

Balanço Hídrico à Superfície da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa

Josiclêda Domiciano Galvêncio

Departamento de Ciências Geográficas - DCG/CFCH/UFPE.
josicleda@bol.com.br

Francisco de Assis Salviano de Sousa, Vajapeyan Srirangachar Srinivasan

Departamento de Ciências Atmosféricas -DCA /CCT/UFEG.
fassis@dca.ufeg.edu.br, srinivas@dca.ufeg.edu.br

Recebido: 11/08/05 revisado: 25/10/05 aceito: 25/04/06

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar o impacto das ações antropogênicas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, por meio do estabelecimento do balanço hídrico. A contribuição do fluxo para o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) vem, principalmente, das sub-bacias do Alto Paraíba e do Taperoá. Para estimar ou gerar os valores de escoamento superficial do rio Paraíba, em Caraiúbas e do rio Taperoá, em Poço de Pedras, foi desenvolvido um modelo baseado na identificação e quantificação dos principais processos hidrológicos. Aqui, as componentes do balanço hídrico foram estimadas em escala diária. Inicialmente, a variação da precipitação é tratada no modelo, visto que é um dos fatores climáticos mais importantes para o escoamento superficial. Os resultados são apresentados em termos de distribuição mensal do escoamento superficial. De acordo com os resultados, observou-se que o escoamento superficial da bacia em estudo foi alterado ao longo dos anos, tendo havido retardo e diminuição do mesmo. Essa modificação ocorreu devido a ações não planejadas do homem, como, por exemplo, construções desordenadas de açudes à montante de Boqueirão. Foi observado que não houve modificação no padrão da precipitação ao longo do tempo e por isso sugere-se que as mudanças ocorridas nos escoamentos são devidas a alterações de uso do solo. A metodologia utilizada permitiu representar a variação hidrológica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa e proporcionar melhor manejo dos recursos hídricos da bacia. Essa metodologia poderá servir como modelo de previsão e apresentar as possíveis mudanças de comportamento da bacia.

Palavras-chave: balanço hídrico, escoamento superficial, açude Epitácio Pessoa.

INTRODUÇÃO

Em muitas regiões a disponibilidade de recursos hídricos é adequada, porém mal distribuída geográfica e temporalmente, os volumes de água armazenados são freqüentemente sobre utilizados, quando deveriam propiciar vazões regularizadas visando o atendimento de demanda bem definidos e permitindo um equilíbrio entre a disponibilidade natural e a necessidade hídrica. Este tipo de situação configura uma utilização racional e garante um desenvolvimento auto-sustentado em nível de bacia hidrográfica. No entanto, numa ocupação territorial não planejada, ou provocada por uma expansão demográfica não controlada, a relação de equilíbrio

disponibilidade x demanda pode ser rompida gerando conflitos entre usos ou usuários. A exploração demasiada de aquíferos subterrâneos e o desmatamento ou desflorestamento desordenado, ou a construção não planejada de açudes, que retêm e armazenam o resultante da precipitação pluviométrica, podem afetar profundamente o ciclo hidrográfico. A água ainda restante pode estar contaminada por esgotos ou resíduos industriais, expondo a saúde da população que dela se serve. Este é o retrato atual com que se deparam diversas cidades em inúmeros países e poderá tornar-se crítico em escala global.

Apesar da abundância, a distribuição espacial e temporal da água sobre a Terra é bastante irregular causando problemas de excesso de água em alguns lugares e escassez em outros. Aos problemas

que ocorriam devido à aleatoriedade dos eventos hidrológicos vieram se somar os causados pela intervenção humana sobre o meio ambiente, que, em diversos lugares, alcançou um nível crítico, afetando o clima e as condições de vida em escala global. Os estudos hidrológicos são utilizados para avaliar o efeito destas ações antrópicas sobre os recursos hídricos, realizar previsões sobre o que pode ocorrer no futuro, e que medidas podem ser adotadas para evitar ou reduzir as conseqüências negativas para o bem estar da humanidade, (Grupo de Recursos Hídricos-UFBa, 2004).

Com o crescimento da população mundial, as alterações ao meio ambiente se tornaram mais importantes, causando maiores mudanças às características do escoamento nas bacias hidrográficas. A derrubada da vegetação natural para o desenvolvimento da agricultura aumenta a superfície de solo exposto, com óbvia diminuição da proteção natural da vegetação. Esta perda de proteção diminui o potencial de infiltração do solo, aumenta o escoamento superficial e resulta em grandes perdas de solo. Nos últimos dois séculos, o crescimento das cidades tem modificado drasticamente a paisagem nos arredores destes centros urbanos. A urbanização tem interferido significativamente nos processos envolvidos no ciclo hidrológico, (Tucci 2002).

Um dos maiores problemas das regiões semi-áridas do mundo é a irregularidade das chuvas conjuntamente com a ocorrência de elevadas temperaturas, ocasionando grandes taxas de deficiências hídricas (Hargreaves, 1974). O regime térmico contrasta com o regime pluviométrico. O principal período da estação chuvosa do semi-árido do Nordeste brasileiro ocorre de fevereiro a maio e é influenciado pelos oceanos tropicais e por fatores de circulação atmosférica de escala global e regional. Para uma avaliação das disponibilidades de água em regiões semi-áridas, onde o problema do déficit hídrico provoca grandes impactos sociais é importante se efetuar a contabilidade de água computando-se, sistematicamente, todos os ganhos e perdas (Thornthwaite & Mather, 1955). São considerados ganhos as contribuições devido à precipitação pluviométrica e, as perdas, as abstrações devido a evapotranspiração.

