

AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS FÍSICAS E GEOMORFOLÓGICAS NA RESPOSTA DAS VAZÕES MÍNIMAS

Benedito Martins Gomes

Departamento de Eng. Rural - FCA - UNESP - Campus de Botucatu

C.P: 237 - Fone: (014) 821-3883 - Fax: (014) 821-3438

CEP - 18603-970 - Botucatu - SP

Arthur Mattos

Departamento de Hidráulica e Saneamento-EESC -USP -C.P:359 -Fone: (016)-273-9571

CEP - 13560-000 - São Carlos - SP.

1 RESUMO

Muitas investigações foram realizadas com a finalidade de se desenvolver modelos hidrológicos, com o propósito de se estimar estatisticamente vazões mínimas para lugares desprovidos de dados ou não, mediante a avaliação de parâmetros geomorfológicos, físicos, climáticos, etc.

Neste trabalho foram utilizadas as variáveis do modelo desenvolvido por Vogel & Kroll para estimar às vazões mínimas com 7, 14, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias de duração para a bacia do rio Jacaré Guaçu. Foram empregadas 8 estações fluviométricas com séries coincidentes de 14 anos cada, dando uma densidade aproximada de uma estação por 512 km².

As séries de vazões mínimas com d dias de duração obtidas por processo de média móvel foram correlacionadas com as características físicas e geomorfológicas da bacia hidrográfica, segundo modelo de Vogel & Kroll e analisadas estatisticamente.

Os resultados apresentados permitiram concluir que das variáveis (área, índice de inclinação, constante de recessão) utilizadas para a estimativa das vazões mínimas com d dias de duração, somente área e índice de inclinação apresentaram significância, contrariando expectativas contidas na literatura em relação a constante de recessão.

UNITERMOS: Modelos hidrológicos, regionalização, vazões mínimas.

GOMES, B.M., MATTOS, A. ESTIMATE OF PHYSIC AND GEOMORPHOLOGIC VARIABLES IN THE LOW FLOW RESPONSES.

2 ABSTRACT

Many researchs were realized with the object to development hydrologic models to estimate statistically the low flows to places with or without records, through of the valiation of geomorphologic, physics and climatic parameters.

In this work was utilized as variables of model proposed for Vogel & Kroll to estimate the low flows with 7, 14, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days of duration in the Jacare-Guaçu river- SP watershed. Concurrent 14 year time series of the stage recorder stations were employed, resulting in a density of nearly one station per 512 km².

The low flow series with d-days duration obtained by movel mean were correlated with the physical and characteristics of watershed, according model of Vogel & Kroll and analysed statistically.

It was further observed from the variables used (area, inclination index, recession constant) for the estimation of the low flows means with d-days duration, only area and inclination index were significants, opposing expectancys contained in the literature, with relation to the recession constant.

KEY-WORDS: Model hydrologic, regionalism, minimum emptying.

3 INTRODUÇÃO

A água sempre foi motivo de preocupação para as civilizações, que para sobrevivência e melhoria de suas condições sócio-econômicas procuram contornar os obstáculos impostos pelo meio ambiente, sejam de caráter quantitativo no tempo e no espaço e ou em qualidade físico-química e biológica .

Assim, os estudos hidrológicos tem importância fundamental no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos de superfície de uma bacia hidrográfica, tendo a distribuição temporal das vazões mínimas ou de estiagem grande importância em projetos de abastecimento de água, energia elétrica, irrigação, manutenção da qualidade da água, etc. A crescente demanda de água, concomitantemente com o aumento dos níveis de poluição hídrica, tornam as fontes disponíveis cada vez mais impróprias, fazendo com que exista a necessidade de otimizar sua distribuição no tempo e no espaço, objetivando-se com isso, garantir a demanda mínima necessária para fins de usos múltiplos e também evitar grandes concentrações de poluentes em épocas de estiagem, já que nesse período se concentram os maiores problemas relacionados com a demanda de água e com sua qualidade nos mananciais da bacia hidrográfica.

Uehara (1979), definiu a estiagem em um sentido amplo, como sendo um período extenso de falta de umidade.

Para os meteorologistas a seca é definida como uma prolongada e anormal deficiência de umidade, provocada por um período de chuvas abaixo do normal; para os agrônomos a seca só ocorre quando a umidade do solo é reduzida a um ponto onde as condições se tornam desastrosas para as plantas; para os hidrólogos a seca tem diversas conotações, alguns estabelecem como seca um período de vazões anormalmente baixas, outros como o período em que o suprimento mínimo necessário para uma operação normal em uma região particular, ou seja, um período o qual a vazão no curso d'água é menor que a demanda mínima necessária (Mattos, 1982).

