



ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA – PB

Alexandro Medeiros Silva
Universidade Federal da Paraíba

Jorge Flávio Cazé Braga Costa Silva
Universidade Federal da Paraíba

Irla Gabriele Nunes Henriques
Universidade Federal da Paraíba

Richarde Marques da Silva
Universidade Federal da Paraíba

Resumo

Entender e representar o comportamento do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica é de grande importância para uma gestão eficiente dos seus recursos e a utilização de modelos hidrológicos vem para contribuir nesse sentido. Diante disso, esse trabalho tem por objetivo realizar a estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Reservatório Epitácio Pessoa na Paraíba, uma bacia que vem sofrendo com longos períodos de escassez hídrica e a produção de sedimentos. O estudo foi realizado para o período de 2001 a 2014, utilizando o modelo SWAT. A vazão média simulada para o período foi de 12,87 m³/s e a produção média estimada de sedimentos para a bacia foi de 0,03 (ton.ha⁻¹.ano⁻¹) durante os 14 anos analisados. Com base nas estimativas, o total de sedimentos que foram depositados no reservatório foi de aproximadamente 434 mil toneladas em 14 anos. Com isso, faz-se necessária a utilização de políticas para diminuir a produção de sedimentos da bacia e conseqüentemente minimizar o processo de assoreamento do reservatório Epitácio Pessoa, que ao longo dos anos vem causando a diminuição da sua capacidade total de armazenamento, que originalmente era de 535.680.000 m³ (DNOCS, 1963), e hoje segundo a AESA é de 411.686.287 m³.

Palavras-chave: modelo SWAT. Semiárido. erosão dos solos.

ESTIMATED SEDIMENT YIELD IN THE EPITÁCIO PESSOA RESERVOIR BASIN

Abstract

Understanding and representing the behavior of the hydrological cycle of a river basin have a great importance for an efficient management of its resources and

the use of hydrological models come to contribute in this sense. Therefore, the objective of this work is to estimate sediment yield in the Epitácio Pessoa Reservoir basin in Paraíba, a basin that is suffering from long periods of water scarcity and sediment yield. The study was carried out for the period 2001 to 2014, using the SWAT model. The mean simulated flow for the period was 12,87 m³/s and the estimated average sediment yield for the basin was 0.03 (ton/ha⁻¹.year⁻¹) during the 14 years analyzed. Based on the estimates, the total sediment deposited in the reservoir was approximately 434 thousands tons in 14 years. Thus, it is necessary to use policies to reduce sediment production in the basin and consequently minimize the silting process of the Epitácio Pessoa reservoir, which over the years has been causing a decrease in its total storage capacity, originally of 535.680.000 m³ (DNOCS, 1963), and today according to the AESA is 411.686.287 m³.

Keywords: SWAT model. Semi-arid. soil erosion

INTRODUÇÃO

A produção, transporte e deposição de sedimentos são resultados de processos hidrossedimentológicos que ocorrem naturalmente. Contudo, as ações antrópicas e a falta de um plano de manejo colaboram com a intensificação desses processos, gerando problemas sociais, econômicos e ambientais (FERNANDES, 2015). Com isso, as bacias hidrográficas situadas na porção semiárida do Nordeste Brasileiro têm sido degradadas ao longo dos anos, sobretudo, com a retirada da vegetação nativa e o uso intensificado do solo, conforme apontado por (SILVA et al., 2015).

A região semiárida do Brasil sempre enfrentou períodos de secas climatológicas e hidrológicas, com rios e reservatórios totalmente secos ou com volumes abaixo do normal, decorrente da péssima distribuição espacial e temporal da precipitação, ocasionando uma necessidade premente de racionalização do uso dos recursos hídricos (LIMA et al., 2014; REBOUÇAS, 1997; TARGINO, 2006).

Outro fator agravante para a situação da região semiárida brasileira é a alta taxa de evaporação que é uma característica da região (média de 2.000 mm/ano) que ocasiona a concentração de nutrientes e sais que se expressam na alta salinidade e na rápida eutrofização, que caracterizam a maioria dos corpos d'água da região (GUIMARÃES et al., 2005).

