

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DO USO DO SOLO E DA INFLUÊNCIA DOS AÇUDES SOBRE O ESCOAMENTO PARA O AÇUDE SUMÉ - PB

Eduardo E. de Figueiredo ¹, Vajapeyam S. Srinivasan ²

Resumo - A região semi-árida do Cariri da Paraíba tem sido muito afetada pelos problemas da seca. Como consequência, verifica-se um processo contínuo de desmatamento. Ademais, a necessidade de se estocar água resulta num aumento contínuo do número de açudes nas bacias hidrográficas. Para estudar os impactos nas alterações do uso do solo, bem como a influência dos açudes sobre a produção de água na região, foi escolhida a bacia hidrográfica do açude público Sumé, que drena para o Rio Sucurú à jusante do município de Sumé na região do Cariri Paraibano. A bacia possui as condições favoráveis para uma avaliação dessa natureza por possuir um reservatório localizado na sua seção de drenagem com uma área de 748,6 km², cujo aporte de água vem sendo comprometido nos últimos anos. As condições de uso do solo já são também razoavelmente conhecidas. O presente estudo é conduzido através da aplicação de um modelo distribuído, o modelo NAVMO, calibrado para a referida bacia, capaz de levar em consideração esses aspectos. Os resultados mostram que os impactos causados pela modificação do uso do solo, bem como a influência dos açudes localizados à montante sobre o escoamento para a bacia são significativos.

Abstract: The Cariri semi-arid region of Paraíba has been very much affected by the occurrence of droughts. As a result, the region has been suffering from a continuous process of deforestation. Moreover, the need to store water has been continuously increasing the number of storage reservoirs in the basins. In order to study the land use change impacts, and also the influence of the reservoirs over the runoff of the basin, the Sumé reservoir drainage basin with an area of 748,6 km² was chosen. The catchment has appropriate conditions for such a study. It has, at its outlet, at Sumé, a reservoir which has been affected by the upstream modifications in the basin. Also, the land use change conditions are reasonably known. The present study is conducted through the applications of a distributed model, the NAVMO, calibrated for the Sumé reservoir drainage basin, which is capable of taking into account such aspects. The results show that the impacts caused by the land use change as well as the influence of the reservoirs, located upstream of Sumé, on the inflow are significant.

Palavras Chave- Impactos do Uso do Solo, Reservatório, Escoamento, Seca, Modelo Hidrológico.

¹ Prof. Adjunto, email: eefigu@rechid.ufpb.br,

² Prof. Titular, email: srinivas@rechid.ufpb.br - Área de Engenharia de Rec. Hídricos, CCT/UFPB, Caixa postal, 505 - CEP 58109-970, Campina Grande, Pb

INTRODUÇÃO

O Nordeste semi-árido tem sido freqüentemente assolado pelas secas. Como consequência, verifica-se por um lado a diminuição da vegetação nativa pelo desmatamento e, por outro o surgimento cada vez mais crescente de mananciais de pequeno, médio e grande porte. É de grande importância, portanto, uma avaliação quantitativa dos impactos causados pelo uso do solo tanto sobre o escoamento quanto sobre a erosão haja visto que, qualitativamente, esses aspectos já são relativamente conhecidos (Figueiredo, 1998).

A redução das áreas de vegetação natural tanto ocorre de modo natural quanto pelo desmatamento provocado pelo homem para aumentar a área de cultivo como forma de subsistência. Para superar os problemas de escassez de água, é prática comum se construir mananciais (açudes) na região. Os mananciais de volume mais significativo foram, de um modo geral, construídos por órgãos públicos. No entanto, verifica-se, nos últimos anos, um aumento acentuado e sem planejamento a nível de bacia hidrográfica de açudes particulares, localizados à montante de reservatórios públicos importantes.

A presença cada vez mais destes açudes nas bacias hidrográficas, tem afetado o escoamento afluente aos mananciais mais importantes. Exemplo típico dessa natureza tem sido verificado particularmente no açude público Sumé (DNOCS, 1967), localizado na região semi-árida do Cariri da Paraíba, que foi planejado para atender as demandas do perímetro irrigado Sumé, bem como para o abastecimento público da cidade Sumé. Em virtude dos problemas gerados pela restrição de disponibilidade de água nos últimos anos, tanto para o perímetro irrigado Sumé quanto para o próprio abastecimento da cidade, estudos (ATECEL, 1993; Figueiredo et al, 1993) foram efetuados no intuito de se identificar as principais causas da redução do aporte de água ao açude Sumé. Os estudos de Figueiredo et al (1993), por exemplo, teve por objetivo principal verificar se os efeitos sentidos no açude Sumé eram uma consequência de variações ocorridas no regime pluviométrico da região, que, de fato, distribui-se de forma irregular tanto no espaço quanto no tempo (Jacon, 1982). Nesse sentido, Figueiredo et al (1993) calibraram um modelo distribuído de simulação do escoamento, capaz de levar em conta essas variabilidades no regime climático, principalmente do ponto de vista espacial, bem como as condições do uso do solo, e avaliaram o potencial dos recursos hídricos da bacia de contribuição do açude para um período de 25 anos (1965 a 1989). Os resultados das simulações para o período considerado mostraram que o volume médio afluente ao açude estava condizente com a capacidade do mesmo, indicando que os problemas de captação de água pelo açude não advinham exclusivamente das alterações no regime pluviométrico. De acordo com ATECEL (1993) e Figueiredo et al (1993), um dos principais fatores que afeta o aporte de água ao açude é a grande interferência no aproveitamento dos recursos hídricos ocorrido à montante do mesmo.

