

Eixo Temático ET-03-016 - Meio Ambiente e Recursos Naturais

IMPACTO DA ANTROPIZAÇÃO DE UMA BACIA SEMIÁRIDA SOBRE OS FLUXOS DE ÁGUA E SEDIMENTOS USANDO O MODELO SWAT

José Ribeiro de Araújo Neto¹, Pedro Henrique Augusto Medeiros²,
Maria João Simas Guerreiro³, Helba Araújo de Queiroz Palácio¹,
Júlio César Neves dos Santos⁴

¹Instituto Federal do Ceará, *campus* Iguatu - IFCE. E-mail: juniorifcelabas@gmail.com. helbaraujo23@yahoo.com.br.

²Instituto Federal do Ceará, *campus* Maracanaú - IFCE. E-mail: phamedeiros@gmail.com.

³Universidade Fernando Pessoa - UFP. E-mail: mariajoao@ufp.edu.pt.

⁴Instituto Federal do Triângulo Mineiro, *campus* Uberlândia - IFTM. E-mail: julioesarnds@gmail.com.

RESUMO

A redução da cobertura vegetal e expansão de áreas de urbanização causando maior impermeabilidade do solo em uma bacia hidrográfica, além de desencadear maiores riscos de inundações urbanas, podem gerar diversos outros problemas ambientais, sociais e econômicos. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou avaliar os impactos causados nos fluxos de água e sedimentos pela antropização de uma bacia hidrográfica semiárida, utilizando para as simulações hidrossedimentológicas o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Realizaram-se o monitoramento dos fluxos de água e sedimentos em uma bacia hidrográfica representativa da região semiárida do Brasil – Bacia Experimental em Iguatu, Ceará (BEI), com área total de 14,72 km². A coleta de dados decorreu entre 2013-2017, perfazendo cinco anos de dados hidrossedimentológicos. Foram considerados dois cenários de uso e ocupação do solo: cenário de configuração atual e o cenário de antropização de toda a bacia hidrográfica BEI considerando uma urbanização de baixa densidade (residential low density). O modelo SWAT previamente calibrado e validado mostrou-se apropriado e apto para simulações hidrossedimentológicas. O cenário de antropização da bacia gera aumentos significativos no escoamento superficial e na produção de sedimentos quando comparado com o cenário atual, causando incrementos na ordem de 70% e 30%, respectivamente. A vazão máxima apresentou um aumento de 14% para o cenário de antropização, passando a um valor médio de 3,3 m³ s⁻¹.

Palavras-chave: Escoamento superficial. Produção de sedimentos. Urbanização. Semiárido.

ABSTRACT

The reduction of vegetation cover and expansion of urbanization areas causing greater impermeability of the soil in a watershed, in addition to triggering greater risks of urban flooding, can generate several other environmental, social and economic problems. In this context, the objective of this work was to evaluate the impacts of sediment and water flows through anthropization of a semi - arid watershed, using SWAT (Soil and Water Assessment Tool) as hydrosedimentological simulations. Monitoring of water and sediment flows was carried out in a watershed representative of the semi-arid region of Brazil - Experimental Iguatu Basin, Ceará (EIB), with a total area of 14.72 km². A data collection took place between 2013-2017, making five years of hydrosedimentological data. Two scenarios of land use and occupation were considered: current scenario and anthropogenic scenario of the entire EIB basin considering a low density urbanization (low residential density). The previously calibrated and validated SWAT model was appropriate and suitable for hydrosedimentological simulations. The anthropogenic basin scenario generates significant increases in surface runoff and sediment production when compared to the current scenario, causing increases in the order of 70% and

30%, respectively. The maximum flow increased by 14% for the anthropogenic scenario, passing an average value of $3.3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Keywords: Surface runoff. Production of sediments. Urbanization. Semi-arid.

INTRODUÇÃO

A intensificação da exploração dos recursos naturais no semiárido brasileiro pelo homem tem causado a degradação do solo, dos recursos hídricos, remoção da vegetação nativa e perda da biodiversidade, que somados aos fatores climáticos da própria região podem resultar em modificações significativas dos processos hidrológicos, notadamente no processo chuva-deflúvio e sedimentológicos. Em relação aos recursos hídricos, as principais consequências da intensificação dos processos sedimentológicos são o assoreamento de mananciais e a mudança nos padrões de qualidade da água (ARAÚJO et al., 2006; PROSDOCIMI et al., 2016; SANTOS et al., 2017).