Para definir e analisar adequadamente as estiagens ou vazões mínimas, faz-se necessário caracterizá-las quanto a quantidade de água e a sua duração, sendo que para essa caracterização são de grande importância os dados disponíveis (quantidade e consistência). Segundo Yevjevich (1972), os valores calculados com base na série histórica, dependem do número de valores da série e de sua representatividade.

Nos estudos hidrológicos que envolvem a determinação de vazões mínimas, máximas, médias, etc, normalmente levam-se em consideração as relações existentes entre as características físicas, climáticas e morfológicas da bacia de drenagem. Nos estudos de vazões mínimas as características acima tem papel fundamental na resposta de escoamento da bacia hidrográfica.

Zecharias & Brutsaert (1988), investigaram as relações existentes entre as características de escoamento de base em bacias íngremes e parâmetros geomorfológicos do solo. O estudo se baseou na formulação de um modelo conceitual simples da teoria hidráulica de lençóis freáticos, onde o fluxo de saída de água do lençol, é caracterizado por uma função exponencial decrescente, e então relacionado com as características do solo e morfologia da bacia. Os resultados mostraram que o coeficiente de recessão ou fator de reação influencia o fluxo de saída d'água e que o mesmo coeficiente é dependente principalmente da inclinação da bacia e em menor extensão pela densidade de drenagem e da razão entre a condutividade hidráulica e porosidade de drenagem, respectivamente.

Chang & Boyer (1977), relacionaram a vazão mínima média de 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno ($Q_{7,10}$) com os parâmetros topográficos e climáticos da bacia (comprimento do canal principal, coeficiente de forma, temperatura, número de dias sem chuva e perímetro da bacia). Os resultados mostraram que a vazão $Q_{7,10}$, pode ser estimada usando os cinco parâmetros citados acima. Constatou-se ainda, que, na adição de parâmetros climáticos na Equação de regressão, o erro padrão da estimativa sob a média observada, reduziu-se de 190% para 30%.

Silva & Sachet (1992), apresentaram uma metodologia para estimativa de vazões mínimas em bacias hidrográficas a partir de uma metodologia de regionalização, originalmente elaborada pelo Institute of Hydrology of Wallingford, Inglaterra.

A metodologia está baseada num conjunto de Equações múltiplas não lineares, onde inicialmente, estima-se a média das vazões mínimas numa determinada seção transversal de um rio, em função da área de drenagem e do coeficiente de escoamento subterrâneo, determinando-se na sequência os coeficientes de frequência e permanência desejados. O produto de cada um destes coeficientes pela vazão calculada anteriormente fornece a estimativa de uma vazão mínima, respectivamente associada a um período de retorno e a uma permanência no tempo. Esta vazão mínima está ainda associada a diversas durações consecutivas de escoamento. É possível, por exemplo, estimar a vazão mínima num determinado ponto com 7 dias de duração e 10 anos de período de retorno ou então, a vazão de 7 dias com 90% de permanência no tempo.

Silva (1992), aplicou esta metodologia para regionalização de vazões no oeste catarinense. Foram utilizadas oito durações consecutivas, obtidas pelo processo de média móvel para 1, 7, 15, 30, 60, 90, 120 e 180 dias, sendo utilizada 21 estações fluviométricas com uma média de 14,5 anos cada. O autor concluiu que a prática desta metodologia, com a utilização de seus coeficientes, fica restrita à área a qual foi regionalizada, o que é um condicionante geral de todo trabalho de regionalização. Existe uma limitação específica na utilização das Equações de permanência, pois estas foram obtidas a partir da linearização das curvas respectivas, cujos extremos são bastantes acentuados. Daí a recomendação de não se utilizarem valores maiores que 95%, sendo 90% o máximo ideal. Comenta ainda que os dados das séries históricas foram até 1975, e que passados mais de 15 anos seria recomendável uma atualização dos estudos.