Dando continuidade aos estudos sobre o problema do açude Sumé, o presente trabalho tem, portanto, por objetivos avaliar o grau de influência causado pela presença de reservatórios à montante do açude Sumé, bem como pelos impactos nas alterações no

uso do solo sobre o escoamento afluente ao açude. O presente estudo é conduzido através da aplicação do modelo distribuído NAVMO, já calibrado para a referida bacia, que é capaz de levar em consideração tanto a presença de reservatórios no processo de propagação do escoamento quanto as variações nas condições de uso do solo. Os resultados, além de trazer uma avaliação da situação atual da bacia do açude Sumé, também deve proporcionar subsídios importantes para o aproveitamento racional dos recursos hídricos das bacias hidrográficas na região semi-árida do Nordeste do Brasil.

O MODELO NAVMO

O modelo NAVMO foi desenvolvido no Instituto de Recursos Hídricos da Universidade de Bundeswehr, Munique, Alemanha (Kleeberg et al., 1989). As primeiras aplicações no Brasil foram apresentadas por Figueiredo et al. (1991; 1993).

O modelo é diário, conceitual e distribuído e considera o sistema da bacia através de uma divisão da mesma em sub-bacias de produção e trechos de acompanhamento do fluxo. A precipitação é transformada no escoamento total em cada sub-bacia. A vazão total é a soma dos escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo, os quais são controlados por dois sistemas de reservatórios: um superficial e outro sub-superficial. O escoamento subterrâneo é controlado por uma função de transformação do excesso de água proveniente do reservatório sub-superficial. O método da curva número (CN) do Serviço de Conservação do Solo - SCS (McCuen, 1982) é usado para avaliar o armazenamento de água nos reservatórios do sistema, o qual é associado às condições do solo e do seu uso, sendo apropriado, portanto, para uma avaliação das alterações ocorridas na bacia. A Figura 1 mostra os processos considerados no modelo.

Vários métodos alternativos de cálculo são possíveis de serem utilizados pelo modelo, para o cálculo da precipitação média nas sub-bacias, para o acompanhamento do escoamento na calha do rio, e para uma investigação da qualidade dos resultados obtidos. As metodologias do modelo de transformação do escoamento não serão apresentadas aqui, mas podem ser encontradas em Figueiredo et al (1991) e em Srinivasan et al (1996).

A presença de reservatórios no sistema da bacia é feita definindo-se o reservatório na saída da sub-bacia, onde o mesmo se encontra localizado geograficamente, e as condições de operação do mesmo com base numa relação entre o nível d'água, o volume e a vazão a ser liberada para jusante. Dessa maneira, o modelo procede os cálculos do escoamento de acordo com as condições do reservatório, propagando a vazão desejada para jusante. A retenção de água tanto no reservatório quanto nos trechos de rios são levadas em consideração na propagação do escoamento.

O modelo NAVMO usa treze (13) parâmetros que estão associados aos processos de transformação da precipitação no escoamento total na saída da sub-bacia. São eles: ALFA (fator usado no cálculo do escoamento direto), EET (fator usado no cálculo da evaporação real), BETA (fator usado no cálculo do escoamento sub-superficial), MET1 e MAX1 (tempo para atingir o pico e tempo de base do escoamento direto), MET2 e MAX2 (tempo para atingir o pico e tempo de base do escoamento sub-

superficial), K (usado para o cálculo do escoamento subterrâneo), EKM, EKL e EKR (fatores usados no cálculo da velocidade de fluxo no leito principal e nos planos de inundação do trecho de rio), QBSP (vazão de base inicial) e BFD (deficit de umidade inicial do solo). Os treze parâmetros acima descritos podem ser calibrados manual ou automaticamente.

Para cada sub-bacia o modelo requer um valor da curva número (CN) que deve ser definido de acordo com o grupo de solo e usos da sub-bacia. O valor atribuído é obtido por ponderação em relação a área de cada tipo de uso do solo. Dessa maneira, as possíveis alterações que possam ocorrer no sistema da bacia, sejam elas naturais ou não, como por exemplo o aumento de terras agricultáveis, a urbanização, ou mesmo a recuperação natural da vegetação, podem ser tomadas em consideração para se avaliar o efeito dessas mudanças sobre o escoamento. Isso pode ser feito tanto pelos dados observados, quando o comportamento das alterações são conhecidas ao longo do tempo, quanto pela simulação através da definição de cenários possíveis de ocorrer.

A ÁREA DO ESTUDO

A região objeto do estudo está localizada no semi-árido paraibano, na micro região dos Cariris Velhos e engloba, total ou parcialmente, os municípios de Sumé, Monteiro, Prata e Ouro Velho. Os seus limites são definidos pelos paralelos 7°28' e 7°50' e pelos meridianos 37°13' e 36°49'. A bacia hidrográfica considerada tem uma área de 748,6 km² fazendo parte da mesma a Bacia Representativa de Sumé - BRS - (Cadier e Freitas, 1982). As águas do açude Sumé são drenadas para o Rio Sucurú, imediatamente à jusante, nas proximidades da cidade de Sumé.

Características da Região do Estudo

Clima: O clima predominante na área é do tipo quente e seco, com um período seco variando de 7 a 8 meses. A precipitação média anual é da ordem de 613 mm (Jaccon, 1982; ATECEL, 1993). A evaporação média anual é de 2300 mm (Tanque Classe A). A temperatura média anual é de 24 C. O principal fator que caracteriza o clima da região é a grande irregularidade de seu regime pluviométrico.

Vegetação: Segundo Brasil (1972) predomina na região a caatinga hiperxerófila. Esta vegetação tem porte arbóreo baixo não muito densa, ou arbóreo arbustivo com maior densidade porém já se encontra, em grandes trechos, devastada pelo homem. Em geral o sistema radicular é raso devido a pouca profundidade dos solos.