Nesse sentido, vários estudos foram desenvolvidos, dentre eles podem-se citar os de: (Robinson et al., 1991; Themag, 1994 a e 1994b; Galdino et al, 1997 e Collischonn et al. 2001).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é analisar o impacto das ações antropogênicas no escoamento superficial da bacia hidrográfica do açude

Epitácio Pessoa, através do estabelecimento do balanço hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

Região em estudo

A bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, mais conhecido como Açude Boqueirão, encontra-se geograficamente localizada no centro de uma região, cercada por uma cordilheira fragmentada. A contribuição do fluxo para Boqueirão vem principalmente, das sub-bacias do Alto Paraíba e do Tapeiroá. Os cursos de águas naturais que cortam a região em estudo e que beneficiam de alguma forma o solo e a produção agropecuária da região são os seguintes: Rio Paraíba, Riacho do Marinho Velho, Riacho da Perna, Riacho dos Canudos, Riacho da Ramada, Riacho da Relva e Riacho do Feijão. Segundo o Plano Diretor do Estado da Paraíba, o açude Epitácio Pessoa tem capacidade para 450. 424.550 de metros cúbicos de água. A Figura 1 apresenta a localização espacial da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa.

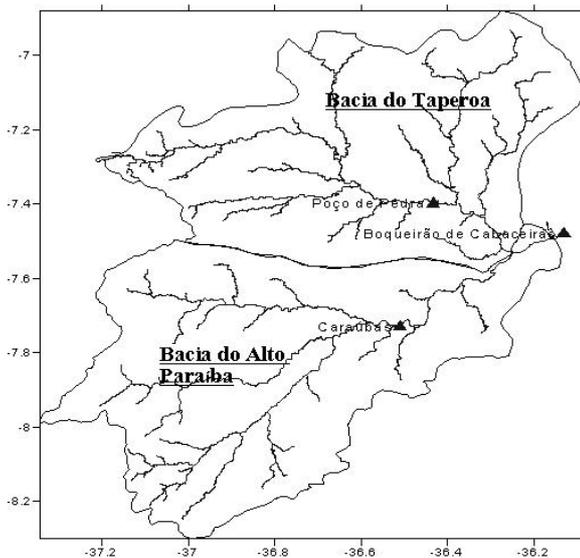


Figura 1 - Localização (área em destaque) espacial da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

A Tabela 1 apresenta os postos fluviométricos, áreas de contribuição, períodos, utilizados neste estudo.

Tabela 1 – Postos fluviométricos utilizados

Seç. Trans.	Posto fluviométrico	Área de contribuição	Períodos com dados
Rio Paraíba	Caraúbas	5.090 km ²	1973 a 1990
Rio Taperoá	Poço de Pedras	3.144 km ²	1973 a 1990
Rio Paraíba/ Rio Taperoá	Boqueirão de Cabaceiras	12.400 km ²	1932 a 1952

Sub-bacia do Alto Paraíba

Situada na parte sudoeste do Planalto da Borborema, a região do Alto Paraíba localiza-se entre as latitudes 7,347° e 8,303° sul e entre as longitudes 36,128° e 37,356° Oeste de Greenwich. Limita-se ao sul e a oeste com o Estado de Pernambuco, e ao norte com a bacia do rio Taperoá, (PDRH-PB, 2000).

Nela estão inseridos, totais ou parcialmente, os municípios de Amparo, Barra de São Miguel, Boqueirão, Cabaceiras, Camalaú, Caraúbas, Congo, Coxixola, Monteiro, Ouro Velho, Prata, São Domingos do Cariri, São João do Cariri, São João do Tigre, São Sebastião do Umbuzeiro, Serra Branca, Sumé e Zabelê, (Medeiros, 2003)

Drena uma área de 6.717,39 km² através dos rios contribuintes Monteiros e Umbuzeiro e do rio Paraíba, que é o principal; este por sua vez deságua no Oceano Atlântico, no município portuário de Cabedelo.

Sub-bacia do rio Taperoá

A esta sub-bacia se situa na parte central do Estado da Paraíba, conformando-se sob as latitudes 6,863° e 7,576° sul e entre as longitudes 36,167° e 37,023° oeste. Limita-se com as sub-bacias do rio Espinharas e do rio Seridó a oeste, com a região do Alto Paraíba ao sul, com as bacias do Jacu e Curimatá ao norte e com a região do Médio Paraíba a leste, (PDRH-PB, 2000).

No interior da sub-bacia, distribuem-se completa e parcialmente os municípios: Assunção, Barra de Santa Rosa, Boa Vista, Cabaceiras, Cacimbas, Desterro, Gurjão, Juazeirinho, Junco do Seridó, Livramento, Olivados, Parari, Pocinhos, Salgadinho, Santo André, Serra Branca, São João do Cariri, São José dos Cordeiros, Seridó, Soledade, Taperoá, Teixeira e Tenório.

Seu principal rio é o Taperoá, de regime intermitente que nasce na Serra do Teixeira e de-

semboca no rio Paraíba, no açude de Boqueirão (açude Epitácio Pessoa). Drena uma área aproximada de 5.668,25 km². Recebe contribuições de cursos d'água como os rios São José dos Cordeiros, Floriano, Soledade e Boa Vista e dos rios riachos Carneiro, Mucum e da Serra.

Tipos de solo

A região da bacia em estudo é formada por rochas do período pré-cambriano. O tipo de solo predominante na região das sub-bacias do Taperoá e do Alto Paraíba é do tipo Bruno não-Cálcico de pouca espessura, que cobre todo cristalino existente na área de abrangência, com a presença de Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos. Sob o ponto de vista taxionômico, a bacia apresenta uma associação de solos Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos e afloramentos. Os solos Litólicos predominam com relação aos outros, tornando a bacia quase que impermeável.

O regime da chuva

Em muitas cidades da Europa, como por exemplo, Berlim e Paris, chovem por ano, em média 520 e 660 mm, respectivamente. Essa mesma quantidade precipita no semi-árido do Nordeste do Brasil, ou até menos, e ninguém fala de secas catastróficas nessas duas cidades. Dentre outros motivos, as diferenças são no processo evaporativo, que aqui é muito alto e na irregularidade temporal e espacial da precipitação. É esse processo que determina a quantidade de água que realmente estará à disposição das pessoas, dos animais e das plantas.

O semi-árido está situado próximo ao equador, com altas temperaturas durante o ano todo, ventos fortes e baixa umidade do ar. Tudo isto contribui para alta evaporação potencial. Caso as barragens e aguadas não sejam suficientemente profundas, certamente estarão vazias em poucos meses após o fim das chuvas. A porção de água da chuva que infiltra na terra e é absorvida pelos grumos do solo é, em parte, protegida da evaporação. Após semanas e até meses depois de uma chuva forte, as raízes das plantas podem obter a umidade necessária, lá embaixo da terra.

