

MODELO PARA A QUANTIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA:

PARTE 1 – obtenção da equação de recessão¹

Luciano F. Novaes²; Fernando F. Pruski³; Douglas O. Queiroz⁴; Renata G. Rodriguez⁵;

Demetrius D. Silva⁶ & Márcio M. Ramos⁷

RESUMO: A modelagem hidrológica é uma ferramenta utilizada para melhor entender e representar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, sendo que a utilização dos modelos hidrológicos apresenta grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. No presente trabalho teve-se como objetivo desenvolver um modelo que permita estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos. Para a realização do estudo foram analisados os dados consistidos de 21 estações fluviométricas e de 30 estações pluviométricas. O desenvolvimento do modelo para estimar as vazões mínimas a partir de dados pluviométricos foi feito com base na curva de recessão do escoamento subterrâneo, identificando-se, para as 21 estações fluviométricas, os parâmetros que a definem, sendo estes o coeficiente de recessão do escoamento subterrâneo (α) e a vazão correspondente ao início do período de recessão (Q_0). Os resultados obtidos permitiram concluir que: a precipitação total nos meses anteriores à ocorrência da Q_0 permitiu uma boa estimativa do comportamento desta vazão; e os maiores desvios obtidos para os valores do α ocorreram nas estações fluviométricas situadas em regiões de cabeceira.

ABSTRACT: Hydrologic modeling is a tool used to better understand and represent the hydrologic behavior of a hydrographic basin as the use of hydrologic model shows great potential to characterize the water availability under changes in climate or land use conditions. The objective of the present work was to develop a model to estimate the minimum streamflow of the Paracatu river and its tributaries based on precipitation data. For this study data from 21 stream and 30 rain gages were analyzed. The development of the model for the estimation of the minimum streamflow from precipitation data were based on the recession curve of the baseflow, identifying the parameters that define the 21 stream gages, and these were the recession coefficient of the baseflow (α) and the groundwater flow into the main channel at the beginning of the recession (Q_0). The results obtained allowed to conclude that: the total precipitation in the months that preceded the Q_0 occurrence allowed a good estimation of the behavior of this groundwater flow; and the greatest deviations obtained for the values of α occurred in the stream gages located in regions of the headwaters.

Palavras-chave: modelagem hidrológica, chuva-vazão, recursos hídricos.

1. Parte do Projeto: Modelo Computacional para a Gestão de Recursos Hídricos: Desenvolvimento e Aplicação para a Bacia do Paracatu, financiado pela FAPEMIG com parceria da UFV/IGAM.

2. Doutorando na USP, SHS, EESC, São Carlos, SP, fone: (16)33729886, e-mail: novaes@sc.usp.br.

3 Professor titular da UFV, DEA, Viçosa, MG, fone (31)38991912, fax: (31)38992735, e-mail: fpruski@ufv.br.

4 Graduação na UFV, DEA, Viçosa, MG, fone: (31)38991925, fax: (31)38992735, e-mail: eg42678@yahoo.com.br .

5 Doutoranda na UFV, DEA, Viçosa, MG, fone: (31)38991925, fax: (31)38992735, e-mail: ms45944@vicosa.ufv.br.

6 Professor adjunto da UFV, DEA, Viçosa, MG, fone: (31)38991904, fax: (31)38992735, e-mail: david@ufv.br.

7 Professor titular da UFV, DEA, Viçosa, MG, fone: (31)38991914, fax: (31)38992735, e-mail: mmramos@ufv.br.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade hídrica natural em uma bacia hidrográfica é representada pelas vazões médias e mínimas, sendo o conhecimento destas de grande importância para um adequado planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos, minimizando assim os conflitos pelo uso da água entre os diversos usuários.

A vazão média é a maior vazão possível de ser regularizada no curso d'água, sendo caracterizada como a máxima disponibilidade hídrica de uma bacia. O conhecimento desta vazão permite avaliar o limite do uso da água de um manancial para diferentes finalidades (Tucci, 2001). As vazões mínimas merecem especial atenção em estudos de disponibilidade hídrica, pois é nos períodos de ocorrência destas vazões em que a disponibilidade de água é considerada crítica para atender todas as demandas, principalmente nos rios que preservam as condições naturais, ou seja, que não possuem reservatórios de acumulação (Silveira & Silveira, 2001).

Na prática pouca utilidade tem a vazão mínima diária, pois normalmente durações maiores, como 7 ou 30 dias, apresentam maior interesse ao usuário, já que, além da magnitude, a seqüência de vazões baixas também representa uma situação desfavorável para a demanda ou para as condições de conservação ambiental. Assim, a vazão mínima é caracterizada tanto pela sua magnitude e duração, como também pela sua freqüência de ocorrência (Tucci, 2002). Um índice muito utilizado para a representação das vazões mínimas em estudos de disponibilidade hídrica e que considera a sua magnitude, duração e freqüência de ocorrência é a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$).

As vazões mínimas são as vazões associadas à contribuição do lençol freático (escoamento subterrâneo), sendo a tendência destas vazões diminuir com o rebaixamento do lençol freático. O período que representa o rebaixamento do lençol freático é denominado de período de recessão do escoamento subterrâneo, sendo que as vazões neste período decrescem exponencialmente com o tempo, sendo tal comportamento denominado curva de recessão do escoamento subterrâneo e representado pela equação:

$$Q = Q_0 e^{(-\alpha t)} \quad (1)$$

em que:

Q = vazão subterrânea num instante t , $m^3 s^{-1}$;

Q_0 = vazão subterrânea correspondente ao início da curva de recessão do escoamento subterrâneo, $m^3 s^{-1}$;

α = coeficiente de recessão, d^{-1} ; e

t = tempo contado a partir do início do período de recessão, d.

Estudos realizados em bacias da Noruega mostraram que o valor do coeficiente de recessão (α), que representa a taxa de declínio das vazões no período de recessão, é dependente do início e do comprimento do período de recessão (Tallaksen, 1995). Em estudo realizado no Plano Diretor da bacia do Paracatu (Brasil, 1996), considerando os hidrogramas obtidos no período de 1939 a 1989, foram evidenciados valores de α de 17 estações fluviométricas situadas na bacia do Paracatu que variaram de 0,0048 a 0,0080 dia^{-1} . Para as bacias dos rios Verde Grande e Jequitai os valores de α , evidenciados por Brasil (1988), foram iguais a 0,0056 e 0,0099 dia^{-1} , respectivamente.