Solos: Segundo Brasil (1972), os solos de maior ocorrência na área do estudo apresentam-se com boa fertilidade natural, havendo limitações no que diz respeito à profundidade agricultável, predominando as associações entre solos litólicos eutróficos, regossolos, solos bruno, afloramentos de rocha, e, ocasionalmente, solos aluviais. O

relevo varia de forte ondulado e montanhoso, nas partes altas da bacia, a suave ondulado nas partes média e baixa. A presença do cristalino a pequena profundidade é evidenciada pela presença de rochas aflorantes. A profundidade dos solos varia entre 10 e 50 cm podendo ser zero onde as rochas são aflorantes.

Uso da terra: Com base em trabalhos de análise dos produtos de Sensoriamento Remoto e verificações no campo (ATECEL, 1993; Neto, 1993), foram identificadas duas classes de uso atual da terra: a classe do uso agrícola e a classe de vegetação natural. De acordo com os dados coletados "in loco" constatou-se que a grande maioria das terras da bacia objeto do estudo, é ocupada por propriedades rurais de grande médio e pequeno portes, sendo essas duas últimas as predominantes pelo número, embora ocupem uma pequena porcentagem da área total. Nas grandes propriedades, a principal atividade é a pecuária, aproveitando as grandes extensões de terra, ocupadas em parte pela vegetação nativa, que é utilizada como pastagem natural. Além disso, é comum o desmatamento para o plantio de capim e construção de açudes para diversas finalidades. As propriedades de médio porte são caracterizadas pela pecuária e pela agricultura, principalmente a de subsistência. Desenvolve-se também nos terrenos de aluvião o plantio de fruteiras e hortaliças. A prática da irrigação nas propriedades de médio porte é muito restrita. A principal característica das propriedades de pequeno porte é a agricultura de subsistência.

Drenagem e corpos de água: Como resultado da análise qualitativa da drenagem da bacia, observa-se que o padrão de drenagem é dentrítico com densidade de drenagem alta. Os corpos de água da região são representados por açudes e barragens diversas. Foram verificadas 3 categorias de mananciais: a) açudes e barragens de grande porte, sendo encontrados nesta categoria o açude público Sumé, com um volume máximo de $44,86 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água e o açude particular São Paulo com capacidade para $19,25 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água; b) açudes e barragens de porte médio, sendo encontrado nessa categoria o açude de Prata com $4,40 \times 10^6 \text{ m}^3$; e c) açudes e barragens de pequeno porte, sendo o mais importante o açude de Ouro Velho com $1,8 \times 10^6 \text{ m}^3$, que se encontra dentro da bacia de contribuição do açude São Paulo. Um grande número de açudes de pequena capacidade foram também identificados, porém sem nenhuma informação sobre a capacidade dos mesmos.

Comportamento do Uso do Solo

O resultado da análise temporal das imagens TM/LANDSAT (imagens de 10/12/1984 e 18/07/1990) realizadas por ATECEL (1993) mostrou um alto "índice de devastação da vegetação natural, para a fabricação de carvão vegetal e para o aproveitamento das terras desmatadas para a agricultura, na formação de capineiras e no plantio de forrageiras. Em termos de expansão das propriedades, foram aquelas de grande porte as que mais cresceram, devido principalmente à incorporação das áreas de vegetação natural que foram desmatadas. Em relação às propriedades de médio e pequeno portes, praticamente não houveram mudanças significativas. Em termos dos

açudes, verificou-se que neste período foram construídos vários açudes de pequeno porte. Segundo ATECEL (1993), detectou-se um crescimento no número de aproveitamentos dos recursos hídricos da ordem de 42,2%.

APLICAÇÃO DO MODELO

Calibração dos Parâmetros

Conforme já mencionado, num estudo realizado (Figueiredo et al., 1993; ATECEL, 1993) foram apresentados os detalhes da calibração dos parâmetros do modelo NAVMO. Para esta finalidade, a bacia de drenagem do açude Sumé foi dividida em 18 sub-bacias e 11 trechos de propagação do fluxo, para as quais foram determinados todos os parâmetros e variáveis de entrada do modelo tais como área de cada sub-bacia, coordenadas do centróide de cada sub-bacia, declividades das sub-bacias, comprimentos e declividades dos trechos de rios, valores da curva número conforme grupos de solo e usos, e as elevações de montante e jusante consideradas no cálculo das declividades. Os dados das calhas dos rios necessários para o processo de propagação do escoamento, incluindo as rugosidades de cada parte da seção (seção principal e planos de inundação), foram também apresentados. As Tabelas 1 e 2 mostram essas variáveis de entrada do modelo. A sequência de processamento pelo modelo está indicada na Figura 2.

Os dados de evaporação média diária da estação Ouro Velho do período 1975-1980 (Cadier e Freitas, 1982), mostrados na Figura 3, assim como os dados de chuva e vazão média diária dos postos localizados dentro da Bacia Representativa de Sumé - BRS - (Jatobá, Umburana e Gangorra) do mesmo período serviram para a fase de calibração dos parâmetros do modelo. A BRS está representada no sistema pelas sub-bacias 1 a 9 na Figura 2. Dos treze parâmetros do modelo, apenas os dois mais sensíveis (ALFA e EET) foram calibrados, sendo os menos sensíveis, aqueles que não afetavam significativamente o escoamento gerado, fixados numa fase inicial da calibragem. Como na região a contribuição do escoamento de base praticamente não existe, a vazão de base QBSP foi adotado igual a zero. A umidade inicial foi fixada em 15%. A calibração de ALFA e EET para o período 1975-1980 tornou-se difícil o que levou a uma calibração dos parâmetros ano a ano para os anos de 1977, 1978 e 1979. A calibração dos parâmetros para os anos de 1975 e 1980 não foi possível devido a limitações nos dados. Assim, resultaram três grupos de parâmetros. Um grupo calibrado para o ano de 1977, outro para o de 1978, e outro para ano de 1979. Os valores de ALFA e EET para as três bacias usadas na calibração (Jatobá, Umburana e Gangorra) encontram-se na Tabela 3.