Nesse sentido, monitorar o comportamento hidrológico da região semiárida torna-se uma tarefa fundamental. Para isso, uma ferramenta importante para auxiliar pesquisas em bacias hidrográficas é a modelagem hidrológica. Os modelos hidrológicos são ferramentas que auxiliam no melhor entendimento, planejamento, representação do comportamento hidrológico e gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica (FERNANDES, 2015; RENNÓ, 2003). Sua aplicação é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos do ciclo hidrológico, o que tem alavancado o desenvolvimento de vários modelos nas últimas décadas, a saber: o *Watershed Erosion Simulation Program* (WESP)

elaborado por Lopes (1987); o *Kinematic Runoff and Erosion Model* (KINEROS) proposto por Woolhiser et al., (1990); o *Water Erosion Prediction Project* (WEPP) proposto por Flanagan e Nearing (1995); e o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) desenvolvido por Arnold et al., (1998).

Dentre esses modelos, o SWAT vem sendo amplamente utilizado em diversas partes do mundo (DESTA; LEMMA, 2017; LI; FANG, 2016; VIGIAK et al., 2017). Sua popularização deve-se a possibilidade de integração do modelo com um Sistema de Informações Geográficas (SIG), o que permite uma maior facilidade na manipulação dos dados de entrada e de saída do modelo. O SWAT é um modelo hidrológico que permite simular diferentes processos físicos em uma bacia hidrográfica como todos os componentes do balanço hídrico, produção de sedimentos e mensurar a qualidade da água em bacias não instrumentadas (BONUMÁ et al., 2013).

Nesse sentido, diversos trabalhos utilizando o SWAT vem sendo realizados na região semiárida brasileira, Santos (2015) aplicou o modelo para analisar os processos hidrossedimentológicos em diferentes condições de clima e uso do solo na bacia do rio Tapacurá, localizada no estado de Pernambuco, obtendo bons resultados tanto na fase de calibração e validação da vazão, quanto na verificação da produção de sedimentos. Já Bressiani et al., (2015) utilizaram o SWAT para analisar as respostas hidrológicas de diferentes fontes, escalas espaciais e temporais dos dados climatológicos para a bacia hidrográfica do rio Jaguaribe, no semiárido do Ceará.

Com isso, esse trabalho tem por objetivo realizar a estimativa da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do Reservatório Eptácio Pessoa na Paraíba, uma bacia em que vem sofrendo com longos períodos de escassez hídrica, para o período de 2001 a 2014, utilizando o modelo SWAT.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do reservatório Eptácio Pessoa (BHREP), que possui uma área de aproximadamente 12.345 km², localizada na mesorregião da Borborema no Estado da Paraíba, entre as coordenadas de 36°00' a 37°30' de longitude oeste e de 06°30' a 08°30' de latitude sul (Figura 1). Essa bacia foi escolhida em virtude da importância deste reservatório para muitos municípios de grande parte do semiárido paraibano, entre eles o município de Campina Grande, importante centro comercial, industrial e tecnológico do Estado, com uma população estimada pelo IBGE para o ano de 2015 em 405.072 habitantes.

A área de estudo possui clima semiárido, do tipo Bsh (classificação climática de Köppen), caracterizado por apresentar temperaturas médias elevadas em torno de 26°C, evaporação anual de aproximadamente 2000 mm/ano e precipitação anual média de 400 mm/ano, concentradas entre os meses de fevereiro e abril (NASCIMENTO e ALVES, 2008).