Modelos hidrológicos

Os modelos hidrológicos são ferramentas utilizadas para melhor entender e representar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. Entretanto, estes modelos introduzem parâmetros de difícil obtenção e que, na maioria das vezes, precisam ser estimados, o que gera uma dificuldade adicional na aplicação do modelo e o risco destes não representarem adequadamente as condições reais da bacia. Collischonn & Tucci (2001) salientam que a integração de todos os processos hidrológicos de uma bacia é representada pela vazão e ao ajustar o modelo somente com o dado de saída (vazão) acarreta infinitas combinações de parâmetros plausíveis para a sua representação, o que gera fortes incertezas na definição real dos parâmetros.

Existe na literatura um grande número de modelos hidrológicos, sendo que cada um possui algoritmos empíricos dos processos hidrológicos representados (Tucci, 1998). Dentre estes modelos pode-se citar: TOPMODEL (Topographic Based Hydrological Model), SWAT (Soil an Water Assesment Tool), NAVMO (Niedeschlag – Abfluss – Verdungstung Modell), ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation), entre outros. Segundo Canedo (1989), qualquer modelo hidrológico, mesmo quando se trata de um modelo adequado e aplicado nas melhores condições, fornecerá resultados com incertezas, devido as imprecisões no registro de dados hidrometeorológicos da bacia hidrográfica e calibração dos parâmetros dos modelos.

Schuler (1998) aplicou o modelo TOPMODEL na bacia do rio Corumbataí, localizada no Estado de São Paulo, constatando que o modelo simula razoavelmente as vazões no leito do rio, sendo necessário utilizar diferentes combinações de valores dos parâmetros, muitas vezes sem significado real, o que torna a validade física do modelo questionável. Também aplicando o modelo TOPMODEL na bacia do rio Corumbataí, Moraes et al. (2003) compararam as variáveis obtidas por

este modelo com as medidas em campo, constatando que a variável condutividade hidráulica do solo saturado apresentou valores calibrados pelo modelo muito acima dos medidos em campo.

Machado et al. (2003) aplicaram o modelo SWAT para simular o escoamento produzido em uma sub-bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (área de drenagem igual a 5.973 ha), afluente do rio Piracicaba, situado no Estado de São Paulo, constatando que o modelo superestimou as vazões mínimas, sendo considerado o ajuste do parâmetro coeficiente de recessão do escoamento subterrâneo (α) como o maior responsável por este comportamento no período de estiagem.

Collischonn & Tucci (2001) apresentaram um modelo hidrológico para previsão de vazões em grandes bacias, sendo necessário para a aplicação do modelo o ajuste de nove parâmetros, que estão associados aos processos de transformação da precipitação e da evapotranspiração no escoamento total na saída da bacia. Os autores aplicaram o modelo na bacia do rio Taquari-Antas, situada no Estado do Rio Grande do Sul, sendo os parâmetros do modelo ajustados para os dados no período 1970 a 1980. Quando foram aplicadas simulações para as vazões na década de 1960 o modelo em geral superestimou as vazões observadas, sendo este comportamento justificado tanto pela ocorrência de alterações antrópicas na bacia como por mudanças climáticas representadas pelo aumento da precipitação depois de 1970.

Para a aplicação de um melhor planejamento e gestão de recursos hídricos é necessária a utilização de técnicas e ferramentas capazes de auxiliar os processos de análise, operação, planejamento e tomada de decisão em recursos hídricos. Assim, pelas facilidades crescentes do uso da informática, vários modelos matemáticos aplicados na área de gestão de recursos hídricos têm sido desenvolvidos (Lima et al., 2001). Porém, muitos destes modelos introduzem parâmetros que inviabilizam a aplicação destes pelas limitadas bases de dados e as inconsistências destas bases evidenciadas para as condições das bacias hidrográficas brasileiras. Assim, desenvolveu-se o presente trabalho que teve como objetivo desenvolver um modelo que permita estimar as vazões mínimas a partir de dados pluviométricos, sendo necessário para aplicação do modelo o ajuste de apenas dois parâmetros.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia do rio Paracatu está situada no Médio São Francisco e drena uma área de aproximadamente 45.600 km², sendo a segunda maior sub-bacia do São Francisco (Brasil, 1996). Da área de drenagem da bacia do Paracatu cerca de 92% encontram-se no Estado de Minas Gerais, 5% em Goiás e 3% no Distrito Federal (Ferreira & Euclides, 1997).

Dados utilizados no estudo

Para a realização do estudo foram analisados os dados consistidos correspondentes ao período de 1970 a 2000 de 21 estações fluviométricas (Tabela 1) e de 30 estações pluviométricas (Tabela 2) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). As áreas de drenagem apresentadas na Tabela 1 foram obtidas pelo mapa digitalizado na escala de 1:100.000 correspondente a rede hidrográfica, não sendo portanto obtidas do inventário fluviométrico.

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km ²)	Curso d'Água
42250000	Fazenda Limoeiro	17° 54' 56"	47° 00' 38"	490	Rio Claro
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	17° 36' 48"	46° 51' 31"	1.846	Rio Escuro
42255000	Fazenda Nolasco	17° 13' 48"	47° 01' 20"	264	Ribeirão Santa Isabel
42257000	Barra do Escurinho	17° 30' 45"	46° 38' 46"	2.035	Ribeirão Escurinho
42290000	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	7.756	Rio Paracatu
42395000	Santa Rosa	17° 15' 19"	46° 28' 26"	12.537	Rio Paracatu
42435000	Fazenda Barra da Égua	16° 52' 28"	46° 35' 12"	1.591	Ribeirão Barra da Égua
42440000	Fazenda Poções	17° 02' 31"	46° 49' 04"	545	Ribeirão São Pedro
42460000	Fazenda Limeira	16° 12' 35"	47° 13' 58"	3.901	Rio Preto
42490000	Unai	16° 20' 58"	46° 52' 48"	5.265	Rio Preto
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	5.844	Rio Preto
42545500	Fazenda o Resfriado	16° 30' 10"	46° 39' 46"	697	Ribeirão Roncador
42546000	Fazenda Santa Cruz	16° 08' 06"	46° 44' 52"	554	Rio Salobro
42600000	Porto dos Poções	16° 50' 23"	46° 21' 26"	9.419	Rio Preto
42690001	Porto da Extrema	17° 01' 49"	46° 00' 49"	28.721	Rio Paracatu
42750000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	31.401	Rio Paracatu
42840000	Veredas	18° 08' 19"	45° 45' 32"	185	Rio Santo Antônio
42850000	Cachoeira das Almas	17° 21' 02"	45° 31' 57"	4.370	Rio do Sono
42860000	Cachoeira do Paredão	17° 07' 16"	45° 26' 08"	5.679	Rio do Sono
42930000	Porto do Cavalo	17° 01' 50"	45° 32' 22"	40.869	Rio Paracatu
42980000	Porto Alegre	16° 46' 29"	45° 22' 55"	41.868	Rio Paracatu

Para o cálculo da precipitação média nas áreas de drenagem das 21 estações fluviométricas estudadas foi empregado o método do Polígono de Thiessen, que atribui um fator de peso aos totais precipitados em cada aparelho (pluviômetro ou pluviógrafo) proporcional à área de influência de cada um. Essas áreas de influência (pesos) foram determinadas em mapas da bacia contendo as estações, unindo-se os pontos adjacentes por linhas e, em seguida, traçando-se as mediatrizes dessas retas, formando polígonos. A precipitação média foi calculada pela média ponderada entre a precipitação de cada estação e o peso a ela atribuído.