Os valores de ALFA e EET para a seção de Sumé foram também calibrados (ver Tabela 3), tendo os mesmos sido obtidos pelo ajustamento dos volumes escoados nos anos 1965 a 1989, gerados pelo modelo, aos volumes calculados pelo balanço hídrico do açude Sumé. Para a simulação do escoamento afluente ao açude Sumé nesses anos, foram utilizados dados de chuva dos postos de Sumé, Prata, Monteiro e Bananeiras, do banco de dados da SUDENE, bem como dados de evaporação da estação de Sumé. A

Figura 4 mostra as precipitações médias anuais calculadas pelo método de Thiessen. Os parâmetros utilizados na simulação desses anos seguiu o seguinte critério: anos úmidos, com precipitação acima de 800 mm, foram simulados com os parâmetros de 1977; anos secos, com precipitação menor ou igual a 600 mm, foram simulados com os parâmetros de 1979; anos com precipitação entre 600 e 800 mm foram simulados com valores médios dos parâmetros de 1977 e 1979. Os anos de 1977, 1978 e 1979 foram simulados com os parâmetros do próprio ano da calibragem. A seleção dos parâmetros para a simulação conforme esses índices de pluviosidade se enquadra bem com os principais regimes pluviométricos que se verifica na região semi-árida (Cadier, 1996).

Para a definição dos valores da curva número para cada sub-bacia foi considerado os dois grupos de solo principais: os solos da classe de uso agrícola e os solos da classe de vegetação natural. As áreas com os tipos de uso associados foram quantificadas e os valores da curva número (CN) foram inicialmente estimados pela ponderação. No entanto, para as áreas com vegetação natural (Caatinga) não se dispunha de uma associação direta com aqueles apresentados pelo SCS indicados por McCuen (1982). Sendo assim, os valores CN indicados na Tabela 1 foram, em alguns casos, ajustados num processo de calibração.

Os resultados obtidos com a calibração dos parâmetros do modelo apresentaram-se satisfatórios formando uma boa base para a investigação da influência dos reservatórios localizados à montante do açude Sumé, bem como dos impactos causados pelas alterações do uso do solo sobre o escoamento afluente ao açude.

Simulação do Escoamento com Alterações no Uso do Solo

Como base para avaliação dos impactos causados pelas alterações no uso do solo na bacia de drenagem do açude Sumé foram considerados três cenários. Um que representasse o ressurgimento da vegetação nativa, o que é possível de acontecer quando as terras sujeitas à erosão significativa são submetidas ao reflorestamento ou ao surgimento natural da Caatinga pelo abandono de terras improdutivas, e outros dois que representasse um aproveitamento acentuado, ou desmatamento acelerado das áreas de vegetação nativa. Esses três casos serão representados quantitativamente através de alterações dos valores da curva número. No primeiro caso, os valores CN indicados na Tabela 1 foram reduzidos em 40% o que representaria mais ou menos um reflorescimento da vegetação nativa em 40% da área de cada sub-bacia. Naturalmente os valores assim obtidos seriam ligeiramente diferentes daqueles obtidos pela ponderação das áreas dos vários usos, mas como um possível cenário estaria bastante próximo. Nos outros dois casos, os valores CN da Tabela 1 foram acrescidos 40% e 80% representando bem o que vem ocorrendo nas áreas do Nordeste semi-árido, ou seja o desmatamento acelerado da vegetação nativa. É importante frisar também que esses percentuais estão condizentes com as observações feitas através de imagens de satélite conforme ATECEL (1993) e Neto (1993).

Para a avaliação dos resultados, foram simulados volumes e vazões máximas da bacia, na seção da bacia de drenagem do açude Sumé, os quais serão comparados com os

volumes e vazões máximas obtidos no processo de calibração. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para os volumes e vazões máximas nos vários cenários simulados.

Simulação do Escoamento com Interferência de Reservatórios

De acordo com os levantamentos feitos sobre a região, os principais mananciais localizados à montante do açude Sumé são os açudes de Ouro Velho (1,8 milhões de m³), que se encontra dentro da bacia de contribuição do açude São Paulo, o açude Prata (4,4 milhões de m³) e o próprio açude São Paulo (19,25 milhões de m³). Um grande número de pequenos açudes também existe, porém devido a falta de informação básica necessária para considerá-los, foram excluídos. No entanto, como o açude São Paulo representa metade da capacidade do açude Sumé, esse, por si só, já representa uma parcela importante de interferência no aporte de água para o açude Sumé. Sendo assim, as simulações nessas condições foram conduzidas considerando apenas os açudes São Paulo e Prata. Em virtude do modelo simular os reservatórios levando em conta o efeito na propagação do escoamento para jusante, os efeitos dos açudes localizados à montante deles não são considerados.