Vogel & Kroll (1990), apresentaram um modelo de escoamento mínimo regional obtido por Vogel & Kroll (1989), que estima as descargas mínimas com d dias de duração e T anos de período de retorno para lugares desprovidos de registros. Foram utilizadas vinte e três estações fluviométricas de Massachusetts. O modelo de escoamento mínimo é função das características físicas e geomorfológicas da bacia de drenagem (área de drenagem, elevação da bacia, densidade de drenagem, condutividade hidráulica e constante de recessão). Devido as dificuldades de se obterem as estimativas da condutividade hidráulica e da constante de recessão para lugares desprovidos de dados, os autores as ignoraram neste estudo, fazendo o mesmo com a densidade de drenagem que não apresentou melhora substancial ao modelo. A distribuição Log-Normal 2 parâmetros foi ajustada à sequência de escoamentos mínimos, sendo o critério utilizado para verificar o grau de aderência o teste PPCC. Os parâmetros da distribuição foram calculados e então relacionados com duas características física da bacia de drenagem, área e elevação da bacia. Os erros padrões das estimativas da vazão média para a duração de 7 dias e período de retorno de 2 e 10 anos foram, 47.9% e 79.2%, respectivamente. Os autores comentam que em geral, a perda no ajuste da distribuição é devido ao erro no modelo, e que com a inclusão da constante de recessão e da condutividade hidráulica no modelo de regressão, os erros padrões das estimativas diminuiriam, pois ambas descrevem a resposta geomorfológica na bacia. Segundo Beran & Gustard (1977), a constante de recessão está intrinsecamente relacionada à transmissividade e ao armazenamento d'água na bacia. Vogel & Kroll (1989), citados por Vogel & Kroll (1990) comentam que a inclusão da constante de recessão melhora o modelo de regressão.

Dando prosseguimento ao estudo realizado por Vogel & Kroll (1990), os mesmos, em 1992, apresentaram basicamente o mesmo modelo de escoamento mínimo, sendo este função da A (área de drenagem), K_b (constante de recessão) e S (índice de inclinação média da bacia). O modelo desenvolvido baseou-se fisicamente na resposta do escoamento mínimo, visando atribuir variáveis físicas e geomorfológicas que venham melhorar a estrutura do modelo de regressão. Foram utilizados os mesmos registros fluviométricos e as mesmas técnicas aplicadas em 1990. Os autores concluíram que estas três variáveis independentes respondem por aproximadamente 97% e 93% da variabilidade associada com escoamento mínimo de 2 e 7 dias de duração com 10 anos de período de retorno, respectivamente.

Segundo Pires (1994), o modelo ideal será o que usar um menor número de variáveis explicativas e que apresentar pequeno erro padrão, com alto coeficiente de determinação. Visto que o

modelo desenvolvido por Vogel & Kroll (1992), apresentam características de um modelo ideal, e por se basear fisicamente na resposta de escoamento mínimo, optou-se pela exploração das variáveis para avaliar o seu comportamento na determinação das vazões mínimas com d dias de duração na bacia do rio Jacaré-Guaçu.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição geral da bacia hidrográfica

Roma & Mattos (1983) descrevem a bacia do rio Jacaré-Guaçu como tributária do rio Tietê e situada no centro norte do estado de São Paulo, limitando-se ao sul, com a bacia do rio Jacaré-Pepira, ao norte com a bacia do rio São Lourenço a nordeste, com a bacia do rio Mogi-Guaçu /Pardo, a leste com a bacia do rio Piracicaba e a oeste com o próprio rio Tiête. A confluência se faz dentro do lago criado pela barragem de Ibitinga.

A bacia hidrográfica com área de 4108 Km² abrange várias cidades, destacando-se São Carlos e Araraquara. Esta situada entre os paralelos 21°37' e 22°22' de latitude sul e os meridianos 47°43' e 48°57' de longitude oeste. Apresenta como principais características físicas os seguintes dados:

- Área total da bacia - 4108 Km²
- Índice de conformação - 0,24
- Declividade média - 0,0042 m/m
- Altitude máxima – 990 m
- Altitude mínima – 440 m

O rio Jacaré-Guaçu, afluente da margem direita do rio Tiête, é formado pela junção dos ribeirões do Lobo e do Feijão. O ribeirão do Lobo nasce na serra do Itaqueri, no município de Itirapina e o ribeirão do Feijão nasce na serra do Cuscuzeiro, no município de Analândia. Apresenta como principais tributários: pela margem direita, rio Monjolinho, rio Chibarro, ribeirão das Cruzes, rio Itaquerê e rio São João, pela margem esquerda, ribeirão Bonito, ribeirão da Onça, córrego Santa Joana e rio Boa Esperança do Sul.

4.1.1 Clima

A bacia do Jacaré-Guaçu apresenta em geral um clima subtropical mesotérmico, úmido com estiagem branda no inverno.