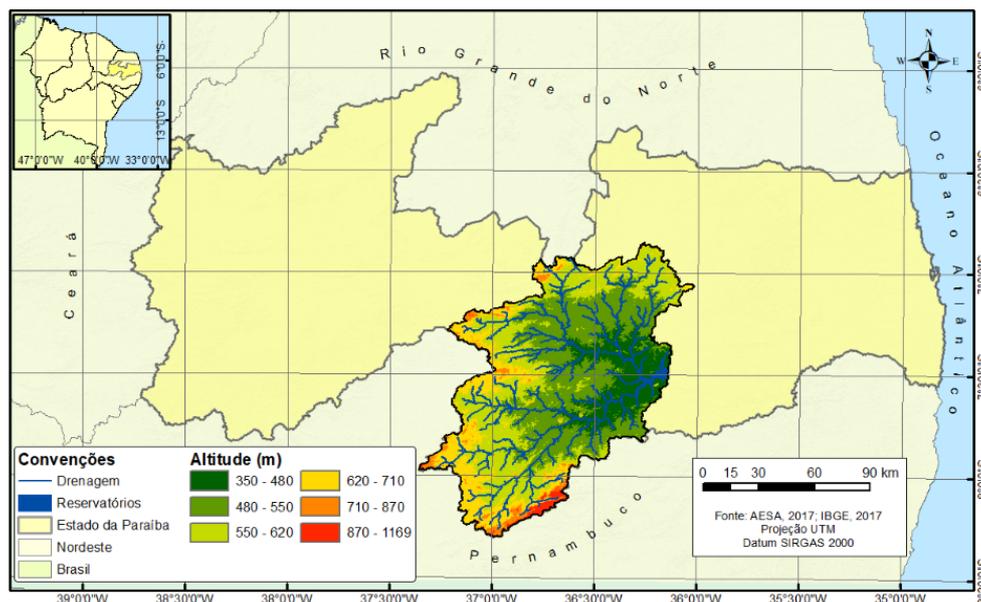


Figura 1 - Mapa de localização da bacia do reservatório Epitácio Pessoa

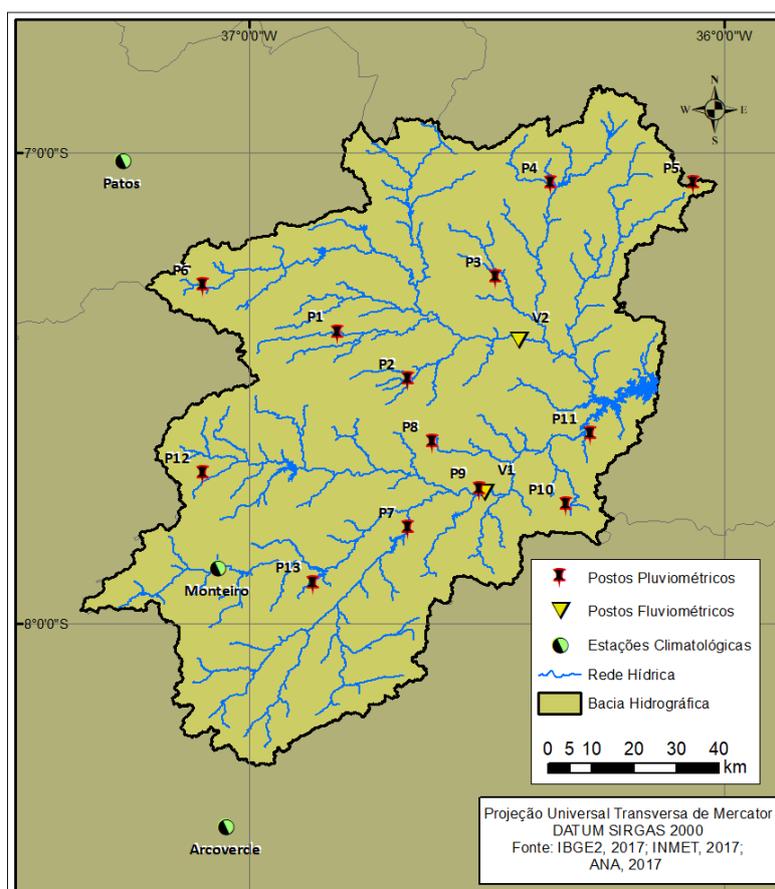
Com relação à vegetação, a área de estudo está localizada integralmente no bioma Caatinga. Esse bioma possui espécies caducifólicas e presença de plantas espinhosas e com boa adaptação às condições climáticas (BEUCHLE et al., 2015). A geologia da área de estudo é composta principalmente por rochas cristalinas, solos geralmente rasos e argilosos, pouco lixiviados, com predomínio de erosão laminar (SOUZA et al., 2009).

Dados de Entrada

Para a realização deste trabalho foram coletados dados de chuva e vazão de postos localizados dentro da área de estudo (Figura 1) para o período de 01/01/1998 a 31/12/2014. Foram selecionados 21 postos, sendo 2 fluviométricos e 13 pluviométricos. Os dados foram obtidos junto a Agência Nacional das Águas – ANA, disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br>, e também na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES A), disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br>. Os dados climatológicos utilizados no presente trabalho foram obtidos em três estações climáticas de observação de superfície convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a saber: Estação Arcoverde, Estação Patos e Estação Monteiro. Dentre as estações selecionadas, uma delas está inserida na bacia (Estação Monteiro), e as outras duas localizadas no entorno da bacia. A Figura 2 apresenta a localização destes postos na área de estudo e a Tabela 1 demonstra algumas informações dos mesmos.