Para considerar o fato real de que os açudes do Nordeste não são, na sua maioria, construídos para regularização de vazões, mas sim para simples acumulação, uma lei de liberação de água para jusante realista foi admitida, com vazões insignificantes até alcançar a capacidade do açude. Isso reflete, o que de fato ocorre na prática, ou seja, nenhuma liberação de água é feita para jusante dos açudes. No evento de anos muito chuvosos, contudo, existe a possibilidade de transbordamento dos mananciais, principalmente aqueles de menor porte. Porém, no semi-árido dos Cariris Paraibanos e, particularmente, na série de anos usada para este estudo, poucos anos apresentam índices pluviométricos excepcionais. A Tabela 4 mostra os resultados das simulações dos volumes e vazões máximas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dois aspectos importantes que afetam o escoamento numa bacia hidrográfica foram investigados: a) o efeito das alterações das condições de uso do solo sobre o escoamento (volumes e vazões máximas) e b) o efeito da interferência de açudes localizados à montante da seção de referência. Os resultados obtidos tanto no primeiro quanto no segundo caso estão indicados na Tabela 4.

Os resultados comparativos entre volumes e vazões máximas com diferentes usos do solo podem ser comparados com aqueles obtidos durante a fase de calibração. Conforme a Tabela 4, pode-se observar que o impacto do uso do solo (cenários C1 a C3 na Tabela 4) sobre o volume é bastante significativo em todos os casos. Considerando-se, por exemplo, uma recuperação da vegetação natural (cenário C1) na bacia, uma redução média no volume afluente da ordem de 72% seria observada. Por outro lado, caso ocorresse um processo de aceleração da redução da área vegetada em 40% ou 80%

(cenários C2 e C3), os volumes seriam acrescidos, em média, 62% e 120%. Aparentemente, a redução do volume médio pela recuperação da vegetação nativa é mais significativa do que o aumento causado pelo desmatamento. Esse fato também pode ser observado para o caso das vazões máximas, com um percentual de redução médio da ordem de 65% obtido com o cenário C1 e de aumento da ordem de 51% e 79% obtidos com os cenários C2 e C3. Entretanto, deve ser lembrado que o desmatamento em si e aumento do escoamento superficial provocaria uma erosão severa na superfície do solo, com a consequente perda de solo e nutrientes. Portanto, esta situação, apesar de apresentar um aumento no rendimento da bacia é muito danoso e contra produtivo.

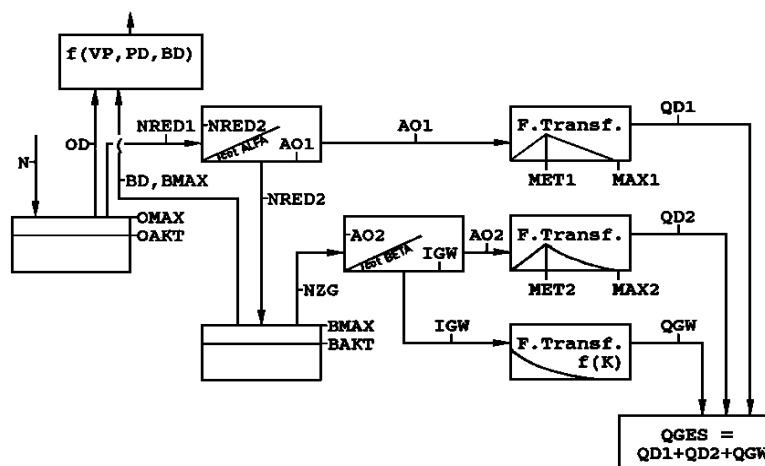
Na análise comparativa em termos da influência de reservatórios localizados à montante do açude Sumé (cenário C/Res na Tabela 4), pode-se observar que a presença dos açudes São Paulo e Prata (ver Figura 2) causariam uma redução média no volume afluente da ordem de 34%. Como o volume afluente médio, obtido com os resultados do processo de calibração, é da ordem de 41,15 milhões de m³ (o volume real do açude Sumé é 44,86 milhões de m³), em média 14 milhões ficariam retido nos açudes São Paulo e Prata. Esse volume retido à montante seria realmente muito maior caso os inúmeros reservatórios de pequeno porte existentes fossem levados em consideração. Nos anos relativamente secos, os efeitos são drásticos uma vez que a influência de açudes grandes e pequenos fariam com que o escoamento afluente para o açude Sumé, nestes anos, seja insignificante, o que de fato vem sendo verificado nos últimos anos.

CONCLUSÕES

Com base na aplicação de um modelo previamente calibrado, capaz de levar em consideração tanto as possíveis alterações no uso do solo quanto a presença de reservatórios na bacia hidrográfica, foi possível se avaliar através do presente estudo os impactos causados por esses fatores sobre o escoamento afluente ao açude Sumé. Os resultados do presente estudo indicam realmente que a presença de reservatórios localizados à montante do açude Sumé pode reduzir significativamente o aporte de água ao açude, que pode comprometer, como já é do conhecimento geral, o uso da água daquele manancial. Por outro lado, as condições do uso do solo são também relevantes na produção de água na bacia, tendo sido avaliados através de uma metodologia baseada na curva número (CN) que contempla tanto a variação da natureza quanto o uso do solo. Conclui-se portanto, com base nos resultados obtidos que, para o melhor aproveitamento dos recursos naturais da bacia hidrográfica, um planejamento sobre o uso do solo e aproveitamento dos recursos hídricos deva ser realizado, no sentido de se maximizar os benefícios do aproveitamento. É pertinente, portanto, se tentar avaliar também os impactos sobre a erosão e produção de sedimentos como consequência, principalmente do uso do solo, um aspecto importante para a conservação dos recursos de água e solo.