Para análise do clima foram utilizados os métodos de Thornthwaite e Koepen e do índice de efetividade de precipitação, que foram aplicados em quatro localidades da bacia, onde se dispunha de dados climatológicos. No alto curso as cidades de São Carlos e Itirapina, na parte média, a cidade de Araraquara e no baixo Jacaré-Guaçu a cidade de Ibitinga. Pelo método de Thornthwaite que utiliza o balanço hídrico para a determinação dos índices climáticos, o clima para as quatro localidades foi BB`r, ou seja, mesotérmico (temperatura média anual entre 18 e 24°C) e úmido com pequena deficiência de umidade no inverno. Segundo a classificação pelo método de Koepen, o clima da bacia é Cwa com variação na parte norte da bacia (região de Araraquara) para Aw, ou seja, um clima subtropical úmido, com chuvas de verão com variação para clima tropical, úmido com inverno seco. Com a temperatura média mensal pode-se verificar que a bacia apresenta durante cinco meses (Nov, Dez, Jan, Fev e Mar) um clima tropical (temperatura média superior a 22°C), durante cinco meses (Ago, Set, Out, Abr e Mai) clima subtropical (temperatura entre 18 e 22°C) e durante dois meses (Jun e Jul) clima temperado (temperatura inferior a 18°C), quanto ao índice de efetividade de precipitação verifica-se que ocorrem dois meses super úmido(Dez e Jan), três meses muito úmido (Nov, Fev e Mar), um mês úmido (out), três meses sub-úmidos (Abr, Mai e Jun) e três meses semi-áridos (Jul, Ago e Set), o que comprova a classificação anterior de estiagem no inverno com necessidade de irrigação para as culturas desenvolvidas na região.

4.1.2 Geologia

A bacia se desenvolve desde o alto das serras de Itaqueri e do Cuscuzeiro onde o nível freático é definido pelo contato do arenito Bauru com o basalto.

O ribeirão do Lobo drena o planalto de Campo Alegre que é constituído de arenitos da formação Botucatu e na parte baixa sobre o terreno diabásico do sills de origem basáltica intrometido entre camadas de Botucatu.

Os planaltos de Itirapina e Campo Alegre, formam um corredor deprimido entre as serras de Itaqueri e Santana ao Sul e Cuscuzeiro e São Carlos ao norte, que liga a depressão periférica ao planalto ocidental. Este eixo é ocupado pelas bacias do Jacaré-Guaçu e do Passa Cinco (Piracicaba) em sentido opostos.

O rio Jacaré-Guaçu, desde a sua formação até a fazenda do Porto aproximadamente no centro geográfico da bacia, corre em terreno arenoso de formação Botucatu, daí até a sua foz se desenvolve em basalto da formação eocretácea Serra Geral.

A bacia apresenta ao norte o planalto de São Carlos em posição elevada e no reverso da cuesta da serra do Cuscuzeiro, onde prevalece o arenito super-posto de origem flúvio-lacustre, neocretácico de formação Bauru.

O planalto de São Carlos é cortado por faixas basálticas de formação Serra Geral, que se estendem em direção ao planalto ocidental de Araraquara de onde mergulham em direção ao leito do rio Jacaré-Guaçu apresentando nesta região solo fértil do tipo latosol.

O basalto se estende no leito do rio Jacaré-Guaçu até a sua foz e em quase toda bacia do rio São João. Nesta região, o lençol é efusivo, intercalado entre duas camadas de arenito. A subjacente é o Botucatu, eólico, do mesmo grupo São Bento, ao qual pertence o basalto e aflora no rio, acima e abaixo do trecho basáltico.

O arenito super-posto que se encontra nas encostas em cotas altas é o arenito Bauru, flúvio lacustre.

Em geral, nos 4108 Km² da bacia existem cerca de 1460 Km² de arenito Botucatu, 1150 Km² de terrenos basálticos, 1190 Km² de arenito Bauru, na maior parte pobre, uns 160 Km² de diabásico de sills de mesmo magma basáltico que se intrometera entre as camadas de Botucatu ou sob as lajes pré existentes de basalto e uns 148km² de alúvios recentes.

Portanto mais de 64% da bacia são terrenos arenosos permeáveis (Botucatu mais que Bauru), mas cerca de 31% são terras roxas argilosas com afloramentos rochosos e topografia acidentada quando se trata de sills de diabásico.

4.1.3 Instrumentação

Na descrição realizada por Roma & Mattos (1983), consta a relação das estações climatológicas, pluviométricas, telemétricas e fluviométricas da bacia do rio Jacaré Guaçu, sendo a última de interesse neste estudo.

A relação das estações utilizadas neste estudo e a rede de drenagem com a localização das estações fluviométricas se encontram no Quadro 1 e Figura 1 respectivamente.