Desenvolvimento do modelo para estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos

Para a estimativa da vazão mínima foi utilizada a curva de recessão do escoamento subterrâneo (equação 1), tendo sido feita, para a sua completa representação, a estimativa dos parâmetros que a definem, sendo estes a vazão subterrânea correspondente ao início do período de

recessão (Q_0) e a taxa de declínio das vazões subterrâneas ao longo do tempo, representada pelo coeficiente de recessão (α).

Tabela 2 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
01546005	Cabeceiras	15° 48' 03"	46° 55' 29"	900
01547002	Planaltina	15° 27' 12"	47° 36' 48"	1.000
01645000	São Romão	16° 22' 18"	45° 04' 58"	472
01645002	Santo Inácio	16° 16' 54"	45° 24' 51"	460
01645003	Barra do Escuro	16° 16' 07"	45° 14' 16"	437
01645009	Cachoeira da Manteiga	16° 39' 25"	45° 04' 51"	-
01645013	Fazenda Água Branca	16° 48' 26"	45° 01' 49"	-
01646000	Porto dos Poções	16° 49' 47"	46° 19' 20"	540
01646001	Unai	16° 21' 05"	46° 53' 23"	-
01646003	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	-
01647001	Ponte São Bartolomeu	16° 32' 16"	47° 48' 02"	790
01647002	Cristalina	16° 45' 23"	47° 36' 22"	1.239
01744006	Pirapora-Barreiro	17° 21' 50"	44° 56' 54"	471
01745000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	502
01745001	Cachoeira do Paredão	17° 06' 40"	45° 26' 16"	520
01745007	Porto do Cavalo	17° 01' 37"	45° 32' 26"	473
01746001	Porto da Extrema	17° 01' 51"	46° 00' 49"	510
01746002	Santa Rosa	17° 15' 19"	45° 28' 26"	490
01746006	Ponte da BR-040 (Prata)	17° 39' 49"	46° 21' 18"	-
01746007	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	-
01746008	Paracatu	17° 13' 00"	46° 52' 00"	-
01747001	Campo Alegre de Goiás	17° 30' 15"	47° 33' 20"	800
01747005	Guarda Mor	17° 46' 21"	47° 05' 55"	-
01845013	São Gonçalo do Abaeté	18° 20' 37"	45° 50' 12"	836
01846003	Major Porto	18° 42' 25"	46° 02' 13"	672
01846005	Presidente Olegário	18° 24' 45"	46° 25' 20"	-
01846016	Ponte Firme	18° 02' 02"	46° 25' 10"	-
01846017	Leal dos Patos	18° 38' 28"	46° 20' 04"	-
01847003	Abadia dos Dourados	18° 29' 28"	47° 24' 23"	784
01847040	Fazenda São Domingos	18° 06' 11"	47° 41' 41"	-

• Determinação da vazão subterrânea correspondente ao início do período de recessão

A primeira etapa realizada para a obtenção da vazão correspondente ao início do período de recessão (Q_0) foi a identificação do início da recessão do escoamento subterrâneo. Pela análise visual dos hidrogramas dos dados observados, para cada ano e para as 21 estações fluviométricas, constatou-se que os períodos mais freqüentes de início da recessão do escoamento subterrâneo foram os meses de maio e junho, tendo-se adotado os dias primeiro de maio e primeiro de junho como as datas para avaliação do modelo que está sendo proposto.

Definida a data de início da recessão do escoamento subterrâneo foram ajustados modelos de regressão linear, potencial e exponencial, para cada uma das 21 estações fluviométricas, visando a representação das Q_0 como uma função do total precipitado nos meses anteriores ao início do período de recessão. Foi avaliado o ajuste das Q_0 com os totais precipitados considerando desde um único mês anterior ao início do período de recessão até o somatório das precipitações dos 12 meses

anteriores ao início da recessão, com o que foi procedida a identificação do período que permitiu a melhor representação do comportamento das Q_0 .

Visando generalizar a representação do comportamento das Q_0 ao longo da bacia do Paracatu procedeu-se o ajuste de modelos de regressão linear, potencial e exponencial, utilizando os dados das 21 estações fluviométricas, para caracterizar as vazões específicas subterrâneas correspondentes ao início do período de recessão (q_0) como uma função dos totais precipitados nos meses anteriores ao início do período de recessão. Os totais precipitados avaliados para o ajuste das q_0 foram os mesmos avaliados para o ajuste das Q_0 de cada estação fluviométrica.

- **Determinação do coeficiente de recessão**

A primeira etapa realizada para a obtenção do coeficiente de recessão (α) foi a identificação do início e do fim do período de recessão do escoamento subterrâneo. Conforme já descrito anteriormente, as datas adotadas como de início do período de recessão do escoamento subterrâneo foram os dias primeiro de maio e primeiro de junho. Pela análise visual dos hidrogramas dos dados observados, para cada ano e para as 21 estações fluviométricas, constatou-se que os períodos mais frequentes de final da recessão do escoamento subterrâneo foram o final do mês de setembro e o início do mês de outubro, devido a ocorrência de eventos de escoamento superficial neste período, tendo-se adotado o dia 30 de setembro como a data para representar o final da recessão do escoamento subterrâneo na determinação do α .

Outra dificuldade encontrada na determinação do valor de α foi a constatação de ocorrência no período de recessão do escoamento subterrâneo de pequenos picos no hidrograma ocasionados pelo escoamento superficial produzido a partir de eventos isolados de precipitações. Embora estes picos promovam expressiva variação no hidrograma, representam pequeno efeito na taxa de declínio do escoamento subterrâneo. A fim de minimizar o efeito destes eventos no valor de α procedeu-se a individualização e quantificação dos escoamentos superficial e subterrâneo, o que foi feito utilizando o seguinte procedimento: identificou-se os pontos de início e fim do escoamento superficial, sendo o ponto de início definido visualmente como o ponto em que ocorre uma mudança brusca de inclinação das vazões no hidrograma e o ponto final como o ponto em que ocorre uma mudança da taxa de declínio das vazões; e traçou-se uma reta entre os pontos de início e fim do escoamento superficial, sendo o escoamento subterrâneo obtido dos valores das ordenadas desta reta, e o escoamento superficial obtido pela diferença entre os valores da ordenada da curva do hidrograma e o escoamento subterrâneo.

