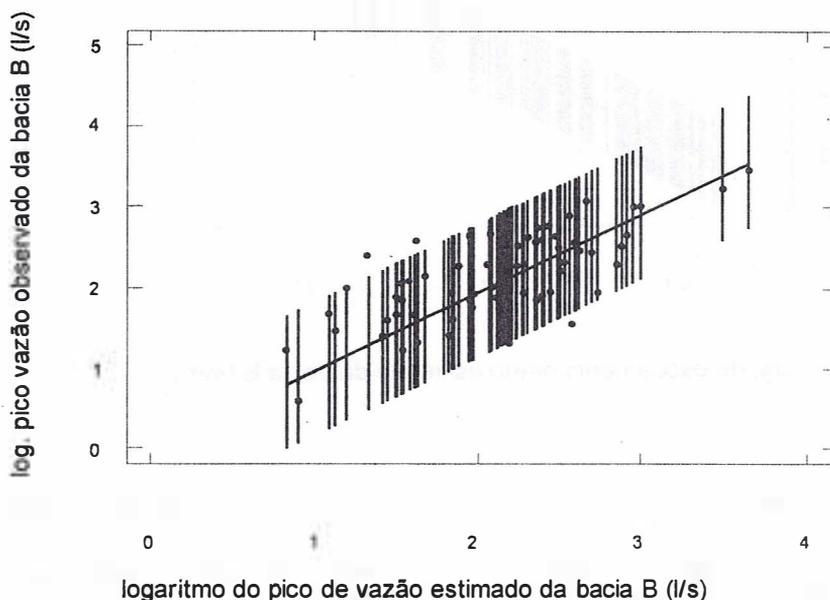


FIGURA 10 - Relação entre o logaritmo do pico de vazão estimado e o observado da microbacia B.

O erro padrão de estimativa da equação de calibragem do pico de vazão, já na forma logarítmica, é bastante elevado (280,9 l/s), correspondendo a 84% do pico de vazão médio da microbacia B (333,3 l/s). Portanto, seria interessante também que o período de calibragem das bacias fosse estendido, com o intuito de se determinar um modelo mais adequado para a predição desta característica.

#### 4 CONCLUSÕES

a) Os modelos determinados para os deflúvios anual e mensal, com reduzidos erro padrão de

estimativa, podem ser usados na avaliação de uma eventual alteração da cobertura florestal na microbacia B sobre sua produção hídrica.

b) Os modelos definidos para o escoamento direto e para o pico de vazão apresentam elevado erro padrão de estimativa, prejudicial para a avaliação de alterações na microbacia B sobre estas características dos hidrogramas.

c) O período de calibragem deve ser prolongado por mais alguns anos, para amostrar uma amplitude maior de observações das precipitações e dos deflúvios anual e mensal. Recomenda-se a inclusão de mais observações na tentativa de melhorar as equações para o escoamento direto e pico de vazão, além do teste de outros tipos de regressão.

ARCOVA, F. C. S.; LIMA, W. de P. & CICCO, V. de. Calibragem de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCOVA, F. C. S. 1996. *Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar, SP*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 130p. (Dissertação de Mestrado)
- BOSCH, J. M. & SMITH, R. E. 1989. The effect of afforestation of indigenous scrub forest with Eucalyptus on streamflow from a small catchment in the Transvaal, South Africa. *South African Forestry Journal*, Pretoria, 150:7-17.
- BREN, L. J. & PAPWORTH, M. 1991. Early water yield effects of conversion of slopes of a eucalypts forest catchment to radiata pine plantation. *Water Resources Research*, 27(9):2421-2428.
- BROOKS, K. N. et al. 1991. *Hydrology and the management of watersheds*. Ames, Iowa State University Press. 392p.
- BRUIJNZEEL, L. A. 1990. *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. 224p.
- GOLDING, D. L. 1980 Calibration methods for detecting changes in streamflow quantity and regime. In: THE INFLUENCE OF MAN ON THE HYDROLOGICAL REGIME WITH SPECIAL REFERENCE TO REPRESENTATIVE AND EXPERIMENTAL BASINS, Helsinki, 1980. *Proceedings...* International Association of Hydrological Sciences. p. 3-7. (Publication, 130)
- REIGNER, I. C. 1964. *Calibrating a watershed by using climatic data*. Upper Darby: U.S. Forest Service Research, Northeastern Forest Experiment Station, 45p. (Paper NE, 15)
- REINHART, K. G. 1958 Calibration of five small forested watersheds. *Transactions American Geophysical Union*, 38(5):933-936.
- \_\_\_\_\_. 1967 Watershed calibration methods. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST HYDROLOGY, 1, Pennsylvania, Aug. 29-Sept. 10, 1965. *Proceedings...* Oxford, Pergamon Press Ltd. p. 715-723.
- SAMRAJ, P. 1988. Hydrological behaviour of the Nilgiri sub-watersheds as affected by bluegum plantations, part 1. The annual water balance. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, 103:335-345.
- SWINDEL, B. F. & DOUGLAS, J. E. 1984. Describing and testing nonlinear treatment effects in paired watershed experiments. *Forest Science*, New York, 30(2):305-313.
- THORNTHWAITE, C. W. & MATHER, J. R. 1955. *The water balance*. Centerton, Drexel Institute of technology. 86p. (Publications in Climatology)