Tabela 1 - Informações básicas dos postos e estações selecionados

Código	Nome	Longitude	Latitude	Altitude	Tipo
82792	Monteiro	-37,07	-7,88	604	Climatológico
82791	Patos	-37,27	-7,02	249	Climatológico
82890	Arcoverde	-37,05	-8,43	681	Climatológico
736008	Soledade	-36,37	-7,07	560	Pluviométrico
736009	Serra Branca	-36,67	-7,48	450	Pluviométrico
736011	São José dos Cordeiros	-36,82	-7,38	610	Pluviométrico
736014	Pocinhos	-36,07	-7,07	624	Pluviométrico
736016	Gurjão	-36,48	-7,27	480	Pluviométrico
736017	Coxixola	-36,62	-7,62	465	Pluviométrico
736018	Congo	-36,67	-7,80	500	Pluviométrico
736020	Caraúbas	-36,52	-7,72	460	Pluviométrico
736021	Camalaú	-36,87	-7,92	565	Pluviométrico
736022	Cabaceiras	-36,28	-7,60	390	Pluviométrico
736025	Barra de São Miguel	-36,33	-7,75	520	Pluviométrico
737004	Prata	-37,10	-7,68	600	Pluviométrico
737018	Desterro	-37,10	-7,28	590	Pluviométrico
38830000	Caraúbas	-36,50	-7,73	-	Fluviométrico
38850000	Poço de Pedras	-36,43	-7,40	-	Fluviométrico

**Figura 2 - Localização dos postos pluviométricos, fluviométricos e estações climatológicas**

O modelo digital de elevação – MDE da bacia do Açude Epitácio Pessoa foi obtido através dos dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (INPE, 2015). As informações de uso do solo na bacia foram obtidas a partir da imagem do GLOBCOVER 2009 (Figura 3a), projeto coordenado pela Agência Espacial Europeia (ESA), com resolução espacial de 300m (BONTEMPS et al., 2011). Os tipos de solo presentes e os parâmetros físicos dos solos para a bacia foram obtidos junto ao Sistema de Informação de Solos Brasileiros (EMBRAPA, 2014), que fornece um banco de dados espacial com informações sobre os solos do Brasil (Figura 3b).

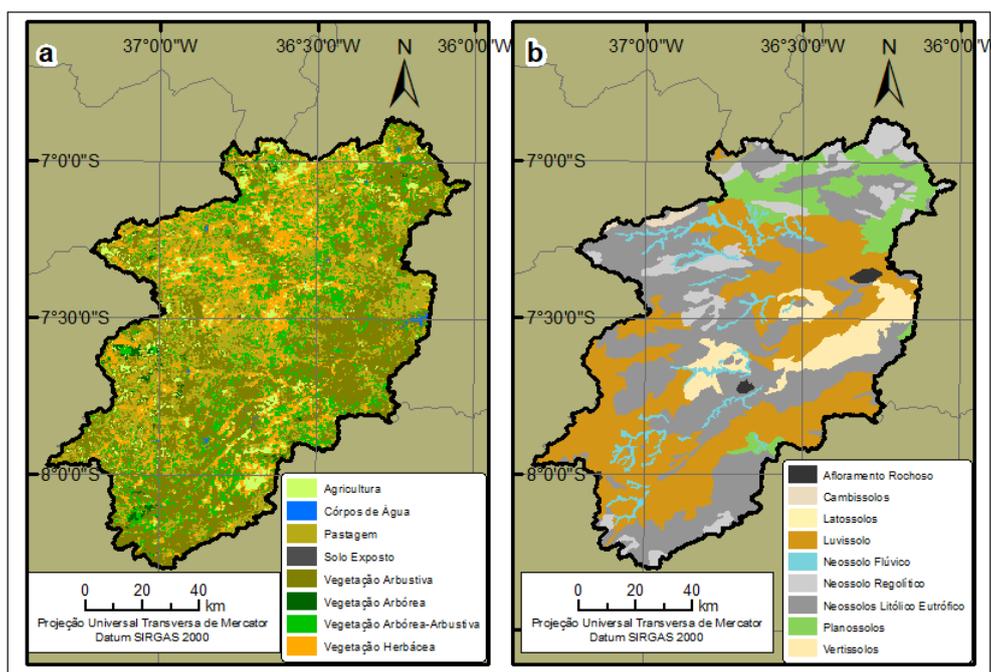


Figura 3 - Dados de entrada do modelo SWAT: (a) mapa de uso do solo, e (b) mapa de tipos de solo.