Para obtenção do valor de α ajustou-se a equação 1, para cada ano da série histórica e para as 21 estações fluviométricas, aos dados observados das vazões subterrâneas no período de recessão considerado. O α correspondente a cada estação fluviométrica foi obtido pela média dos α estimados para cada ano da série histórica da estação.

Visando analisar a viabilidade de um único valor de α a toda bacia obteve-se a média dos valores de α das 21 estações fluviométricas. Para estabelecer intervalos de valores de α associados a probabilidades de ocorrências na bacia realizou-se o seguinte procedimento: ajustou-se um modelo de distribuição normal aos valores de α de cada estação fluviométrica, sendo aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 20% de probabilidade, para verificar se a distribuição normal representa adequadamente os valores de α ; e caso a distribuição normal fosse representativa aos valores de α ajustou-se os intervalos de valores de α associados às probabilidades de ocorrência de 68% (média (\bar{X}) \pm desvio padrão (s)), de 95% ($\bar{X} \pm 2s$) e de 99% ($\bar{X} \pm 3s$) na bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimativa da vazão correspondente ao início do período de recessão

Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as equações de regressão ajustadas para caracterizar as vazões específicas do primeiro dia de maio ($q_{1 \text{ maio}}$) e do primeiro dia de junho ($q_{1 \text{ junho}}$), respectivamente, como uma função dos totais precipitados nos “n” meses anteriores a ocorrência destas vazões. Na realização do ajuste das equações que relacionam as vazões correspondentes ao primeiro dia de maio com os totais precipitados nos “n” meses anteriores à ocorrência destas vazões, duas estações fluviométricas (Fazenda o Resfriado e Fazenda Santa Cruz) não apresentaram um bom ajuste, enquanto para a estimativa das vazões correspondentes ao primeiro dia de junho quatro estações (Fazenda o Resfriado, Fazenda Santa Cruz, Veredas e Cachoeira das Almas) não apresentaram um bom ajuste. Assim sendo, para a obtenção da equação para a estimativa das vazões mínimas estas estações não foram consideradas, tendo estas estações também sido excluídas nas Figuras 1 e 2.

As equações que caracterizam a $q_{1 \text{ maio}}$ (Figura 1) tiveram o melhor ajuste quando da consideração do total precipitado de outubro a abril, período em que ocorre cerca de 93% da precipitação total anual (Tabela 3). Para as equações que caracterizam a $q_{1 \text{ junho}}$ (Figura 2) o melhor ajuste foi obtido quando da consideração do período de outubro a maio, no qual ocorre cerca de 95% da precipitação total anual. Este comportamento mostra que as vazões específicas

correspondentes ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo (q_0) independem das precipitações ocorridas durante o período mais seco (junho a setembro), pois o solo no período de estiagem encontra-se com grande déficit de umidade, o que faz com o que as precipitações ocorridas neste período sejam retidas na zona aerada do solo, não atingindo, portanto, o lençol freático. Conseqüentemente, o escoamento subterrâneo, que depende diretamente desta contribuição, não será influenciado pelas precipitações ocorridas neste período.

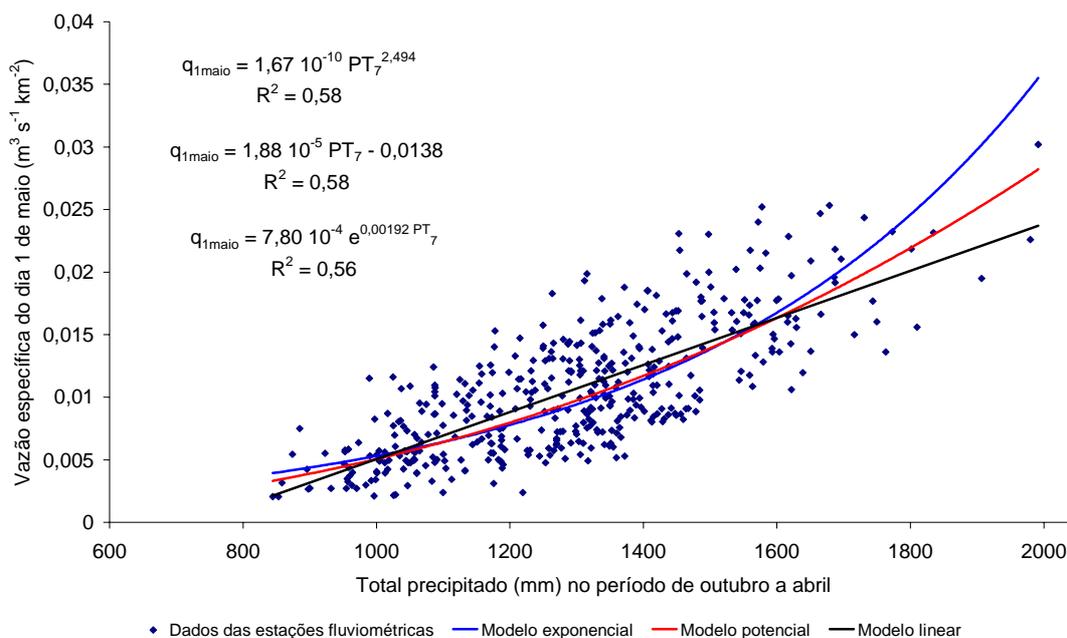


Figura 1. Vazão específica do primeiro dia de maio ($q_{1\text{ maio}}$) em função do total precipitado nos sete meses anteriores (PT_7) à ocorrência desta vazão

Analisando o processo físico da formação das vazões constata-se que quanto menor for a umidade do solo no momento da ocorrência da precipitação, tanto maior será a lâmina infiltrada e, conseqüentemente, a quantidade de água mantida na camada aerada do solo, a qual será transformada, em boa parte, em evapotranspiração. Conseqüentemente, menor será a quantidade de água que percolará em profundidade, bem como menor será a parcela da precipitação convertida em escoamento na seção de deságüe dos cursos d'água. Portanto, espera-se que no processo de formação das vazões, que estas tendam a apresentar uma maior taxa de crescimento com o aumento do total precipitado, pois o solo encontrar-se-á mais úmido, favorecendo assim tanto a percolação como o próprio escoamento superficial direto.

As equações ajustadas (linear, potencial e exponencial), tanto para a $q_{1\text{ maio}}$ quanto para a $q_{1\text{ junho}}$, não apresentaram diferenças expressivas nos valores do coeficiente de determinação (R^2), porém descrevem comportamentos físicos bastante distintos entre si. Na seqüência procede-se a análise correspondente a cada um destes modelos.