REFERENCIAS

- ATECEL (1993). Estudo Técnico Integrado sobre o Uso Múltiplo dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sucurú. Relatório. Campina Grande, Pb.
- CADIER, E. (1996). Hydrologie des Petits Bassins du Nordeste Brésilien Semi-Aride: Typologie des Bassins et Transposition Écoulements Annuels. Journal of Hydrology, 182:117-141.
- CADIER, E. e Freitas, B. J. (1982). Bacia Representativa de Sumé. Primeira Estimativa de Água. Série Hidrologia No. 14, SUDENE, Recife - Pe.
- BRASIL (1972). Levantamento Exploratório: Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba. M. A./CONTAP. USAID/BRASIL. Rio de Janeiro.
- DNOCS (1967). Projeto Sumé. Aproveitamento Hidro-Agrícola do Açude Sumé, Volume II, Recife,Pe.
- FIGUEIREDO, E.E. (1998). Scale Effects and Land Use Change Impacts in Sediment Yield Modelling in a Semi-Arid Region of Brazil. PhD Thesis. Universidade de Newcastle upon Tyne, England.
- FIGUEIREDO, E.E., Overland, H. e Kleeber, H.B. (1991). O Modelo NAVMO de Simulação do Escoamento Superficial. IX Simpósio Bras. de Rec. Hídricos, pp 337-346, Rio de Janeiro.
- FIGUEIREDO, E.E., Srinivasan, V.S., Barros, M.G. (1993). Análise do Problema de Enchimento do Açude Público Sumé através do modelo NAVMO. X Simpósio Bras. de Rec. Hídricos, pp 226-235, Gramado.
- JACCON, G. (1982). As Precipitações Anuais da Região Paraibana. Homogeneização e Análise Regional. Recife, SUDENE-DRN, 97 p.
- KLEEGERG, H.B., Overland, H. e Paus, G.B. (1989). NAVMO, Version 1.1 Institut fur Wasserwesen, Universitat der Bundeswerh, Munchen.
- MCCUEN, R.H. (1982). A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods, Univ. of Maryland, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- NETO, A. F. S. (1993). Avaliação dos Recursos Hídricos e Uso da Terra na Bacia do Alto Sucurú com Base em Imagens TM/LANDSAT-5. Tese de Mestrado, CCT/UFPb - Campina Grande, Pb.
- SRINIVASAN, V.S., Lopes, P.L. e Figueiredo, E.E. (1996). Avaliação do Escoamento Superficial da Bacia do Rio Piancó Utilizando um Modelo Distribuído. III Simpósio de Rec. Hídricos do Nordeste, pp 431-437, Salvador.



ALFA	... Parâmetro do Reservatório Superficial
AO1	... Precipitação efetiva para o Escoamento Superficial
AO2	... Lâmina d'água Efetiva para o Escoamento Sub-superficial
BAKT	... Umidade Atual do Reservatório do Solo
BD	... Deficit de Umidade do Reservatório do Solo
BETA	... Parâmetro do Reservatório Sub-superficial
BMAX	... Capacidade máxima de Armazenamento do Solo
IGW	... Lâmina d'água Efetiva para o Escoamento Subterrâneo
K	... Parâmetro do Reservatório Subterrâneo
MAX1	... Tempo de Base do Escoamento Direto
MAX2	... Tempo de Base do Escoamento Sub-superficial
MET1	... Tempo para Atingir o Pico do Escoamento Superficial
MET2	... Tempo para Atingir o Pico do Escoamento Sub-superficial
N	... Precipitação diária
NRED1	... Transbordo do Reservatório Superficial
NRED2	... Parte do Transbordo de Água que vai Suprir o Solo
NZG	... Transbordo do Reservatório Sub-superficial
OAKT	... Umidade Atual do Reservatório Superficial
OD	... Deficit de Umidade do Reservatório Superficial
OMAX	... Capacidade máxima de Armazenamento da Superfície
QD1	... Escoamento Direto
QD2	... Escoamento Sub-superficial
QGES	... Descarga total
QGW	... Escoamento Subterrâneo
VA	... Evaporação Atual
VP	... Evaporação Potencial