Hidrografia

A bacia de Boqueirão pertence à grande bacia do rio Paraíba, um dos mais importantes do Estado. No que tange a hidrografia é pobre em seus amplos aspectos, de maneira que as condições hídr-

cas são insuficientes para suprir o escoamento dos rios nos longos períodos de ausência de precipitação. Os rios e lagos do semi-árido são irregulares, de características intermitentes, onde a água superficial desaparece durante o período de estiagem. A paisagem dos rios e lagos temporários onde a presença da água superficial é mais constante apresenta um período de seca estacional bem marcada.

Aspectos sócio-econômicos

Alguns aspectos gerais e de importância, que caracterizam a bacia são: a baixa produtividade de culturas, reduzidas opções de cultivos; baixa tecnologia utilizada em sementes, ausência de conservação do solo e de controle fitossanitário, baixo aproveitamento dos recursos naturais, limitada e irregular disponibilidade dos recursos hídricos e reduzida área de preservação natural, o que implica na perda da biodiversidade. Esses aspectos são de fundamental importância para assegurar a sobrevivência de famílias camponesas, num ambiente sujeito à seca. O semi-árido brasileiro, onde predomina a pecuária hiper-extensiva, o grande proprietário acumula reservas, quando as condições climáticas são favoráveis e, em caso contrário, transfere o rebanho para áreas mais amenas. Já os pequenos produtores praticam uma agricultura de subsistência que, no semi-árido paraibano, está representada por milho, mandioca, feijão e arroz. Essas culturas representam a principal fonte de renda e de alimentação para a comunidade rural.

Modelo de balanço hídrico

Para estimar ou gerar os valores de escoamento superficial na bacia do rio Paraíba, em Caraúbas, foi desenvolvido um modelo baseado na identificação e quantificação dos principais processos hidrológicos. O esquema do modelo utilizado aqui é semelhante ao proposto por Jothityangkoon et al. (2001). Aqui, as componentes do balanço hídrico foram estimadas em escala diária. Escolheram-se as seções de Caraúbas e Poço de Pedras devido à disponibilidade de séries históricas recentes de vazões. Além disso, suas áreas de drenagem cobrem grande parte das áreas das sub-bacias do Alto Paraíba e Taperoá.

O modelo que foi desenvolvido tem por objetivo estabelecer o balanço hídrico e a estimativa do escoamento superficial, considerando os processos de precipitação e evaporação potencial, levando em conta as influências das variações da profundi-

dade do solo, as características fisiográficas e a cobertura vegetal.

Metodologias utilizadas no desenvolvimento do modelo de balanço hídrico para as sub-bacias de Caraúbas e Poço de Pedras

O escoamento superficial sofre influência de diversos fatores que facilitam ou prejudicam a sua ocorrência. Esses fatores podem ser de natureza climática, relacionados à precipitação e evaporação, ou de natureza fisiográfica ligadas às características físicas da bacia. Aqui, se pretende desenvolver um modelo baseado no princípio de conservação de massa. Inicialmente, a variação da precipitação é tratada no modelo, visto que é um dos fatores climáticos mais importantes para o escoamento superficial. Em seguida, o escoamento foi separado em duas partes fundamentais: escoamento superficial e sub-superficial. Já a evapotranspiração foi dividida em evaporação à superfície e em transpiração da planta. Esses processos físicos estão representados na Figura 2.

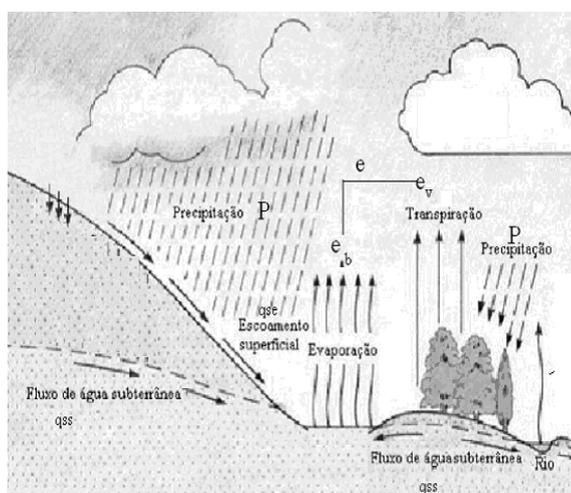


Figura 2 – Processos físicos utilizados no balanço hídrico

O modelo aqui desenvolvido permite a variabilidade de precipitação e evaporação potencial entre os dias e segue a mesma metodologia adotada por Manabe (1969), Milly (1994) e Jothityangkoon et al. (2001). Inicialmente o modelo conceitualiza a resposta da bacia em termos de um único reservatório subterrâneo, com capacidade de armazenamento de água no solo finita. Considera-se como perda a interceptação na cobertura vegetal, a evaporação e a

transpiração extraída pelo sistema radicular da vegetação do reservatório subterrâneo. Considera-se que o escoamento superficial é gerado quando o armazenamento de água no reservatório subterrâneo excede sua capacidade.

Na primeira simulação é necessário especificar uma condição inicial da umidade do solo. Após várias iterações é assumido que o valor final do armazenamento de água no solo é igual ao valor inicial. Isso é feito devido o valor de umidade do solo inicial ou o volume de armazenamento de água no subsolo afetar os outros termos do balanço hídrico.