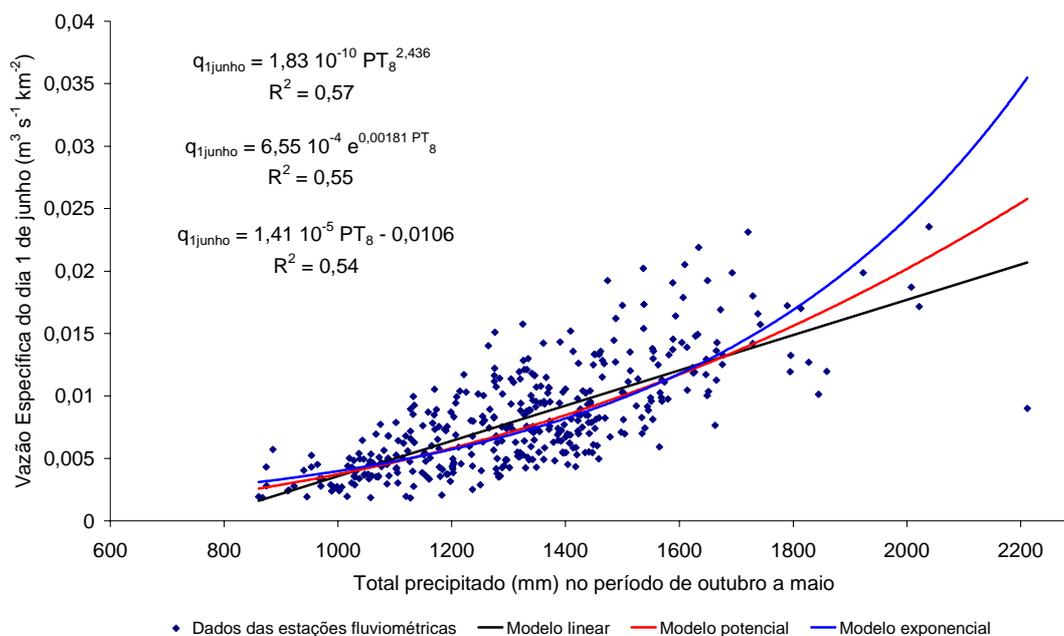


Figura 2. Vazão específica do primeiro dia de junho ($q_{1\text{ junho}}$) em função do total precipitado nos oito meses anteriores (PT_8) à ocorrência desta vazão

Tabela 3 – Porcentagens das precipitações médias mensais (PT_m) em relação às precipitações médias anuais (PT_a)

Estação	Porcentagem da PT_m em relação à PT_a											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fazenda Limoeiro	18,2	13,5	12,5	5,4	1,8	0,4	0,6	0,8	2,6	7,2	15,3	21,8
Fazenda Córrego do Ouro	18,8	13,5	12,4	5,1	2,0	0,5	0,5	0,9	2,6	7,1	15,2	21,5
Fazenda Nolasco	19,1	11,7	12,8	5,1	2,0	0,7	0,6	1,0	3,1	8,0	15,2	20,6
Barra do Escurinho	17,4	12,0	13,9	5,1	1,9	0,6	0,5	0,8	3,0	8,6	16,0	20,3
Ponte da BR-040 (Paracatu)	18,4	12,6	12,3	5,3	2,0	0,6	0,6	0,9	3,1	8,0	15,6	20,7
Santa Rosa	18,7	12,5	12,4	5,2	2,0	0,7	0,7	0,9	3,2	8,1	15,2	20,4
Fazenda Barra da Égua	18,3	11,2	14,3	6,3	1,8	0,6	0,4	0,6	2,7	7,5	15,8	20,4
Fazenda Poções	21,2	12,0	11,9	4,9	2,1	0,6	0,4	1,0	3,2	7,5	15,4	20,1
Fazenda Limeira	17,9	13,1	13,7	6,2	2,1	0,8	0,6	0,9	3,2	7,8	14,8	19,2
Unai	17,1	12,4	13,9	6,7	1,9	0,7	0,6	0,8	2,9	8,7	15,4	18,9
Santo Antônio do Boqueirão	17,1	12,3	13,9	6,8	1,9	0,7	0,6	0,8	2,9	8,7	15,4	19,0
Fazenda o Resfriado	18,2	11,1	14,5	6,4	1,8	0,5	0,7	0,8	2,3	7,2	15,6	21,1
Fazenda Santa Cruz	17,5	11,6	14,3	6,7	1,8	0,6	0,5	0,6	2,6	7,4	16,0	20,4
Porto dos Poções	17,2	12,0	13,9	6,8	1,8	0,7	0,6	0,7	2,8	8,7	15,7	19,3
Porto da Extrema	17,7	12,1	13,0	5,9	1,8	0,7	0,7	0,8	3,0	8,7	15,5	20,1
Caatinga	17,4	11,9	13,5	5,7	1,9	0,7	0,7	0,8	3,0	9,0	15,6	20,0
Veredas	18,8	12,8	12,2	5,6	2,2	0,8	0,8	1,0	3,3	7,6	14,7	20,1
Cachoeira das Almas	19,8	12,3	11,5	5,8	2,4	0,7	0,7	0,9	3,4	7,6	14,7	20,2
Cachoeira do Paredão	18,0	12,1	13,1	5,2	2,2	0,8	0,8	0,9	3,1	8,7	15,8	19,3
Porto do Cavalo	17,8	12,0	12,9	5,8	1,9	0,8	0,7	0,8	3,0	8,7	15,6	20,0
Porto Alegre	17,5	11,8	13,3	5,5	1,9	0,7	0,7	0,8	3,0	9,0	15,7	20,0
Média	18,2	12,2	13,1	5,8	2,0	0,7	0,6	0,8	2,9	8,1	15,4	20,2

O modelo linear não representa o comportamento físico esperado que é o aumento da taxa de crescimento da vazão com o aumento do total precipitado, uma vez que este modelo apresenta uma taxa de crescimento da vazão constante com o aumento do total precipitado. Este aumento na taxa de crescimento da vazão é representado pelos modelos exponencial e potencial. Evidencia-se na Figura 1 que as equações potencial e exponencial não apresentam diferenças expressivas na estimativa da $q_{1 \text{ maio}}$ até valores de precipitação de 1.575 mm. A partir deste total precipitado a equação exponencial apresenta uma taxa de crescimento da $q_{1 \text{ maio}}$ com o aumento da precipitação bem superior à da equação potencial. Também constata-se que para precipitações superiores a 1.730 mm, a $q_{1 \text{ maio}}$ estimada pela equação exponencial superestimou todas as vazões observadas na série histórica. O comportamento evidenciado para a $q_{1 \text{ maio}}$ também é constatado para a $q_{1 \text{ junho}}$ (Figura 2), sendo que neste caso, as discrepâncias entre as equações potencial e exponencial se tornaram mais evidentes a partir de totais precipitados de 1.660 mm e as superestimativas da equação exponencial em relação aos valores observados tornaram-se constantes a partir de precipitações de 1.810 mm.