Figura 1 - Esquema dos Processos Precipitação - Evaporação - Vazão

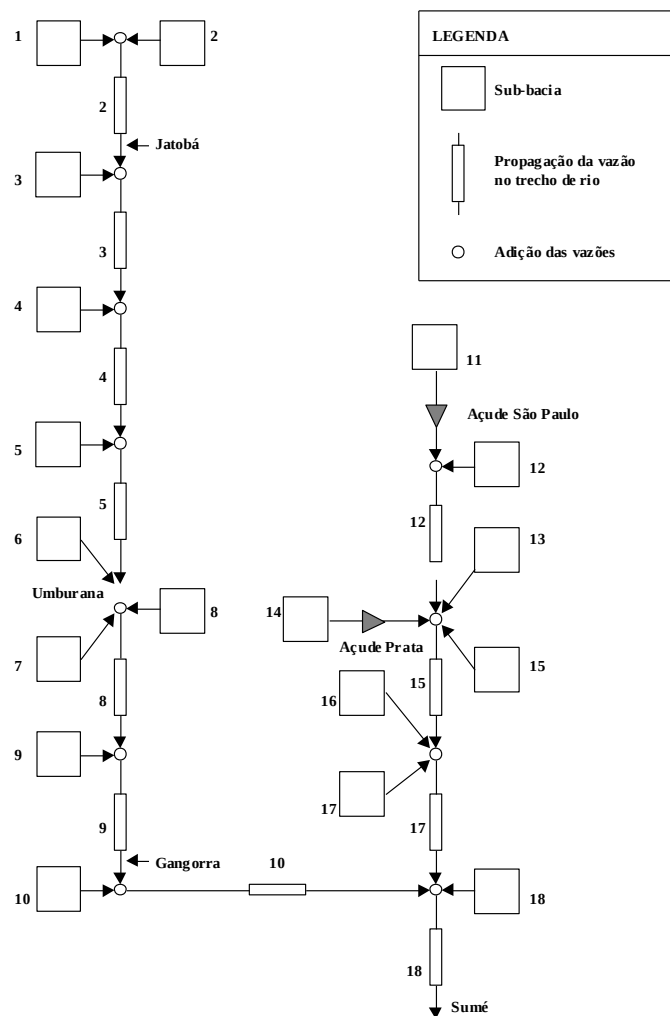


Figura 2 - Esquema Linear da Bacia do Açude Sumé

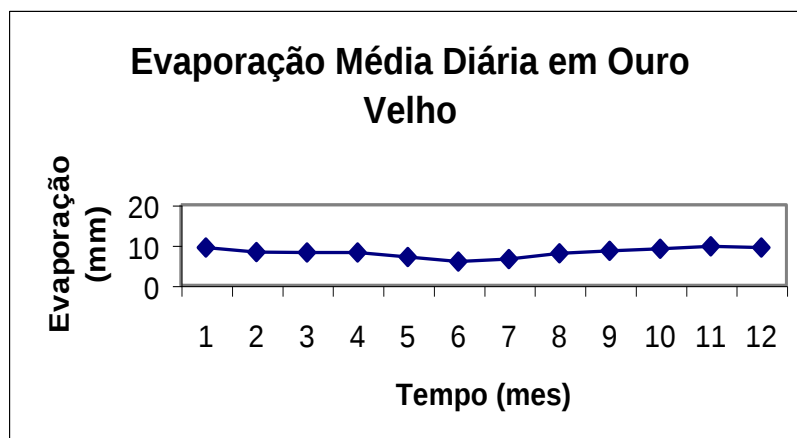


Figura 3 - Evaporação Média Diária (1975-1980) em Ouro Velho

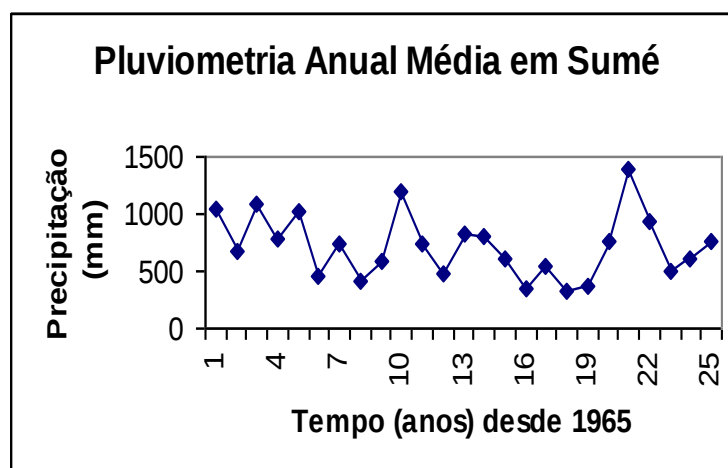


Figura 4 - Precipitação Média Anual em Sumé (1965-1989)

Tabela 1 - Dados Fisiográficos das Sub-Bacias do Açude Sumé

BACIA	ÁREA	X	Y	G	GEF	CN	COMPRIM.		COTAS (m)	
No	Km2	km	km	%	%	-	L1	L2	MONTANTE	JUSANTE
							km	km	G /GEF	G /GEF
1	14,0	709,0	9138,5	1,38	-	35,4	4,0	-	705/-	650/-
2	12,8	712,5	9139,0	1,33	0,80	24,6	4,0	6,0	703/650	650/600
3	21,6	717,0	9140,0	0,93	0,29	17,9	4,5	3,5	636/600	594/590
4	44,3	720,5	9142,0	0,58	0,75	21,0	5,5	6,0	602/590	570/545
5	5,0	722,5	9146,0	0,48	0,20	21,0	1,3	2,5	575/545	569/540
6	10,7	724,0	9140,0	0,68	-	24,6	6,5	-	609/-	565/-
7	11,5	726,0	9142,0	0,70	-	21,0	5,0	-	600/-	565/-
8	6,5	724,5	9145,0	0,38	0,63	22,8	4,0	4,0	555/565	540/540
9	11,0	726,0	9147,0	1,67	0,50	21,0	3,0	2,0	600/540	550/530
10	46,0	729,0	9149,0	0,34	0,62	35,0	8,5	8,0	566/550	537/545
11	180,5	706,0	9157,0	0,22	-	40,0	14,3	-	623/-	593/-
12	26,7	714,0	9155,0	0,52	0,54	40,0	8,2	8,0	593/593	550/550
13	91,5	715,0	9158,5	0,46	-	40,0	24,5	-	665/-	550/-
14	100,0	710,0	9147,0	0,60	-	40,0	17,0	-	656/-	550/-
15	60,5	722,0	9156,0	0,40	0,02	40,0	13,0	6,0	604/551	551/550
16	38,0	715,0	9145,0	0,65	-	40,0	10,0	-	648/-	583/-
17	22,7	720,0	9148,0	0,38	0,40	40,0	8,0	8,0	582/583	551/551
18	45,3	727,5	9156,0	0,24	0,61	35,0	8,8	7,5	573/599	552/553

L1, L2 ... comprimentos para o cálculo das declividades da bacia (G) e do trecho de rio (GEF)
Cotas ... cotas de montante e jusante para o cálculo de G e GEF

Tabela 2 - Dados sobre os Sub-trechos de Rios para o Cálculo do Acompanhamento do Escoamento