Equação do balanço hídrico

A fim de estimar o escoamento superficial através do balanço hídrico diário é proposta a equação, dada por:

$$\frac{ds(t)}{dt} = p(t) - q_{ss}(t) - q_{se}(t) - e_b(t) - e_v(t) \quad (01)$$

em que q_{ss} é o escoamento subsuperficial, $e_b(t)$ é a taxa de evaporação no solo sem vegetação e $e_v(t)$ é a taxa de transpiração das plantas. O escoamento subsuperficial, na equação (01) é descrita em função do armazenamento de água no solo (s), como dado abaixo.

$$q_{ss} = \frac{s - S_f}{t_c} \quad se \quad s > S_f \quad (02a)$$

$$q_{ss} = 0 \quad se \quad s < S_f \quad (02b)$$

em que S_f é o armazenamento de água no solo, considerando uma dada capacidade de campo. Assume-se que $S_f = f_c D$. Em que f_c é a capacidade de campo predominante na bacia e D é a profundidade média do solo. A razão para o uso da capacidade de campo é que, freqüentemente, quando o conteúdo de umidade é menor do que a capacidade de campo, a força de capilaridade é maior do que a de gravidade, conseqüentemente a drenagem é retardada. O tempo de resposta do escoamento subsuperficial t_c é estimado com base na lei de Darcy, para representar de forma triangular, o aquífero subterrâneo numa superfície inclinada. Na estimativa de t_c assume-se que o gradiente hidráulico aproxi-

ma-se do ângulo da superfície do solo. Como dado na equação abaixo:

$$t_c = \frac{L\phi}{2K_s \tan \beta} \quad (03)$$

em que L é o comprimento médio do escoamento lateral, $\tan \beta$ é a declividade média da superfície, ϕ é a porosidade e K_s é a condutividade hidráulica média saturada.

A estimativa da evaporação no solo sem vegetação é dada por:

$$e_b = \frac{S}{t_e} \quad (04a)$$

$$t_e = \frac{S_b}{(1 - M)e_p} \quad (04b)$$

em que t_e é uma escala temporal associada à evaporação do solo sem vegetação e dada pela equação (04b), e_p é a evaporação potencial e M é a fração da cobertura vegetal da bacia, que varia de zero a um.

A estimativa da transpiração das plantas é dada pelas equações abaixo:

$$e_v = Mk_v e_p \quad se \quad s > S_f \quad (05a)$$

$$e_v = \frac{S}{t_g} \quad se \quad s < S_f \quad (05b)$$

$$t_g = \frac{S_f}{Mk_v e_p} \quad (06)$$

em que t_g é uma escala temporal associada à transpiração e k_v é a eficiência de transpiração das plantas, segundo Eagleson (1978), k_v geralmente é igual a um.

O parâmetro M é usado para dividir a evaporação total em evaporação no solo sem vegetação e em transpiração das plantas. A evaporação no solo sem vegetação é uma proporção de e_p , que depende da relação de s e S_b . Quando s é maior do que

S_f , a transpiração é máxima e equivalente a e_p . Quando s é menor que S_f , a transpiração é dada por uma fração de e_p .

Parâmetros do modelo

Os parâmetros para a escala mensal são classificados nas seguintes categorias: topográficos como D, ϕ, f_c, L, K_s e de vegetação como M, k_v . Os resultados serão apresentados graficamente em função da curva de duração da razão de escoamento.

Critério de avaliação das estimativas do modelo

O critério consistiu em obter o quanto o modelo explica a variabilidade da vazão observada, através do coeficiente de determinação. O coeficiente de determinação é dado pelo o quadrado do coeficiente de correlação e estima a proporção de variação em comum entre duas variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição mensal do escoamento superficial para Boqueirão

A Figura 3 mostra a distribuição mensal do escoamento superficial, médio ponderado, observado e estimado pelo modelo, em escala diária, para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. A ponderação foi baseada nas áreas das sub-bacias do Alto Paraíba a montante de Caraúbas e do Taperoá a montante de Poço de Pedras. Essa ponderação foi feita devido à falta de dados de vazões observadas nas saídas das sub-bacias do Alto Paraíba e do Taperoá. Esse procedimento é semelhante ao utilizado por Ward (1993) quando realizou o balanço hídrico para o estado do Texas – USA. Pode ser visto na figura que os valores estimados pelo modelo correspondem bem aos valores observados. O valor do coeficiente de Nash, obtido foi igual 0,97 e o coeficiente de determinação foi de 97%.

A fim de comparar os valores do escoamento superficial estimado e observado em Boqueirão de Cabaceiras, foram utilizadas duas séries de precipitação, a primeira no período de 1932 a 1952 e a segunda de 1973 a 1990. Na aplicação do modelo à

bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, composta pelas sub-bacias, Alto Paraíba e do Taperoá, adicionou-se postos pluviométricos a fim de melhor representar espacialmente as precipitações das duas últimas sub-bacias.

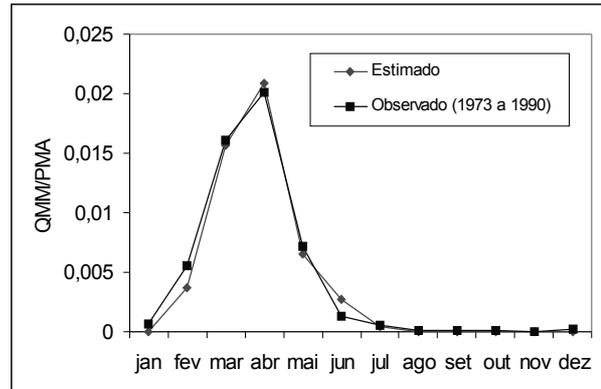


Figura 3 – Escoamento superficial mensal, médio ponderado, observado e estimado pelo modelo, em escala diária, para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

A Figura 4 mostra a distribuição mensal do escoamento superficial observado em Boqueirão de Cabaceiras, no período de 1932 a 1952 e o escoamento superficial (médio ponderado) estimado para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa pelo modelo, em escala diária. Nota-se que os valores estimados não correspondem aos observados. Neste caso o coeficiente de Nash foi igual a 0,81 e o coeficiente de determinação foi de 87%.