A Tabela 2 apresenta a área e o percentual de cobertura de cada tipo de uso do solo identificado na bacia. As áreas de vegetação arbustiva, pastagem e vegetação herbácea são as áreas mais representativas, recobrando 35,8%, 27,6% e 15,3% da bacia, respectivamente e sendo essas áreas mais identificadas na porção leste da bacia. Dentre os tipos de solo presentes na BHREP o tipo que possui maior área é o Neossolo Litólico Eutrófico (35,95%). Esse tipo de solo é característico por ser raso e de alta fertilidade, onde geralmente a soma dos horizontes sobre a rocha não ultrapassa 50 cm, estando associados normalmente a relevos mais declivosos. Além desse, 35,90% da bacia apresenta solos do tipo Luvisolo, que são solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta

e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E (Jacomine, 2009).

Tabela 2 - Área e percentual de uso do solo na bacia do Açude Epitácio Pessoa

Uso do Solo	Área	
	km ²	%
Solo Exposto	4,55	0,04%
Corpos de Água	29,28	0,24%
Vegetação Arbórea	125,77	1,02%
Agricultura	681,42	5,52%
Vegetação Arbóreo-Arbustiva	1.789,41	14,50%
Vegetação Herbácea	1.886,25	15,28%
Pastagem	3.407,67	27,60%
Vegetação Arbustiva	4.420,47	35,81%
TOTAL	12.344,82	100,00%

Tabela 3 - Informações básicas dos solos presentes na bacia do Açude Epitácio Pessoa.

Solo	Área	
	km ²	%
Afloramento Rochoso	68,97	0,56%
Cambissolo	70,68	0,57%
Latossolo	0,37	0,00%
Luvissolo	4.420,46	35,90%
Neossolo Flúvico	524,23	4,26%
Neossolo Regolítico	950,18	7,72%
Neossolo Litólico Eutrófico	4.426,84	35,95%
Planossolo	1.005,77	8,17%
Vertissolo	845,24	6,86%
TOTAL	12.312,74	100,00%

O modelo SWAT e as simulações dos processos hidrossedimentológicos

A primeira etapa para a aplicação do SWAT foi a discretização da bacia, realizada a partir do MDE. Nessa etapa foram identificados o direcionamento e a acumulação do fluxo de escoamento superficial no terreno, que foram utilizados para delimitar a bacia hidrográfica, a rede de canais, as sub-bacias e os seus exutórios. Em seguida, foram definidas as unidades de resposta hidrológica (URH), que são porções hidrologicamente homogêneas na bacia, para isso, utiliza-se as informações de declividade, tipos de solo e os tipos de uso do solo, preservando, desse modo, os parâmetros espacialmente distribuídos na bacia. Para estimar o escoamento superficial na bacia, foi utilizado o método Curva Número (CN), desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS), dado pela equação 1:

$$Q_{surf} = \frac{(R_i - 0,2s)^2}{(R_i + 0,8s)} \quad (1)$$

sendo Q_{surf} o escoamento superficial diário (mm); R é a precipitação do dia (mm) e s o parâmetro de retenção de água no solo, o qual varia de acordo com o uso do solo, tipo de solo e declividade.

Para a determinação da produção de sedimentos, foi utilizada a equação universal de perda de solo modificada (MUSLE), a qual substitui o fator de erosividade da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) por um fator de escoamento superficial, permitindo a simulação da produção de sedimentos para um evento. A produção de sedimentos no SWAT foi calculada pela Equação 2:

$$Y = 11,8(Q_{sup} \cdot q_p \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot CFRG \quad (2)$$

sendo Y a produção de sedimentos (t); Q_{sup} o volume escoado (m^3); q_p o pico do escoamento superficial (m^3/s); $area_{hru}$ a área da unidade de resposta hidrológica (ha); K_{USLE} o fator de erodibilidade do solo; C_{USLE} o fator de uso e manejo do solo; P_{USLE} o fator de práticas conservacionistas; LS_{USLE} o fator de topografia do terreno; e $CFRG$ o fator de fragmentos grosseiros no solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados de entrada preparados o modelo foi executado realizando as estimativas da vazão e da produção de sedimentos para a bacia do Reservatório Epitácio Pessoa 2001 a 2014. A Figura 4 apresenta um comparativo entre a precipitação anual observada e a vazão média anual simulada pelo SWAT para a bacia.