Em consequência do processo crescimento populacionais superfícies que antes possuíam cobertura vegetal, sejam florestas ou produção agrícola, e permitiam a infiltração da água, apresentam-se cada vez mais impermeabilizadas, ação que reflete diretamente no ciclo hidrológico e conseqüentemente na ocorrência de inundações. As inundações representam grandes os impactos sobre a população em uma bacia hidrográfica. Além dos problemas econômicos, as enchentes urbanas também possuem estreita relação com a saúde pública, veiculação de doenças hídricas, a deterioração da qualidade dos recursos hídricos decorrente da erosão do solo, do transporte de sedimentos e da poluição difusa.

Considerando as dificuldades no monitoramento contínuo, os modelos hidrossedimentológicos vêm tornando-se essenciais ferramentas de planejamento e decisão. Dentre os modelos hidrológicos existentes, destaca-se o SWAT (Soil and Water Assessment Tool) capaz de simular de maneira direta o escoamento superficial, a erosão e produção de sedimentos e o transporte de nutrientes em bacias agrícolas submetidas a diferentes manejos. Foi desenvolvido pelo Serviço de Pesquisa Agrícola (Agricultural Research Service – ARS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA) no início da década de 90 (NEITSCH et al., 2009).

O SWAT é um modelo de base física que permite análise de diferentes processos em bacias hidrográficas. Esse modelo foi criado com o propósito de prever o impacto das alterações no tipo e uso dos solos e no manejo aplicado e suas repostas sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos, carga de nutrientes e influência na qualidade de água de bacias hidrográficas (NEITSCH et al., 2009; ARNOLD et al., 2012).

Desde seu desenvolvimento, o modelo SWAT vem sendo aprimorado por seus desenvolvedores e diversos colaboradores em todo o mundo. Apresenta uma vasta literatura técnico-científica que tem respaldado sua aplicação na modelagem hidrológica e sedimentológica em diferentes regiões do globo (BAKER, MILLER; 2013; ZHOU et al., 2013; LIN et al., 2015; ZHANG et al., 2017; WELDE, GEBREMARIA, 2017).

OBJETIVO

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou avaliar os impactos causados nos fluxos de água e sedimentos pela antropização de uma bacia hidrográfica semiárida, utilizando para as simulações hidrossedimentológicas o modelo SWAT.

METODOLOGIA

A área em estudo compreende uma bacia hidrográfica experimental representativa do semiárido brasileiro, localizada no município de Iguatu - BEI, Ceará, Brasil (Figura 1) de domínio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Campus de Iguatu. A BEI pertence à região do Semiárido cearense, possui uma área de $14,7 \text{ Km}^2$ e altitude média de 217,8 m.