Quadro 1 - Estações fluviométricas

Nome	Prefixo	Entidade	Rio
Ribeirão Feijão	D-3	***	Ribeirão do Feijão
São José	RD-7	***	Córrego do Monjolinho
Gavião Peixoto	F-25	CESP	Rio Jacaré-Guaçu
Fazenda Palmeiras	5C-013	DAEE	Rio Jacaré-Guaçu
Fazenda Boa Vista do Jacaré	5C-021	DAEE	Rio Jacaré-Guaçu
Boa Esperança do Sul	5C-027	DAEE	Rio Boa Esperança
Sítio Esperança	5C-028	DAEE	Rio São João
Meia Léguas	5C-029	DAEE	Rio Itaqueri

Nota: ***-EESC-DNAEE-CPRM

4.2 Metodologia

A metodologia empregada se baseou no modelo desenvolvido por Vogel & Kroll (1992), para o cálculo das vazões mínimas, onde o sistema rio-aquífero é descrito e conceitualizado como mostra a Figura 2, onde um aquífero retangular, não confinado e com seu leito impermeável, penetra no rio completamente cheio. Ignorando o efeito da capilaridade sobre a superfície d'água, a evaporação e empregando as hipóteses de Dupuit, o sistema poderá ser representado pela Equação de Boussinesq.