Pela comparação das equações exponencial e potencial verifica-se que a equação potencial é mais conservadora que a equação exponencial, pois para precipitações de menor magnitude as diferenças entre as duas equações são muito pequenas enquanto que para maiores totais precipitados conforme já descrito, a diferença entre as equações cresce, sendo as vazões estimadas pela equação potencial inferior às obtidas com a equação exponencial.

Tendo em vista o comportamento descrito anteriormente e o fato de que as equações potenciais obtidas para cada estação fluviométrica apresentaram, em geral, melhores coeficientes de determinação (R^2), utilizou-se as equações potenciais para a estimativa da vazão correspondente ao início do período de recessão (Q_0) em função dos “n” meses anteriores a ocorrência destas vazões em cada estação fluviométrica (Tabela 4). Os valores de R^2 variaram de 0,58 a 0,83 e de 0,60 a 0,81 para as equações potenciais obtidas para cada estação fluviométrica visando a estimativa das $Q_{1 \text{ maio}}$ e $Q_{1 \text{ junho}}$, respectivamente, mostrando que tais equações representaram melhor as vazões correspondentes ao início do período de recessão quando comparadas com as equações generalizadas para a bacia (Figuras 1 e 2), cujos R^2 correspondentes às equações potenciais foram iguais a 0,58 e 0,57, para a estimativa da $q_{1 \text{ maio}}$ e da $q_{1 \text{ junho}}$, respectivamente. Tal fato já era esperado, pois a consideração de uma única equação e que utiliza, portanto, os dados de todas as estações fluviométricas para representar o comportamento das vazões correspondentes ao início do período de recessão em toda bacia ocasiona maiores erros que os obtidos com o emprego das equações individualizadas para cada área de drenagem.

Pela análise da Tabela 4 evidencia-se que a utilização de apenas uma variável na equação de regressão, no caso a precipitação total nos meses anteriores à ocorrência da Q_0 , permitiu uma

considerável explicação do comportamento da vazão no início do período de recessão. Considera-se, entretanto, que a inclusão de uma outra variável (evapotranspiração real) potencializaria uma expressiva melhora no desempenho do modelo para a estimativa da Q_0 , uma vez que a evapotranspiração real representa, conforme Rodriguez (2004), 73% do total precipitado na bacia. A limitada base de dados climáticos existentes para a bacia e a dificuldade de estimar de forma confiável a evapotranspiração real para a bacia, bem como para cada uma das 21 áreas de drenagem consideradas neste estudo, não possibilitaram a inserção desta variável na equação.

Tabela 4. Equações para a estimativa das vazões correspondentes ao primeiro dia de maio ($Q_{1 \text{ maio}}$) e ao primeiro dia de junho ($Q_{1 \text{ junho}}$) como uma função do total precipitado nos “n” meses anteriores à ocorrência desta vazão (PT_n)

Estação	Maio		Junho	
	Equação	R ²	Equação	R ²
Fazenda Limoeiro	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,23 \cdot 10^{-7} PT_7^{2,259}$	0,74	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,68 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,319}$	0,79
Fazenda Córrego do Ouro	$Q_{1 \text{ maio}} = 9,03 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,042}$	0,75	$Q_{1 \text{ junho}} = 3,09 \cdot 10^{-6} PT_9^{2,139}$	0,78
Fazenda Nolasco	$Q_{1 \text{ maio}} = 9,29 \cdot 10^{-7} PT_7^{2,060}$	0,64	$Q_{1 \text{ junho}} = 8,51 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,032}$	0,71
Barra do Escurinho	$Q_{1 \text{ maio}} = 6,27 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,106}$	0,58	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,75 \cdot 10^{-6} PT_8^{2,178}$	0,62
Ponte da BR-040 (Paracatu)	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,57 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,364}$	0,75	$Q_{1 \text{ junho}} = 6,43 \cdot 10^{-5} PT_7^{1,894}$	0,78
Santa Rosa	$Q_{1 \text{ maio}} = 4,54 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,367}$	0,76	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,05 \cdot 10^{-5} PT_8^{2,114}$	0,78
Fazenda Barra da Égua	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,72 \cdot 10^{-9} PT_7^{3,000}$	0,66	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,64 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,400}$	0,60
Fazenda Poções	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,64 \cdot 10^{-6} PT_7^{1,923}$	0,62	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,69 \cdot 10^{-5} PT_8^{1,734}$	0,60
Fazenda Limeira	$Q_{1 \text{ maio}} = 9,67 \cdot 10^{-6} PT_6^{2,203}$	0,77	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,84 \cdot 10^{-6} PT_{11}^{2,358}$	0,74
Unai	$Q_{1 \text{ maio}} = 3,04 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,352}$	0,74	$Q_{1 \text{ junho}} = 3,82 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,320}$	0,76
Santo Antônio do Boqueirão	$Q_{1 \text{ maio}} = 1,29 \cdot 10^{-5} PT_6^{2,194}$	0,78	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,33 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,763}$	0,81
Porto dos Poções	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,50 \cdot 10^{-4} PT_6^{1,821}$	0,77	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,30 \cdot 10^{-4} PT_7^{1,871}$	0,81
Porto da Extrema	$Q_{1 \text{ maio}} = 1,65 \cdot 10^{-5} PT_6^{2,342}$	0,74	$Q_{1 \text{ junho}} = 3,77 \cdot 10^{-5} PT_7^{2,178}$	0,74
Caatinga	$Q_{1 \text{ maio}} = 1,29 \cdot 10^{-5} PT_6^{2,381}$	0,73	$Q_{1 \text{ junho}} = 8,09 \cdot 10^{-6} PT_8^{2,365}$	0,70
Veredas	$Q_{1 \text{ maio}} = 8,08 \cdot 10^{-5} PT_7^{1,451}$	0,73	*	
Cachoeira das Almas	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,22 \cdot 10^{-10} PT_6^{3,534}$	0,78	*	
Cachoeira do Paredão	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,79 \cdot 10^{-9} PT_{10}^{3,129}$	0,70	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,27 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,670}$	0,65
Porto do Cavalão	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,67 \cdot 10^{-5} PT_5^{2,304}$	0,70	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,32 \cdot 10^{-3} PT_5^{1,794}$	0,66
Porto Alegre	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,18 \cdot 10^{-7} PT_6^{2,955}$	0,83	$Q_{1 \text{ junho}} = 8,90 \cdot 10^{-7} PT_7^{2,709}$	0,80

* Não foi possível realizar o ajuste da equação

Pela análise das equações correspondentes a cada uma das estações fluviométricas analisadas observa-se que a variável mais representativa para a estimativa da $Q_{1 \text{ maio}}$ foi o total precipitado nos sete meses anteriores (outubro a abril) à ocorrência desta vazão, sendo que, dos 19 modelos ajustados, 10 consideraram esta variável. Já para a estimativa da $Q_{1 \text{ junho}}$ a variável mais representativa foi o total precipitado nos oito meses anteriores (outubro a maio), sendo que, dos 17 modelos ajustados, nove consideraram esta variável o que está em concordância com o que já havia sido evidenciado para a estimativa da $q_{1 \text{ maio}}$ (Figura 1) e da $q_{1 \text{ junho}}$ (Figura 2).