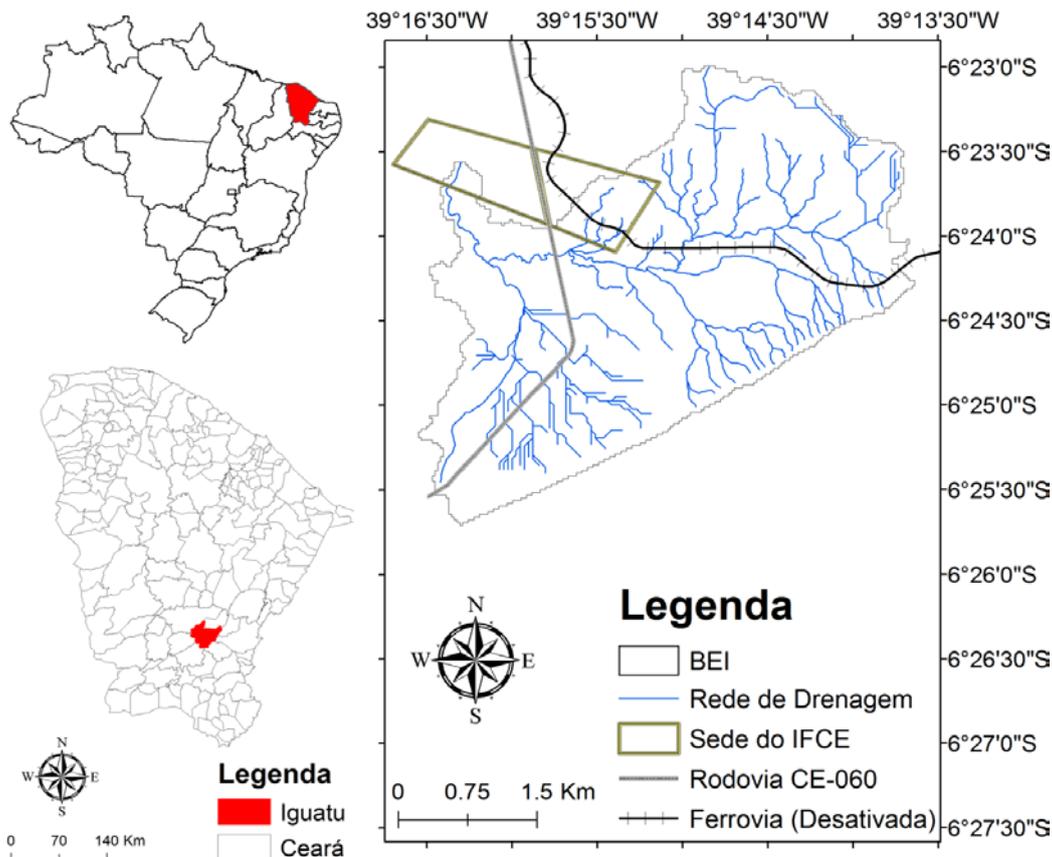


Figura 1. Localização da Bacia Experimental de Iguatu – BEI, no Estado do Ceará, Brasil.

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média sempre superior a 18°C no mês mais frio. A precipitação média histórica no município concentra-se em 85% no período de janeiro-maio, sendo cerca de 30% registrados no mês de março. A média histórica para uma série de 102 anos (1912 a 2014) foi de 868 mm ano⁻¹, e a normal climatológica dos últimos 30 anos apresentou um aumento para 1.026 mm ano⁻¹ (1985 a 2015). A evaporação potencial média é de 1.988 mm.ano⁻¹. O relevo é suave ondulado, os solos são relativamente profundos (2 a 3 m) se comparados com a média da região, com presença elevada de silte (39%) e argila (32%) nas camadas superficiais e subsuperficiais. Devido ao tipo de argila (2:1 / montmorillonite) presente no solo, é comum o surgimento de rachaduras na superfície nas épocas secas. Em sua maioria, os solos predominantes são do tipo VERTISSOLO HÁPLICO Órtico solódico e LUVISSLO CRÔMICO Pálico planossólico (EMBRAPA, 2013).

O período em estudo compreende os anos de 2013 e 2017, perfazendo um total de cinco anos de monitoramento. Para a quantificação do escoamento superficial foi construído um vertedor no exutório da bacia, tendo sido instalado um sensor para medição do nível d'água em intervalos de 5 min. A produção de sedimentos foi avaliada através dos dados medidos num turbidímetro instalado na secção de escoamento, a partir do qual estimou-se a concentração de sedimentos em suspensão, com coletas realizadas nos eventos que geraram escoamento.

A modelação hidrossedimentológica foi realizada através do modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). O modelo foi parametrizado com base nos dados disponíveis (Figura 2) relativos a altitude do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - NASA) com resolução 30 x 30 m, dados de solo disponibilizados pela FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos) e dados climáticos oriundos de duas estações meteorológicas, sendo uma convencional (FUNCEME) e outra automática (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET) dentro da bacia hidrográfica BEI. Os parâmetros da vegetação foram associados a coberturas

vegetais pertencentes à base de dados do modelo SWAT e parcialmente otimizados para as características locais medidas em campo.