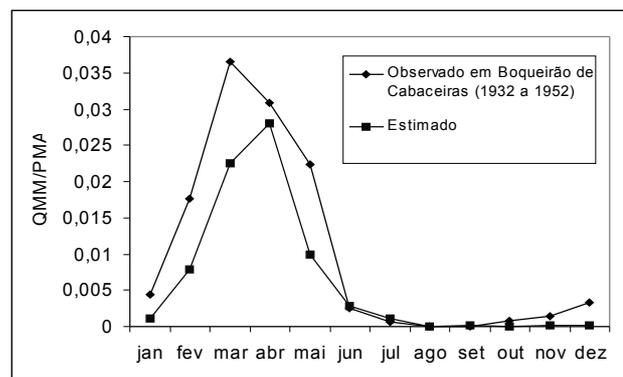


Figura 4 – Escoamento superficial mensal observado em Boqueirão de Cabaceiras no período de 1932 a 1952 e estimado pelo modelo, em escala diária, para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

Com intuito de investigar as causas apresentadas no resultado acima, da variabilidade do escoamento superficial ao longo do tempo, efetuou-se análise comparativa das séries de vazões observadas em Boqueirão de Cabaceiras, Poço de Pedras e Caraúbas.

A Figura 5 mostra as vazões médias observadas nas seções transversais de Boqueirão de Cabaceiras em 20 anos, Poço de Pedras e Caraúbas. Primeiro pode ser notado que há diferenças nas lâminas escoadas entre Caraúbas e Poço de Pedras. Essa diferença pode ser devido à inclinação das duas sub-bacias, como também aos índices pluviométricos que são bastante diferentes entre as duas sub-bacias.

Nota-se ainda que há retardo e amortecimento no escoamento superficial de Caraúbas e Poço de Pedras quando comparado com Boqueirão de Cabaceiras. Inicialmente, aventou-se a possibilidade de que a causa do retardo e amortecimento estaria relacionado aos diferentes períodos das séries de vazão, já que o período da série de Boqueirão de Cabaceiras é de 1932 a 1952, e o de Poço de Pedras e Caraúbas é de 1973 a 1990.

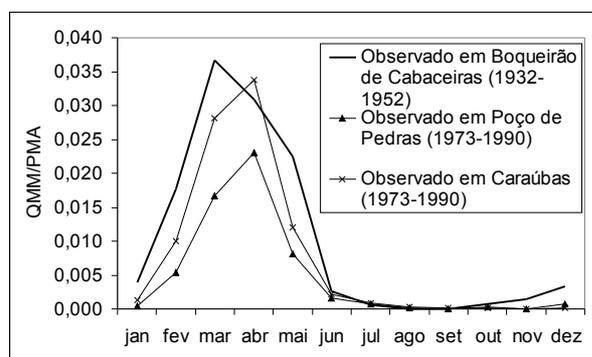


Figura 5 – Comparação das vazões médias observadas em Boqueirão de Cabaceiras em 20 anos, Poço de Pedras e Caraúbas

Quando os valores estimados pelo modelo são comparados com valores observados no período de 1942 a 1952, nota-se que nos primeiros três meses o modelo corresponde muito bem. Porém, para o restante do período chuvoso o modelo não acompanha a variabilidade do escoamento superficial, como mostra a Figura 6.

As Figuras 7 e 8 mostram as vazões médias mensais observadas nas seções transversais de Boqueirão de Cabaceiras, em 15 e 10 anos, respectivamente, Poço de Pedras e Caraúbas, em 18 anos. Note que o padrão do escoamento superficial mensal em Boqueirão de Cabaceiras foi alterado quando

comparado com o padrão da Figura 5. Na 5, o pico do escoamento ocorre no mês de março, na 7 entre março e abril e na 8 em abril. Foi efetuada a média porque o interesse neste estudo era o de analisar as mudanças ocorridas no escoamento superficial médio mensal devido ao uso do solo e da cobertura vegetal. Aqui, não foram apresentados os resultados devidos ocorrer pequena influência da cobertura vegetal no escoamento superficial da bacia estudada. A causa da baixa influência da vegetação ocorre porque a bacia possui solo raso. Portanto, baixa infiltração de água no solo. O escoamento superficial médio mensal representou muito bem a variabilidade das vazões observadas.

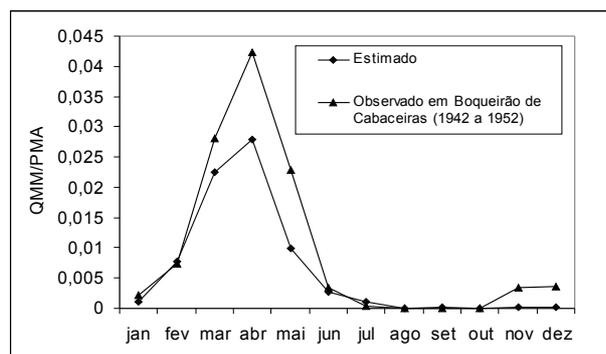


Figura 6 – Escoamento superficial mensal observado em Boqueirão de Cabaceiras no período de 1942 a 1952 e estimado pelo modelo, em escala diária, para a bacia hidrográfica do açude Epiácio Pessoa

Porém, é bom lembrar que nem sempre as médias são representativas das vazões observadas em períodos muito longos. Nesse sentido podem-se citar os estudos: (Tucci, 1991); (Clarke & Tucci, 1997) e (Laraque et al., 1997 e Laraque et al.2001).

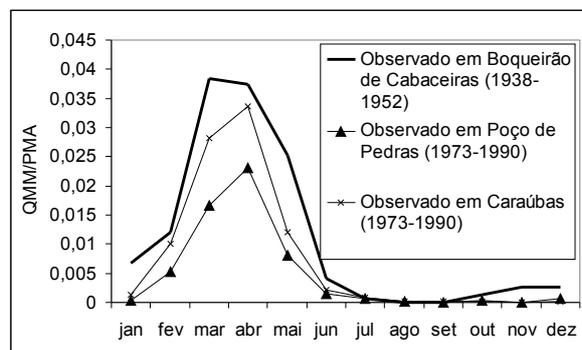


Figura 7 – Comparações das vazões médias mensais observadas em Boqueirão de Cabaceiras em 15 anos, Poço de Pedras e Caraúbas