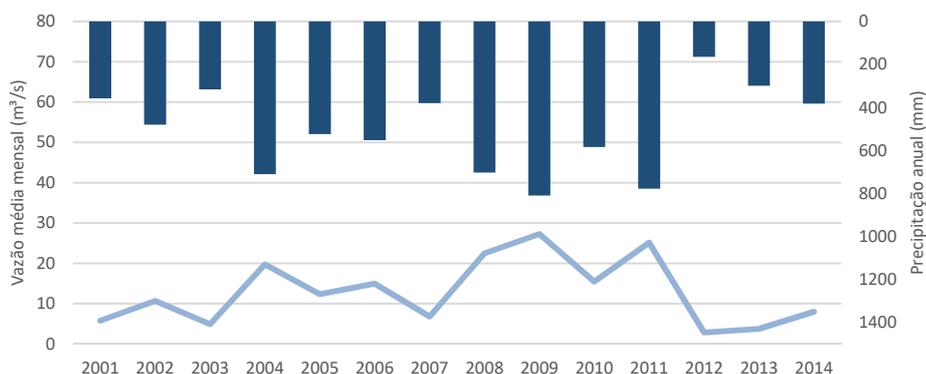


Figura 4 - Hidrograma e ietograma simulado para a bacia do reservatório Epitácio Pessoa.

Observa-se que os resultados da vazão simulada acompanharam o comportamento da precipitação, assim como o esperado, com as maiores médias

mensais de vazão sendo observadas nos anos de 2009 e 2011 onde se estimaram vazões de 27,29 m³/s e 25,14 m³/s, respectivamente. As menores vazões médias mensais simuladas foram identificadas nos anos de 2012 e 2013, com 2,84 m³/s e 3,74 m³/s, respectivamente, valores bem abaixo da média para todo o período analisado que é de 12,87 m³/s.

Além das estimativas da vazão, também foi estimada a produção de sedimentos para a BHREP utilizando o modelo SWAT. A Figura 5 apresenta a correlação entre a precipitação anual e a produção de sedimentos. Observa-se que essas duas variáveis apresentam alta correlação, mostrando que são diretamente proporcionais, ou seja, quanto maiores as precipitações registradas na bacia, maior será a produção de sedimentos e consequentemente maior será a descarga desse material no reservatório da bacia.

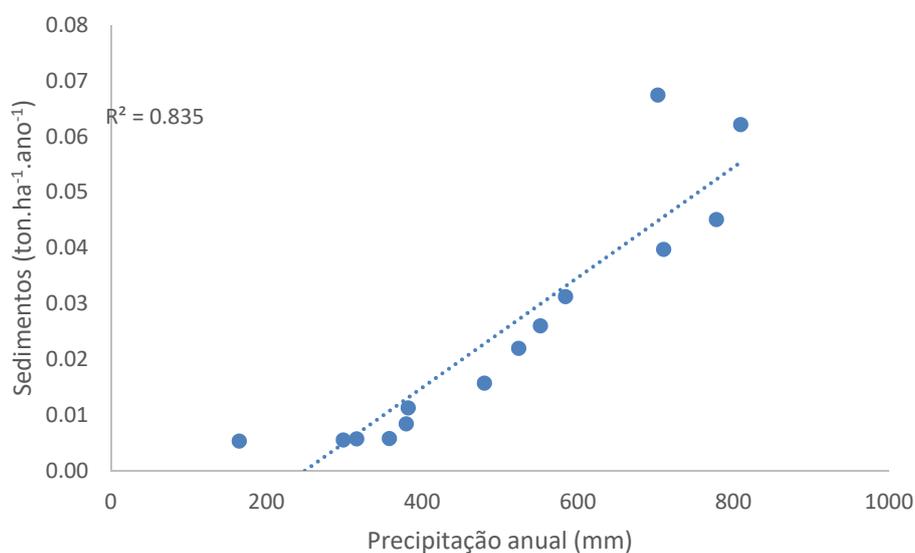


Figura 5 - Correlação entre a precipitação anual e a taxa de sedimentos para a bacia do reservatório Epitácio Pessoa.