Estimativa do coeficiente de recessão

Na Tabela 5 são apresentados, para as 21 estações fluviométricas estudadas, os coeficientes de recessão (α) ajustados considerando os períodos de recessão de maio a setembro e de junho a setembro, assim como o erro relativo (ER) do α de cada estação em relação ao α médio das 21 estações fluviométricas, verificando-se que o α variou de 0,0035 a 0,0076 dia⁻¹ e de 0,0029 a 0,0072 dia⁻¹ para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro, respectivamente. Tal variação foi semelhante à evidenciada em estudo realizado na bacia do Paracatu (Brasil, 1996), no qual foram constatadas variações no valor de α de 0,0048 a 0,0080 dia⁻¹, considerando os dados advindos de 17 estações fluviométricas no período de 1939 a 1989.

Tabela 5. Coeficientes de recessão (α) ajustados considerando os períodos de recessão de maio a setembro e de junho a setembro

Estação	Período de recessão de maio a setembro		Período de recessão de junho a setembro	
	α (dia ⁻¹)	ER (%)	α (dia ⁻¹)	ER (%)
Fazenda Limoeiro	0,0061	1,5	0,0058	0,6
Fazenda Córrego do Ouro	0,0070	12,2	0,0067	14,5
Fazenda Nolasco	0,0062	0,9	0,0059	3,1
Barra do Escurinho	0,0075	17,4	0,0072	20,4
Ponte da BR-040 (Paracatu)	0,0069	10,6	0,0064	10,6
Santa Rosa	0,0062	0,4	0,0057	1,4
Fazenda Barra da Égua	0,0076	18,9	0,0066	12,2
Fazenda Poções	0,0062	0,4	0,0056	2,0
Fazenda Limeira	0,0063	1,3	0,0063	8,6
Unai	0,0065	5,0	0,0065	11,5
Santo Antônio do Boqueirão	0,0062	0,3	0,0060	4,5
Fazenda o Resfriado	0,0051	20,3	0,0046	25,5
Fazenda Santa Cruz	0,0035	75,5	0,0029	102,0
Porto dos Poções	0,0062	0,4	0,0057	1,3
Porto da Extrema	0,0062	0,9	0,0057	1,8
Caatinga	0,0064	3,8	0,0059	2,5
Veredas	0,0035	78,1	0,0032	80,0
Cachoeira das Almas	0,0071	12,9	0,0065	11,8
Cachoeira do Paredão	0,0069	9,9	0,0064	9,5
Porto do Cavalo	0,0063	2,5	0,0059	2,4
Porto Alegre	0,0059	5,2	0,0054	7,3
Média	0,0062	13,3	0,0058	15,9

Para todas as estações os valores de α estimados considerando o período de maio a setembro foram maiores que os estimados considerando o período de junho a setembro, sendo este comportamento já esperado e decorrente do fato das vazões subterrâneas no mês de maio serem maiores que as vazões subterrâneas no mês de junho, acarretando assim uma maior taxa de declínio das vazões.

As médias dos valores de α das 21 estações fluviométricas foram de 0,0062 e de 0,0058 dia⁻¹, para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro, respectivamente, sendo o erro médio relativo dos valores de α de cada estação em relação ao α médio das 21 estações fluviométricas de 13,3 e 15,9% para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro, respectivamente.

Para duas estações fluviométricas, Fazenda Santa Cruz e Veredas, evidenciou-se um maior desvio nos valores de α , sendo os erros relativo do α para estas duas estações iguais a 75,5 e 78,1% para o período de maio a setembro, e de 102,0 e 80,0% para o período de junho a setembro. Os maiores desvios obtidos para o α nestas duas estações fluviométricas podem ser justificados pelo fato delas estarem situadas em regiões de cabeceira (pequenas áreas de drenagem), onde as condições topográficas, climáticas e de uso do solo tendem a apresentar maiores discrepâncias em relação às condições médias da bacia.

Excluindo as estações Fazenda Santa Cruz e Veredas da análise os erros médios relativos passam a ser de 6,6 e 8,0% para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro, respectivamente, os quais mostram uma pequena variação dos valores de α na bacia, caracterizando uma boa uniformidade das condições geológicas e climáticas.

Ao ajustar o modelo probabilístico normal aos valores de α evidenciou-se, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (nível de significância de 20%), que não ocorreu ajuste adequado aos dados. Ao desconsiderar, entretanto, as estações Fazenda Santa Cruz e Veredas que apresentaram valores de α bastante distorcidos em relação ao α médio das 21 estações fluviométricas, conforme já mencionado, constatou-se que a distribuição normal foi significativa ao nível de 20% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Assim, desconsiderando os valores de α correspondentes às estações Fazenda Santa Cruz e Veredas, procedeu-se o ajuste dos intervalos dos valores de α associados às probabilidades de ocorrência de 68%, 95% e 99%, considerando o período de recessão de maio a setembro e de junho a setembro (Tabela 6) e evidenciou-se que para o período de recessão de maio a setembro apenas uma estação (Fazenda o Resfriado) apresentou um valor de α estimado fora do intervalo associado à probabilidade de 68%, enquanto que para o período de recessão de junho a setembro duas estações (Fazenda o Resfriado e Porto Alegre) apresentaram valores de α estimados fora do intervalo associado à probabilidade de 68%. Para os intervalos associados às probabilidades de 95% e 99% todas as estações apresentaram os valores de α estimados, tanto considerando o período de maio a setembro como de junho a setembro, dentro destes intervalos.