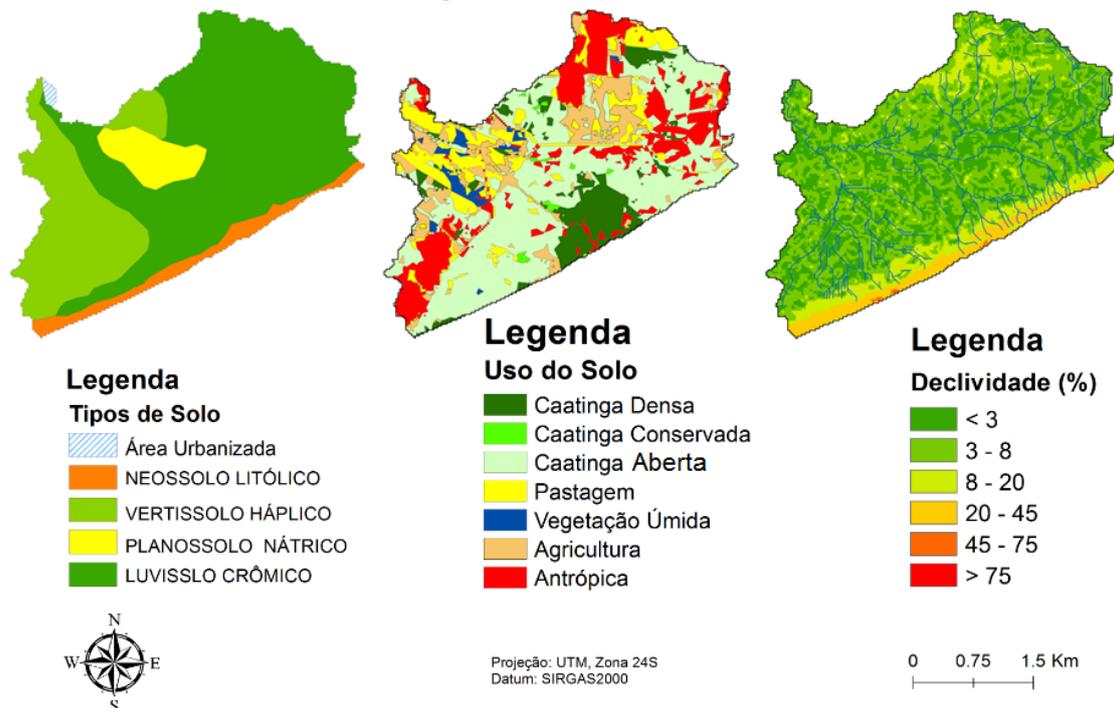


Figura 2. Base de dados para modelagem com SWAT relativa ao tipo de solo, uso e ocupação do solo e declividade na BEI, Ceará, Brasil.

Foram realizadas as etapas de calibração e validação do modelo SWAT para estimativa adequada do escoamento superficial e da produção de sedimentos. Nessa etapa observou-se que o modelo prever adequadamente o funcionamento hidrossedimentológico da bacia BEI, respondendo proporcionalmente às taxas reais de precipitação pluviométrica.

Com o modelo SWAT calibrado e validado foram realizadas as simulações hidrossedimentológicas para distintos cenários de uso e ocupação do solo. Os cenários propostos tiveram como objetivo avaliar os impactos causados no escoamento superficial e na produção de sedimentos em decorrência de antropização do solo por meio da classe com urbanização de baixa densidade (residential low density), presente no banco de dados do modelo SWAT. Para isso geraram-se dois diferentes cenários de uso e ocupação do solo, o cenário de configuração atual (Figura 3a) e o cenário de antropização de toda a bacia hidrográfica BEI (Figura 3b).