A produção de sedimentos média estimada para a bacia foi de 0,03 (ton.ha⁻¹.ano⁻¹) durante os 14 anos analisados. Com relação à produção de sedimentos, pode-se destacar os anos de 2008 e 2012. Para o ano de 2008 identificou-se a maior taxa de produção de sedimentos estimada na ordem de 0,07 (ton.ha⁻¹.ano⁻¹), mesmo não sendo o ano que apresentou a maior média mensal de vazão (22,49 m³/s), isso pode estar associado a uma das principais características do semiárido brasileiro, as chuvas concentradas e de curta duração, mas com alta erosividade. Já para os anos de 2001, 2003, 2007 e de 2012 a 2014 foram identificadas as menores produções de sedimentos para todos os 14 anos analisados, 0,01 (ton.ha⁻¹.ano⁻¹). Para esses anos a precipitação anual da bacia foi em média 37% menor (316,56mm) do que a média de todo o período (502,9 mm)..

Além da taxa da produção de sedimentos anual, foi estimada a quantidade total de sedimentos em toneladas que são depositados no reservatório Epitácio Pessoa. A figura 6 apresenta o total de sedimentos depositados no reservatório ao

longo dos anos, totalizando aproximadamente 434 mil toneladas em 14 anos. Em média, segundo as estimativas do modelo SWAT, são depositadas aproximadamente 31 mil toneladas de sedimentos por ano no reservatório.

Dessa forma, fica clara a necessidade da utilização de políticas que possam vir a minimizar a produção de sedimentos da bacia e conseqüentemente, evitar o acelerado processo de assoreamento que acontece no reservatório Epitácio Pessoa, causando assim a perda da sua capacidade total de armazenamento, que na sua construção era de 535.680.000m³ (DNOCS, 1963), e hoje segundo a AESA é de 411.686.287m³, correspondendo a uma diminuição média de 2.214.173m³ por ano na capacidade máxima de armazenamento.

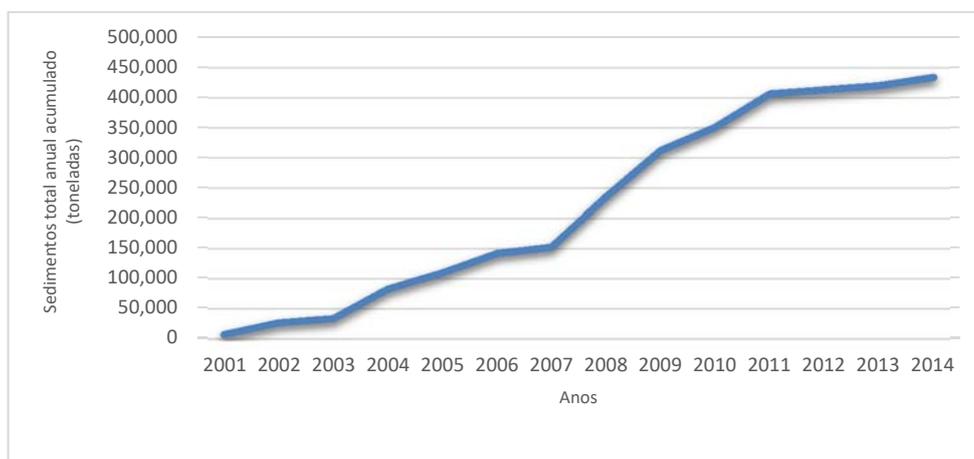


Figura 6 - Estimativa da produção de sedimentos acumulada para a bacia do reservatório Epitácio Pessoa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no exposto, observou-se que a bacia do reservatório Epitácio Pessoa apresenta forte correlação entre o comportamento da vazão e a produção de sedimentos. A estimativa da vazão apresentou resultados condizentes quando analisada junto à precipitação. Entretanto os resultados da produção de sedimentos necessitam de uma maior acurácia na calibração do modelo, tendo em vista que o mesmo foi calibrado utilizando como base apenas os dados da vazão observada. O reservatório Epitácio Pessoa sofreu uma considerável perda na sua capacidade de armazenamento, em torno de 25% em 50 anos (em média 0,5% ao ano), que aliados ao aumento da demanda podem acarretar diversos problemas nos próximos anos. O uso e ocupação da terra de forma inapropriada intensificam o processo de deposição de sedimentos, sendo necessária uma melhor gestão do espaço para minimizar o assoreamento do reservatório.