Tabela 6 – Intervalos dos valores de α associados às probabilidades de ocorrência de 68%, 95% e 99% considerando os períodos de recessão de maio a setembro e de junho a setembro

Probabilidade de ocorrência	α (dia ⁻¹)			
	Maio a setembro		Junho a setembro	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
68%	0,0059	0,0071	0,0055	0,0066
95%	0,0053	0,0076	0,0049	0,0072
99%	0,0047	0,0082	0,0043	0,0078

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de recessão da estação Porto Alegre no período de maio a setembro utilizando diferentes valores de α e adotando uma vazão inicial (Q_0) igual a $356 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, que é a vazão de longa duração do primeiro dia de maio na estação Porto Alegre. As curvas de recessão foram traçadas variando apenas o α , sendo considerado o α médio das 19 estações fluviométricas e os valores de α correspondentes ao limite superior e inferior de cada intervalo associado aos níveis de probabilidade de ocorrência estudados.

A vazão obtida (Figura 3) em 30 de setembro considerando a curva de recessão correspondente ao α médio das 19 estações fluviométricas foi de $132,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, enquanto que as vazões obtidas para esta mesma data quando da adoção dos valores de α iguais aos limites superior e inferior do intervalo associado ao nível de probabilidade de ocorrência de 68% foram de 120,6 e $145,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente, acarretando erros em relação à vazão obtida com o α médio das 19 estações fluviométricas de 9,6 e 8,8%, respectivamente. Já para o intervalo associado ao nível de probabilidade de 95% a vazão obtida para o dia 30 de setembro utilizando o valor correspondente ao limite superior de α foi de $110,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (erro relativo de 20,1%) e a vazão obtida utilizando o limite inferior foi de $158,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (erro relativo de 16,8%). Para o intervalo associado ao nível de probabilidade de 99% a vazão obtida utilizando o valor correspondente ao limite superior de α foi de $102,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (erro relativo de 29,6%) e quando utilizado o limite inferior do intervalo correspondente a α foi de $174,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (erro relativo de 24,1%).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

- a precipitação total ocorrida nos “n” meses anteriores à ocorrência da vazão correspondente ao início do período de recessão (Q_0), permitiu uma boa estimativa desta vazão;
- as vazões correspondentes ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo (Q_0) independem das precipitações ocorridas durante o período mais seco (junho a setembro); e

- os maiores desvios obtidos para o coeficiente de recessão (α) ocorreram nas estações fluviométricas situadas em regiões de cabeceira (pequenas áreas de drenagem), onde as condições topográficas, climáticas e de uso do solo tendem a apresentar maiores discrepâncias em relação às condições médias da bacia.

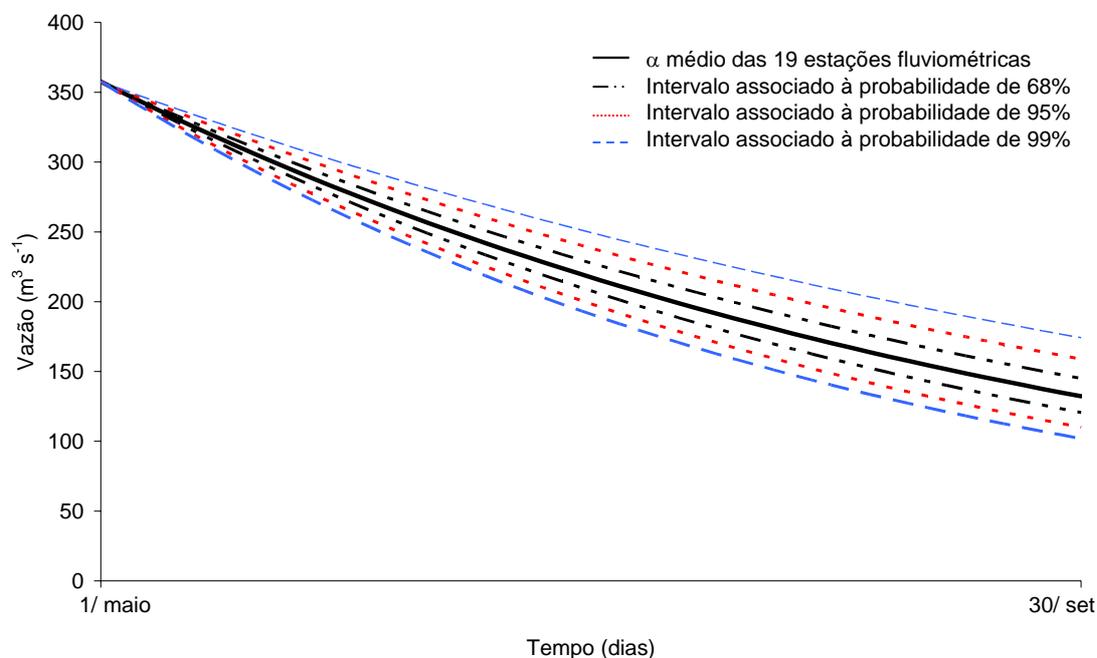


Figura 3. Curvas de recessão da estação Porto Alegre no período de maio a setembro, considerado o α médio das 19 estações fluviométricas e os valores de α correspondentes ao limite superior e inferior de cada intervalo associado aos níveis de probabilidade de ocorrência estudados.

LITERATURA CITADA

Brasil – Ministério de Minas e Energia. SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Inventário hidrogeológico básico do Nordeste**. Série: BRASIL. SUDENE. HIDROGEOLOGIA. Número 62. Recife, 1988. 369 p.

Brasil – Governo Federal. Minas Gerais - Governo do Estado. Distrito Federal. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu – PLANPAR**. S.l.: 1996. v. 1. T. 1. CD-ROM.

Canedo, P. M. Hidrologia Superficial. In: **Engenharia Hidrológica**, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1 ed., Capítulo 4, Rio de Janeiro, Editora da UFRJ. 1989.

Collischonn, W & Tucci, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, n. 1, 2001. p. 95-118.

Ferreira, P. A. & Euclides, H. P. **Recursos hídricos e tecnologia necessária aos projetos hidroagrícolas: bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1997. 200 p.

Lima, G., Peixoto, L. S. Mauad, F. F. **A aplicação do modelo de simulação MIKE BASIN 2000 no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos**. In: Anais do 22nd Berian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering. Campinas, 2001. CD-Rom.

Machado, R. E., Vettorazzi, C. A., Cruciani, D. E. Simulação do escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 1, 2003. p. 147-155.

Moraes, J. M. et al. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 1, 2003. p. 61-70.

Rodriguez, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Schuler, A. E. **Aplicação do TOPMODEL em uma bacia de mesoescala localizada na cabeceira do rio Corumbataí**. 1998. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia de São Carlos).

Silveira, A. L. L. & Silveira, G. L. Vazões mínimas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 125-164.

Tallaksen, L. M. A review of baseflow recession analysis. In: **Journal of hydrology**, n. 165: p. 349 – 370, 1995.

Tucci, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. p. 669.

Tucci, C. E. M. Vazões médias. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 125-164.

Tucci, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS, 2002. 256 p.