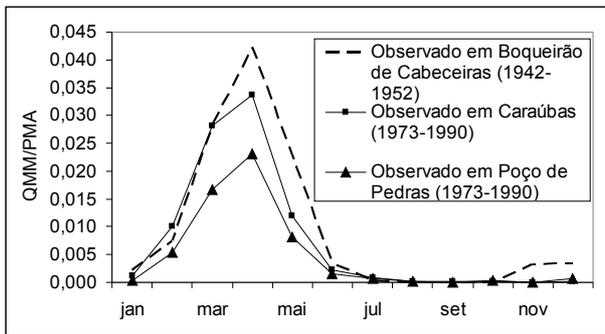


Figura 8 – Comparações das vazões médias mensais observadas em Boqueirão de Cabaceiras em 10 anos, Poço de Pedras e Caraúbas

Diante do exposto acima, será efetuada uma análise das possíveis causas da mudança temporal do escoamento superficial da bacia em estudo. As Figuras 9 e 10 mostram a precipitação média mensal para os períodos de 1932 a 1952 e 1970 a 1996, respectivamente, em seis postos pluviométricos da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. Foram utilizados apenas seis postos pluviométricos para esta análise porque são os que possuem séries antigas de precipitações. Comparando-as nota-se que não há modificação no padrão da precipitação ao longo do tempo. Nas Tabelas 1 e 2 estão dispostos os números dessas figuras. Como não houve mudança significativa no padrão da precipitação, sugere que a mudança no padrão do escoamento superficial tenha ocorrido devido à construção de diversos reservatórios a montante do açude Epitácio Pessoa, após 1970, como pode ser visto na Figuras 11. De todos os açudes construídos, apenas o açude de Campos foi construído no ano de 1940. O impacto da construção do açude de Campos no escoamento superficial em Boqueirão de Cabaceiras foi percebido na Figura 8. Em que, o padrão do escoamento superficial em Boqueirão de Cabaceiras corresponde no tempo ao padrão dos escoamentos em Caraúbas e Poço de Pedras, séries mais recentes. Em vista disso, acredita-se que a série de vazão observada em Boqueirão de Cabaceiras, por ser muito antiga, não mais representa o escoamento superficial que aflui ao reservatório Epitácio Pessoa. Para fins de modelagem no âmbito da bacia em estudo, sugere-se que se utilizem as vazões observadas em Caraúbas e Poço de Pedras.

Os resultados mostram que a metodologia utilizada permite representar a variação hidrológica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa e proporcionar melhor manejo dos recursos hídricos

da bacia. Isso porque a metodologia apresentada poderá servir como modelo de previsão e apresentar as possíveis mudanças de comportamento da bacia. Além disso, estudos semelhantes a esse, como por exemplo, o de Collischonn (2001) na qual desenvolveu e validou um modelo hidrológico utilizado para representar os processos de transformação de chuva em vazão em grandes bacias hidrográficas (maiores do que 10.000 km²). O autor aplicou o modelo na bacia do rio Taquari Antas, no Rio Grande do Sul, na bacia do rio Taquari, no Mato Grosso do Sul, e na bacia do rio Uruguai, entre Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O autor considerou os seus resultados bons. Aqui, foram obtidos resultados tão bons quantos do autor.

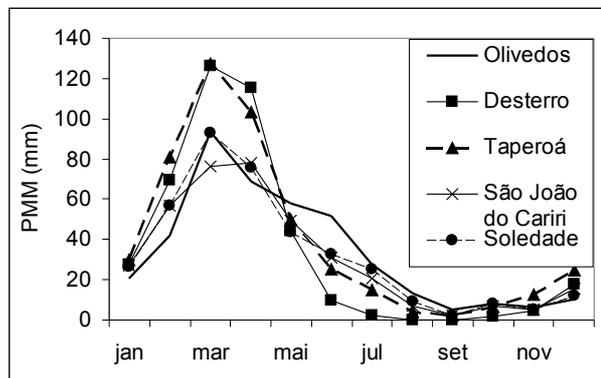


Figura 9 – Precipitação média mensal para o período de 1932 a 1952, em seis postos pluviométricos no âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

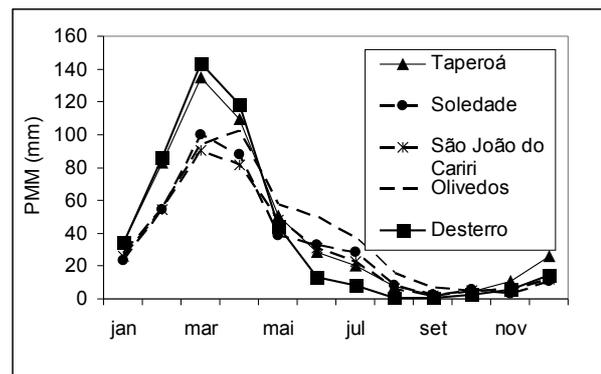


Figura 10 - Precipitação média mensal para o período de 1970 a 1996, em seis postos pluviométricos no âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

As Tabelas 2 e 3 mostram os valores das precipitações médias para cinco diferentes postos no

Tabela 2 – Precipitação média mensal (mm) para o período de 1932 a 1952

Postos	janeiro	fevereiro	março	abril	maio
Taperoá	30	81	128	104	50
Soledade	26	57	93	76	44
São João do Cariri	27	57	76	78	49
Olivedos	20	42	93	69	58
Desterro	28	70	126	115	44

Tabela 3 – Precipitação média mensal (mm) para o período de 1973 a 1996

Postos	janeiro	fevereiro	março	abril	maio
Taperoá	34	83	135	110	51
Soledade	23	55	100	88	38
São João do Cariri	26	54	90	81	48
Olivedos	28	55	94	102	58
Desterro	34	86	144	118	44