Nesse sentido, a utilização do modelo SWAT como ferramenta no auxílio do monitoramento do reservatório mostra-se bastante eficiente, principalmente, como uma forma de identificar e investigar quais áreas da bacia mais colaboram

com a produção de sedimentos, e com isso, fornecer informações que possam subsidiar planos de manejo e gestão de bacias.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R.; Large área hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resources Association*. V. 34. N° 1. Pp 73-89, 1998.
- BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F.; Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. *Applied Geography*, v. 58, p. 116–127, 2015.
- BONTEMPS, S.; DEFOURNY, P.; BOGAERT, E. V.; ARINO, O.; KALOGIROU, V.; PEREZ, J. R.; GLOBCOVER 2009 Products Description and Validation Report. *ESA Bulletin*, v. 136, p. 53, 2011.
- BONUMÁ, N. B.; CORSEUIL, C. W.; KOBIYAMA, M.; ZANIN, P. R.; CORRÊA, F.; Estimativa do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica com o modelo SWAT. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves. *Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v. 20. p. 001-008, 2013.
- BRESSIANI, D. A.; SRINIVASAN, R.; JONES, C. A.; MENDIONDO, E. M.; Effects of spatial and temporal weather data resolutions on streamflow modeling of a semi-arid basin, Northeast Brazil. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, n. 3, p. 125-139, 2015.
- DESTA, H.; LEMMA, B.; SWAT based hydrological assessment and characterization of Lake Ziway sub-watersheds, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 13, p. 122–137, 2017.
- DNOCS; Relatório açude Boqueirão. Campina Grande. 1963.
- EMBRAPA. Sistema de Informação de Solos Brasileiros. 2ª Edição, Rio de Janeiro, 306 p, 2006.
- FERNANDES, J. G. Estimativa de vazão e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio São Francisco, utilizando o modelo SWAT. Recife, 186 p., Tese de Doutorado, 2015.
- GUIMARÃES, A. O.; MELO, A. D.; CEBALLOS, B. S. O.; GALVÃO, C. O.; RIBEIRO, M. M. R.; Aspectos da gestão do Açude Epitácio Pessoa (PB) e variação da qualidade de água. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, n. 1, p. 1–8, 2005.
- INPE. Catálogo de Imagens da Divisão de Geração de Imagens. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em: 5 fev. 2015.
- JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 5 e 6, p. 161–179, 2008-2009.
- LI, Z.; FANG, H. Impacts of climate change on water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, v. 163, p. 94–117, 2016.
- LIMA, J. E. F. W.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; KOIDE, S.; Comparative hydrology: relationships among physical characteristics, hydrological behavior, and results of the SWAT model in different regions of Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 7, n. 6, p. 1187–1195, 2014.

- NASCIMENTO, S. S.; ALVES, J. J. A.; *Ecoclimatologia Do Cariri Paraibano/Ecoclimatology of the Cariri Paraibano*. Revista Geográfica Acadêmica, v. 2, n. 3, p. 28–41, 2008.
- REBOUÇAS, A. C.; Água na região Nordeste: desperdício e escassez. *Estudos Avançados*, v. 11, n. 29, p. 127–154, 1997.
- RENNÓ, C. D.; Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas. São José dos Campos, 146 p., Tese de Doutorado, 2003.
- SILVA, D. T. A.; SILVA, M. T.; SILVA, T. C.; Estimativa do aporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Submédio Rio São Francisco. *Anais XVII Simpósio brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa, p. 6534–6541, 2015.
- SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V.; Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. *Mercator – Revista de Geografia da UFC*, Ano 8, n. 16, p. 217–232, 2009.
- TARGINO, I.; MOREIRA, E.; Secas e estado no nordeste Brasileiro. In *Agricultura Familiar e Desertificação*. Org. por MOREIRA, E., Editora Universitária-UFPB, João Pessoa, p. 91-129, 2006.
- VIGIAK, O.; MALAGÓ, A.; BOURAOUI, F.; VANMAERCKE, M.; OBREJA, F.; POESEN, J.; HABERSACK, H. FEHÉR, J.; GROSELJ, S.; Modelling sediment fluxes in the Danube River Basin with SWAT. *Science of the Total Environment*, v. 599–600, p. 992–1012, 2017.

Contato com o autor: Alexandre Medeiros Silva <medeiros_alexandro@hotmail.com>

Recebido em: 10/05/2017

Aprovado em: 14/11/2017