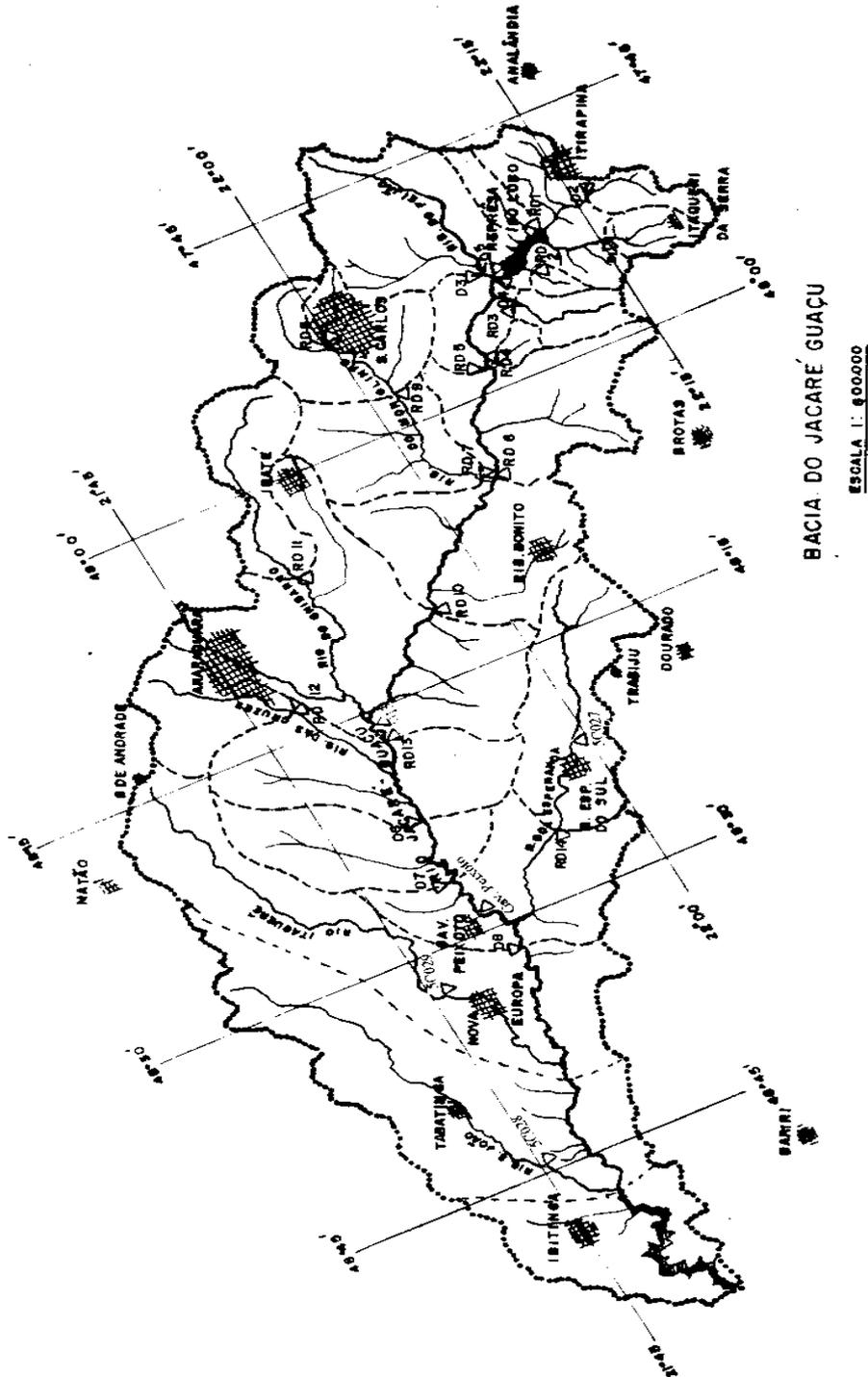


Figura 1 - Rede de drenagem

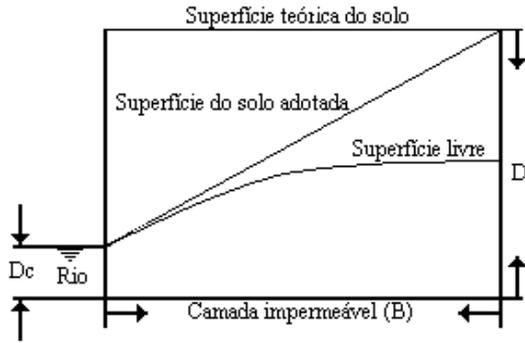


Figura 2 - Modelo rio-aquífero

A saída de água subterrânea, q , por unidade de comprimento do canal do rio correspondente a solução da Equação de Boussinesq linearizada quando o transiente decresce, é dada pela Equação 1:

$$q = \left[\frac{2KD(D - D_c)}{B} \right] \exp \left[\frac{-\pi^2 KDt}{4fB^2} \right] \quad (1)$$

Onde, K é a condutividade hidráulica, D é a espessura da camada do aquífero, D_c é a altura d'água no canal do rio, B é a largura do aquífero, f é a porosidade do solo e t é o tempo subsequente à saturação do inicial aquífero do aquífero.

A Equação 1 pode ser estendida para toda a bacia empregando-se condições de similaridade hidrológica, resultando na Equação 2:

$$Q = 2\phi KAS^2 \exp \left[\frac{-\pi^2 KD_d St}{2f} \right] \quad (2)$$

Onde Q é a vazão do exutório, ϕ é a fração da área que repousa sobre os aquíferos que contribuem para o escoamento, S é o índice de inclinação média da superfície da bacia, D_d é a densidade de drenagem e A é a área da bacia que contribui com o escoamento superficial.

Atribuindo-se a bacia hidrográfica, como sendo um reservatório linear, ou seja, a vazão do exutório apresenta uma relação linear com o volume armazenado da mesma nos períodos de estiagem, podemos reescrever a Equação 2 da seguinte forma (Equação 3):

$$Q = 2\phi KA^2 K_b' \quad (3)$$

Onde K_b é a constante de recessão do escoamento básico.

Nota-se escoamento para o tempo t , depende de cinco variáveis características da bacia de drenagem: K , A , S , K_b , ϕ . Devido a dificuldade que encontraram em obter os valores das variáveis K e ϕ para a região em estudo, Vogel & Kroll (1992) as descartaram do modelo, usando para fins de análise de regressão somente três variáveis (A , S , K_b).

Procurando adaptar a Equação para o presente trabalho, verificou-se a necessidade de se acrescentar mais uma variável no modelo, a duração d . Portanto, o modelo a ser empregado para o cálculo das médias das vazões mínimas com d dias de duração é função de quatro variáveis (A , S , K_b , d) e pode ser expressa na Equação 4.

$$\bar{Q}_{min,d} = b_0 A^{b_1} S^{b_2} K_b^{b_3} d^{b_4} \quad (4)$$

Onde, $\bar{Q}_{\min,d}$ é a média das vazões mínimas com d dias de duração; b_i são parâmetros estimados; A é a área da bacia de drenagem; S é a inclinação média da bacia e K_b é a constante de recessão.

Os valores correspondentes às áreas das bacias de drenagem e os índices de inclinação das bacias foram calculados utilizando-se mapas da região e o software Idrisi.

4.2.1 Determinação de K_b

Segundo Vogel & Kroll (1992) a constante de recessão do escoamento de base pode ser determinada a partir da Equação 5:

$$K_b = \exp \left\{ - \exp \left[\frac{1}{z} \sum_{t=1}^z \{ \ln(Q_{t-1} - Q_t) \} - \ln \left(\frac{1}{2} Q_t + Q_{t+1} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

Onde, Q_{t-1} e Q_t são pares de vazões de dois dias consecutivos e z é o número de pares de vazões referidas anteriormente.