BACIA	GEF	HM	BM	BL	BR	BNM	BNL	BNR	SKM	SKL	SKR
No	%	m	m	m	m	-	-	-	(m ^{1/3} s ⁻¹)		
2	0,80	1,5	50,0	15,0	15,0	5,0	25,0	25,0	40,0	20,0	20,0
3	0,29	1,8	40,0	20,0	20,0	5,0	25,0	25,0	40,0	20,0	20,0
4	0,75	2,0	35,0	30,0	30,0	5,0	20,0	5,0	40,0	20,0	20,0
5	0,20	2,5	40,0	30,0	30,0	10,0	30,0	30,0	40,0	20,0	20,0
8	0,63	2,5	40,0	20,0	20,0	5,0	30,0	30,0	40,0	20,0	20,0
9	0,50	4,0	40,0	20,0	20,0	3,0	30,0	30,0	40,0	20,0	20,0
10	0,62	8,0	250,0	180,0	180,0	5,0	100,0	100,0	40,0	20,0	20,0
12	0,54	2,5	80,0	50,0	50,0	2,0	50,0	50,0	40,0	20,0	20,0
15	0,02	5,0	70,0	50,0	50,0	4,0	70,0	70,0	40,0	20,0	20,0
17	0,40	3,0	70,0	50,0	50,0	3,0	50,0	50,0	40,0	20,0	20,0
18	0,61	8,0	250,0	180,0	180,0	5,0	100,0	100,0	40,0	20,0	20,0

GEF ... Declividade média do sub-trecho (%)
HM ... Altura da calha principal (m)
BM ... Largura da base da calha principal (m)
BL ... Largura do plano de inundação esquerdo (m)
BR ... Largura do plano de inundação direito (m)
BNM ... Declividade das paredes laterais da calha principal (-)
BNL ... Declividade da parede lateral da margem esquerda (-)
BNR ... Declividade da parede lateral da margem direita (-)
SKI ... Fator de atrito de Manning-Strickler para o leito (m^{1/3}s⁻¹)
SKL ... Fator de Manning-Strickler para o plano esquerdo (m^{1/3}s⁻¹)
SKR ... Fator de Manning-Strickler para o plano de direito (m^{1/3}s⁻¹)

Tabela 3 - Grupos de Parâmetros Calibrados

Ano	Jatobá		Umburana		Gangorra		Sumé	
	EET	ALFA	EET	ALFA	EET	ALFA	EET	ALFA
1977	5,0	0,33	3,0	0,65	1,0	0,85	5,0	0,48
1978	2,5	0,60	2,0	0,80	2,0	0,70	4,0	0,70
1979	8,0	0,25	6,0	0,40	3,0	0,50	8,0	0,20
Med*	6,5	0,30	4,5	0,53	2,0	0,68	6,5	0,34

(*) média dos valores de 1977 e 1979

Tabela 4 - Volumes e Vazões Máximas Simuladas na Bacia com Diferentes Usos do Solo e Reservatório

ANO	Volumes em milhões de m3					Vazões Máximas em m3/s				
	C0	C1	C2	C3	C/Res	C0	C1	C2	C3	C/Res
1965	102,59	61,84	142,64	184,04	66,50	126,99	98,73	144,39	155,05	64,79
1966	35,76	12,75	57,34	71,82	23,15	71,33	28,63	89,42	98,59	35,15
1967	103,89	47,42	150,60	185,40	66,97	148,89	86,61	170,15	181,55	78,48
1968	35,82	8,45	67,63	93,98	20,39	43,23	13,96	50,22	68,14	17,82
1969	75,78	25,47	113,36	139,59	49,20	131,33	82,14	142,23	147,94	76,19
1970	7,09	0,00	12,60	18,04	4,11	4,73	0,00	12,67	16,77	1,67
1971	30,09	4,58	50,88	72,93	18,38	31,16	5,63	47,75	57,80	14,69
1972										
1973	7,99	0,00	11,49	16,37	5,08	8,91	0,00	16,50	20,88	3,31
1974	53,01	8,63	97,87	132,48	35,27	49,04	1,93	73,43	89,14	26,67
1975	15,52	0,98	30,92	43,68	11,34	14,90	0,00	29,83	37,79	7,78
1976	15,51	5,82	25,27	34,61	9,98	31,78	14,71	42,43	48,50	16,08
1977	60,52	26,60	88,34	113,17	48,68	109,97	63,83	125,75	135,83	67,03
1978	44,93	12,24	81,42	118,47	33,67	52,94	21,28	66,30	86,29	36,70
1979	18,38	7,34	27,78	37,71	11,92	31,40	13,70	42,09	48,68	16,08
1980	4,21	0,00	6,80	9,29	2,73	9,00	0,00	15,77	19,55	2,87
1981	28,99	12,41	41,82	57,95	22,27	43,95	19,93	52,16	55,25	25,97
1982	4,83	0,05	9,95	14,50	2,95	4,40	0,01	18,28	22,22	4,13
1983	7,13	2,48	11,42	14,63	4,83	17,08	2,24	23,92	28,01	7,42
1984	38,48	11,35	57,67	76,29	25,37	61,29	29,86	65,92	66,23	33,47
1985	144,01	91,59	184,35	228,15	106,10	135,06	103,15	136,81	137,19	79,05
1986	45,27	16,51	79,88	111,52	32,69	75,59	41,97	84,36	91,74	48,95
1987	13,93	4,60	19,19	24,24	9,38	28,09	11,11	36,98	41,76	11,45
1988	34,83	18,42	48,23	67,72	20,68	117,48	81,17	131,94	140,41	60,66
1989	14,50	0,15	26,97	37,61	9,28	17,78	0,01	29,69	39,50	6,82

C0 ... simulação com valores CN da calibração

C1 ... simulação com valores CN menores 40%

C2 ... simulação com valores CN maiores 40%

C3 ... simulação com valores CN maiores 80%

C/Res ... simulação com a presença de reservatório