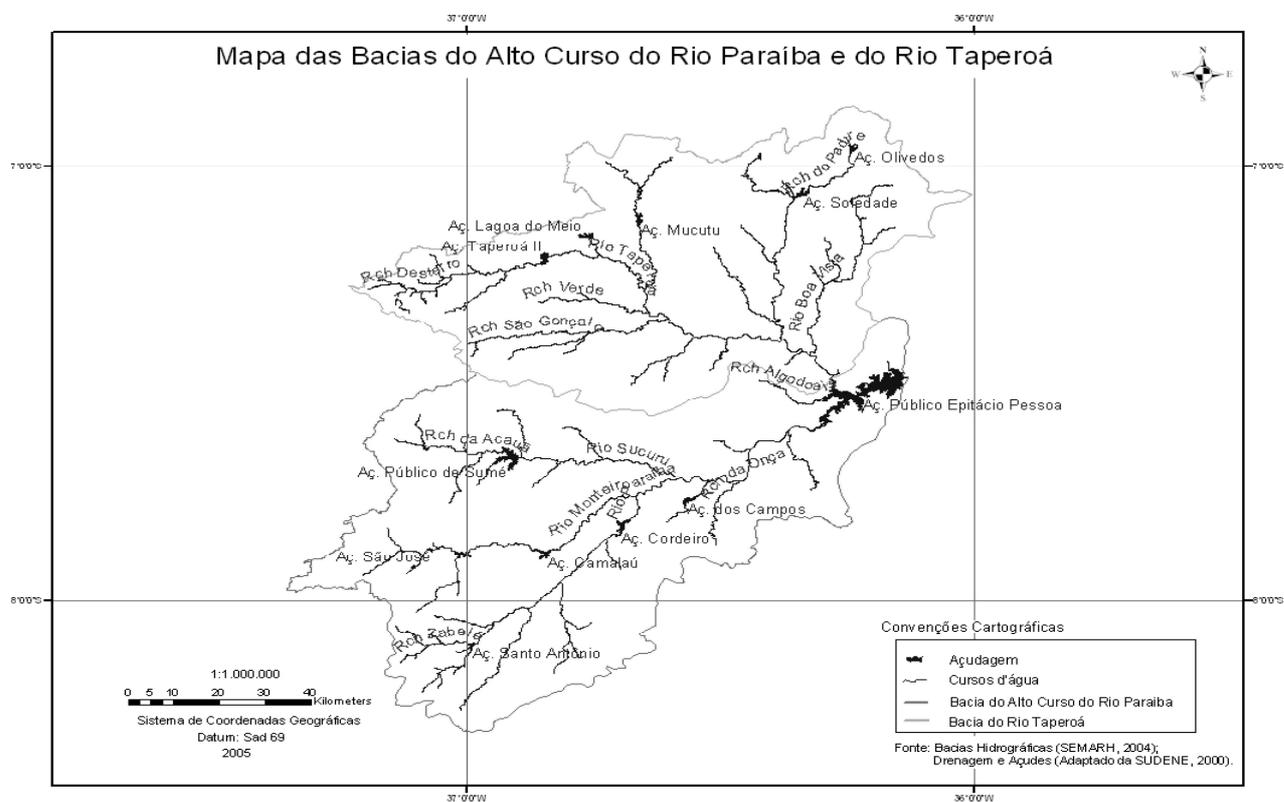


Figura 11 – Distribuição espacial de dez açudes construídos no âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, após 1970

âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. A primeira para o período de 1932 a 1952 e a segunda para o período 1973 a 1996.

A Figura 11 mostra a localização espacial de dez açudes construídos no âmbito da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, após 1970.

Em resumo, sugere-se que doravante haja melhor gerenciamento dos recursos hídricos no âmbito da bacia estudada, principalmente no que se refere à tomada de decisão para construção de novos reservatórios, a fim de que não ocorram prejuízos irrecuperáveis e significativos para a cidade de Campina Grande. Visto que a construção desordenada de reservatórios a montante do açude Epitácio Pessoa influi negativamente no afluxo de água desse açude. Para Rebouças (2002) verifica-se que o nordestino, nas diversas formas de ocupação do território, fundamentou a sua economia no aproveitamento do potencial hídrico localizado, explorando de forma extensiva tanto a agricultura quanto a pecuária. Contudo, face ao baixo nível tecnológico/organizacional, dentre outros fatores, não conseguiu condições de consolidação econômica dessas atividades. Por sua vez, as condições primitivas de uso e ocupação do meio físico muito têm contribuído para a destruição do solo, o empobrecimento das pastagens nativas e a redução das suas reservas de água.

Distribuição diária do escoamento superficial para Boqueirão

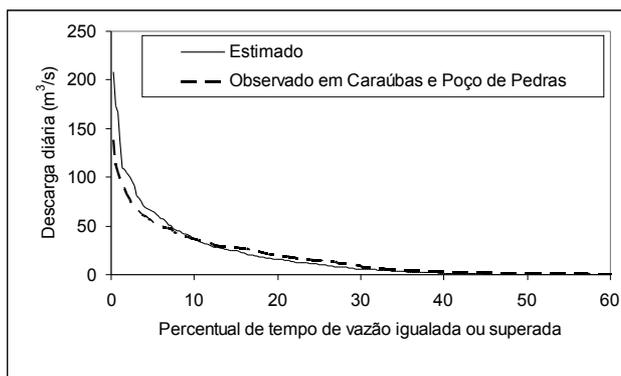


Figura 12 – Curvas de permanência de vazão diária, média ponderada, observada e estimada pelo modelo para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

A Figura 12 mostra as curvas de permanência da vazão diária, observada e estimada pelo modelo, para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, durante o período de 1973 a 1990. Nota-se que os valores estimados pelo modelo correlacionam-se

muito bem com os valores observados. Também pode ser visto que as vazões mais significativas ocorrem em apenas 20% do ano. O coeficiente de Nash foi igual 0,93 e o coeficiente de determinação foi de 94%.

Estimativa do escoamento superficial anual para Boqueirão

A Figura 13 mostra a estimativa do escoamento superficial anual estimado pelo modelo para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. Em média, cerca de 12% da precipitação é transformada em escoamento superficial.