Este equacionamento está submetido as seguintes restrições:

- i) A amostra que será utilizada na determinação da constante de recessão, será obtida a partir da série dos escoamentos, onde os elementos que formarão o hidrograma de recessão obedecerão a seguinte regra de formação: Inicia-se quando a média móvel de três dias de escoamento entrar em processo de recessão e se encerra quando a referida média móvel iniciar seu crescimento. Somente recessões de 10 dias serão aceitas. No caso de não se estabelecer o critério acima, pesquisar recessões com um mínimo de 7 dias;
- ii) A amostra não deverá ser utilizada integralmente, devido ao fato de que no início da recessão, a vazão medida ainda traz características do escoamento superficial.
- iii) Outra propriedade que os dados da série devem possuir é $Q_t \geq 0,7 Q_{t-1}$ sendo este com o intuito de retirar vazões não significativas para o conjunto de amostras.

4.2.1 Análise de regressão múltipla

O modelo desenvolvido Vogel & Kroll (1992) para o cálculo das vazões mínimas é do tipo não linear, sendo a vazão função de três variáveis (A, S, K_b), conforme descrito anteriormente. Neste trabalho foi introduzido mais uma variável, a duração d, a qual também influi na magnitude da vazão. Entretanto por meio de transformações logarítmicas foi possível linearizar o modelo. A Equação resultante (Equação 6) foi empregada neste estudo para a análise das variáveis empregadas no modelo de regressão linear múltipla, sendo seus coeficientes determinados pelo método dos mínimos quadrados.

$$\ln \bar{Q}_{\min,d} = \ln b_0 + b_1 \ln A + b_2 \ln S + b_3 \ln K_b + b_4 \ln d \quad (6)$$

A variável dependente do modelo é a média das vazões mínimas com d dias de duração (m^3/s), obtidas através do processo de média móvel. Foram utilizadas oito estações fluviométricas com dados de vazão do período de 1980 a 1993. As durações d utilizadas foram 7, 14, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias.

A adequabilidade do modelo de regressão foi testado, utilizando-se o procedimento stepwise, verificando-se a normalidade de distribuição dos resíduos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as regressões testadas, Anexo 1, e mantendo-se sempre no modelo a área e a duração, constatou-se que a inclusão de S foi significativo para a melhoria do mesmo em termos do coeficiente de determinação ajustado quando comparado com o modelo que contém somente a área e a

duração. A inclusão desta variável foi aceita pelo teste t ao nível de 1% de significância. Já a inclusão de K_b juntamente com a área e a duração não apresentou melhoria em termos do coeficiente de determinação ajustado quando comparado com o modelo que contém somente a área e a duração, e o teste t rejeitou a hipótese de entrada desta variável no modelo ao nível de 1% de significância.

Partindo agora do modelo com as variáveis (A, S, d), nota-se que a inclusão de K_b não proveu melhoria em relação ao modelo anterior, sendo descartada a hipótese de inclusão desta variável pelo teste t ao nível de 1% de significância.

Analisando os dois modelos com as variáveis (A, d) e (A, S, d) com relação aos erros apresentados pelo gráfico dos resíduos padronizados e pelo teste de Durbin-Watson ($\alpha=1\%$), verificou-se que ambos os modelos apresentam resíduos não correlacionáveis, sendo estes distribuídos de maneira uniforme em torno de zero com assimetria iguais a -1,81 e -0,22, respectivamente.

De acordo com o Quadro 2 apresentada por Salas et al.(1988), pode-se concluir que os resíduos se distribuem normalmente somente para o modelo com as variáveis (A, S, d) ao nível de 2% de significância.

Este modelo é apresentado de forma resumida nas Quadros 3 e 4 e pela Equação 7, e na Figura 3 são apresentados as vazões observadas e estimadas pelo modelo de regressão.

Quadro 2 - Valores relativos à verificação da normalidade da assimetria.

Nível de probabilidade (α)			Nível de probabilidade (α)		
N	0,02	0,10	N	0,02	0,10
25	1.061	0.711	70	0.673	0.459
30	0.986	0.662	80	0.631	0.432
35	0.923	0.621	90	0.596	0.409
40	0.870	0.587	100	0.567	0.389
45	0.825	0.558	125	0.508	0.350
50	0.787	0.534	150	0.464	0.321
60	0.723	0.492	175	0.430	0.289

Quadro 3 - Parâmetros da análise de regressão

Nome	Coefficient e	Desvio	Teste (calc)	t Beta	Significância
Área	0,8621	0,0138	62,3046	0,8637	0,00001
D	0,1232	0,0098	12,5588	0,1211	0,00001
S	0,3440	0,0287	11,9797	0,1661	0,00001
Constant	-4,1577	-	-	-	-
R^2	0,9944	-	-	-	-
R^2 ajustado	0,9941	-	-	-	-

Quadro 4 - Parâmetros da análise de variância

Fontes de Variação	de G.L	SQ	SQM	F.calc	Significância
Devido regressão	a 3	80,188	26,729	3565,6	0,00001
Independente	60	0,4498	0,0075	-	-

$$\ln Q_{min,d} = -4,1577 + 0,8621 \ln A + 0,1232 \ln d + 0,3440 \ln S \quad (7)$$

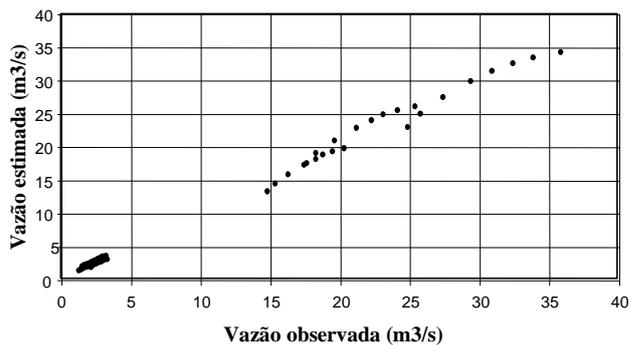


Figura 3 - Comparação entre as médias das vazões mínimas com d dias de duração estimadas e observadas

6 CONCLUSÃO

Constatou-se que na aplicação das variáveis (A , S , K_b) do modelo desenvolvido por Vogel & Kroll (1992), em um modelo de regressão linear múltipla para este estudo, somente a área e S (índice de inclinação) apresentaram significância para o modelo em questão, contrariando às expectativas geradas em relação a constante de recessão, segundo autores mencionados no texto.

Este modelo juntamente com a análise de frequência regional poderá fornecer os deflúvios mínimos com d dias de duração associados com um período de retorno para qualquer local dentro da região, o qual foi estabelecido o estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERAN, M.A., GUSTARD, A. A study into the low-flow characteristics of british rivers. *J.Hidrol.*, v.35, p.147-57, 1977.
- CHANG, M., BOYER, D.G. Estimates of low flows using watershed and climatic parameters. *Water Resour Res.*, v.13, p.997-1001, 1977.
- HALL, F.R. Base-flow recessions - a review. *Water Resour. Res.*, v.4, p.973-83, 1968.
- MATTOS, A. Método de previsão de estiagens em rios perenes usando poucos dados de vazão e longas séries de precipitação. São Carlos, 1982. 182p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PIRES, C.L.F. Análise de frequência: revisão metodológica. *Água Ver.*, n.3, p.13-22, 1994.
- ROMA, W.N.L., MATTOS, A. Bacia representativa do Rio Jacaré-Guaçu, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 5, 1983, Blumenau. *Anais*. Florianópolis: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1983. v.1, p.43-57.
- SALAS, J.D. et al. *Applied modeling of hydrologic time series*. 3.ed. Chelsea: Book Crafters, 1988. 483p.
- SILVA, D.J. Regionalização de vazões mínimas no oeste catarinense. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1992, Blumenau. *Anais...* Blumenau, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1992. p.289-304.
- SILVA, D.J., SACHET, Z.P. Estimativa de vazões mínimas para irrigação em microbacias no oeste catarinense. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, 1992, Blumenau. *Anais...* Blumenau, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1992. p.269-87.
- UEHARA, K., (COORD.) *Estudo das vazões mínimas em pequenas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo*: Secretaria de Obras do Meio Ambiente/DAEE, 1979. 247p. (Relatório técnico).
- VOGEL, R. M., KROLL, C.N. Low-flow frequency analysis using probability-plot correlation coefficients. *J. Water Resour. Planning Manag.*, v.115, p.338-57, 1989.

- VOGEL, R.M., KROLL, C.N. Generalized low- flow frequency relationships for ungaged sites in Massachusetts. *Water Resour. Bull.*, v.26, p.241-53, 1990.
- VOGEL, R.M., KROLL, C.N. Regional geohydrologic-geomorphic relationships for the estimation of low-flow statistics. *Water Resour. Res.*, v.28, p.2451-8, 1992.
- YEVJEVICH, V. *Probability and statistics in hidrology*. Fort Collins: Water Resources Publications, 1972. 302p.
- ZECHARIAS, Y.B., BRUTSAERT, W. Recession characteristics of groundwater outflow and base from mountainous watersheds. *Water Resour. Res.*, v.24, p.1651-8, 1988.