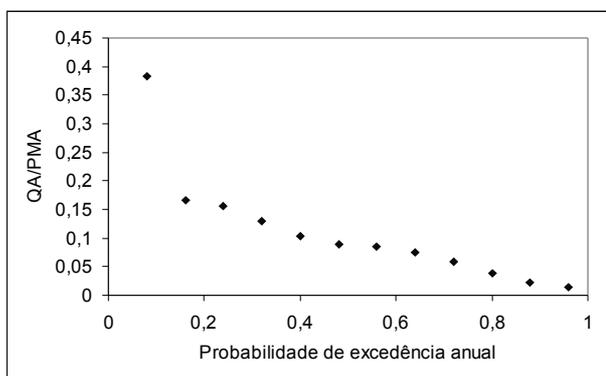


Figura 13 – Estimativa do escoamento superficial anual estimado pelo modelo para a bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa

O modelo aqui desenvolvido e validado poderá servir como modelo de previsão e apresentar as possíveis mudanças de comportamento da bacia. Para tanto, se faz necessário a utilização de dados de precipitação previstos por modelos de previsão climática do Centro de Previsão de Tempo e Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo. Estas previsões de vazão obtidas a partir da chuva prevista serão comparadas às previsões estatísticas baseadas na série histórica, que atualmente constituem a metodologia mais aplicada.

Este objetivo não foi atingido neste estudo. O modelo hidrológico não foi adaptado para previsão em tempo real.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados conclui-se que o escoamento superficial da bacia em estudo foi alterado ao longo dos anos. Houve retardo e diminui-

ção do mesmo. Essa modificação ocorreu devido as ações não planejada do homem, como por exemplo, construções desordenadas de açudes a montante de Boqueirão. Foi percebido também que não houve modificação no padrão da precipitação ao longo do tempo.

A metodologia utilizada permitiu representar a variação hidrológica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa e proporcionar melhor manejo dos recursos hídricos da bacia. Essa metodologia poderá servir como modelo de previsão e apresentar as possíveis mudanças de comportamento da bacia.

REFERÊNCIAS

- COLLISCHONN, W. Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de Doutorado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Pp192, 2001.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R. T., 2001. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology* 245, pp. 218-238, 2001.
- EAGLESON, P.S. Climate, Soil and Vegetation. 7. A Derived Distribution of Annual Water Yield Water Resources Researches, vol.14, nº 5, october, 1978.
- GALDINO, S.; CLARKE, R. T.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B. M. A.; VIEIRA, L. M. Evolução do regime hidrológico na planície do baixo curso do rio Taquari – Pantanal. Anais XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória ES. 1997.
- GRUPO DE RECURSOS HÍDRICOS-UFBA. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Apostila, capítulo 1, 2004.
- HARGREAVES, G. H. Potential evapotranspiration and irrigation requirements for northesat Brasil. Logan: Utah State University, p. 123, 1974.
- JOTHITYANGKON, C. SIVAPALAN M.; FARMER, D.L. Process Controls of Water Balance Variability in a Large Semi-Árid Catchment: Downward Approach to Hydrological Model Development. *Journal of Hydrology*, vol. 254, pp. 174 – 198, 2001.
- LARAQUE, A.; MAHÉ, G.; ORANGE. D.; MARIEU, B. Spatio-temporal variations in hydrological regimes within Central Africa during the XXth century. *Journal of Hydrology* Vol. 245 pp. 104-117. 2001.
- LARAQUE, A.; OLIVRY, J. C.; ORANGE. D.; MARIEU, B. Variações no espaço e no tempo dos regimes pluviométricos e hidrológicos na África Central desde o início do século. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória ES. 1997.
- MANEBE, S. Climate and circulation – 1: the atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface. *Monthly Weather Review*. 97 (11), 739-774, 1969.
- MEDEIROS, A. M. T. de. Variabilidade Espaço-Temporal da Precipitação Pluvial Diária Sobre a Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. Campina Grande, novembro, 2003.
- MILLY, P. C.D. Climate, soilwater storage, and the average annual water balance. *Water Resources Researches*. 30(7), 2142-2156, 1994.
- PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA PARAÍBA, 2000.
- REBOUÇAS, A. C. O Potencial de Água do Semi-Árido Brasileiro: Perspectivas do Uso Eficiente. Universidade de São Paulo. American Institute of Hydrology. 2002.
- ROBINSON M, GANNON B, e SCHUCH M. A comparison of the hydrology of moorland under natural conditions, agricultural use and forestry. *Hydrol. Sci. J*, 36 565-77, 1991.
- THEMAG,. Verificação das Metodologias para Montagem do BDH-ELETROBRAS, Themag Engenharia, Itaipu Binacional, 1994a.
- THEMAG,. Calibração do modelo hidrológico e geração de séries de vazões. Themag Engenharia, Itaipu Binacional. 1994b.
- THORNTHWAIT, C.W.; MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potencial evapotranspirations and the water balance. *Publications in Climatology*, Genteron, v.10, n.3, p.185-311, 1955.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol 2. No.1. pp. 135-152. 1997.
- TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: IPH UFRGS. 1991.
- TUCCI, C. E. M. Impacto da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos. Fórum Brasileiro de mudanças climáticas, pp.150, 2002.
- WARD, G.H. A Water Budget for the State of Texas with Climatological Forcing, "Texas Journal of Science, 45, Nº 3, pp. 249-264, 1993.

Water Balance Of The Surface Of The Epitacio Pessoa Dam Hydrographic Basin

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the impact of human actions on the runoff of the watershed of the Epitácio Pessoa dam (Boqueirão) using water balance. The main contribution of water flow to that dam comes from the Alto Paraíba and Taperoá sub-basins. A model based on the identification and quantification of the main hydrological processes was developed to estimate or generate the runoff values from Paraíba and Taperoá rivers, respectively in

Caraúbas and Poço de Pedras, Paraíba State. The water balance components were estimated daily. However, the results were shown as monthly distribution of the runoff. Initially, the variation of precipitation is considered in the model, since it is one of the most important climatic factors affecting runoff. Although there was no modification in the rainfall pattern, the runoff basin has been altered over the years. These modifications were due to unplanned human action, such as disordered construction upstream from Boqueirão. There were delays and decreased runoff. The methodology used allowed representing the hydrological variation of the Epitácio Pessoa dam watershed, and better water resource management of the basin. This methodology can be used as a forecast model for possible changes in the behavior of the watershed.

Key-words: water balance, runoff, Epitácio Pessoa dam.