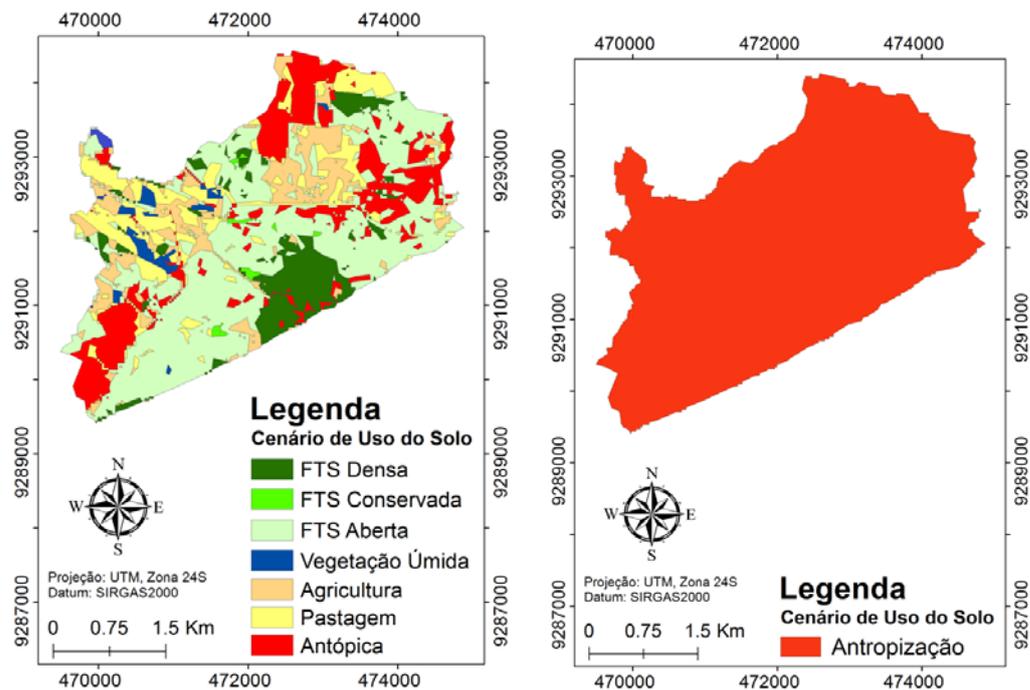


Figura 3. (a) Cenário que considera a atual configuração de uso e ocupação do solo na BEI e (b) Cenário de antropização da bacia em sua totalidade para modelação hidrossedimentológica através do SWAT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a resposta hidrológica e sedimentológica da BEI foi proposto um arranjo de uso e ocupação do solo, em a bacia hidrográfica fosse ocupada por antropização em sua totalidade. A comparação entre os cenários atual e de antropização revela que, com a expansão da área antropizada avançando sobre as áreas de Caatinga e uso agrícola/pastagem, há um aumento gradual nos fluxos de água da bacia chegando a atingir 70% de incremento durante os cinco anos de simulação em comparação com o cenário atual (Figura 4). Aumentos correspondentes no escoamento superficial em decorrência de alteração e antropização do uso do solo também foram verificados em outras bacias hidrográficas, sugerindo que mais atenção deve ser dada para ações de mitigação de enchentes e atuações para uma melhor gestão de recursos hídricos no planejamento futuro da bacia hidrográfica, caso o desenvolvimento urbano na região continue em expansão (BAKER; MILLER, 2013; ZHOU et al., 2013; LIN et al., 2015; ZHANG et al., 2017).

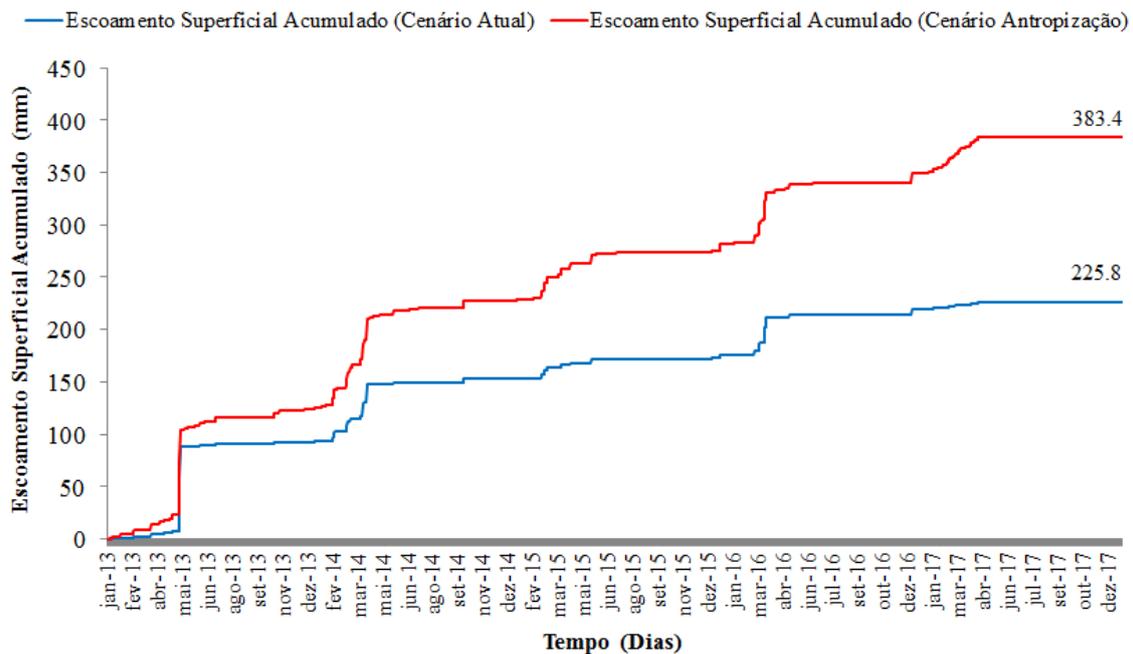


Figura 4. Escoamento superficial acumulado na BEI estimado pelo modelo SWAT entre os anos de 2013 e 2017 para os cenários propostos de uso e ocupação do solo: cenário atual e cenário de antropização de toda a bacia hidrográfica.

Para verificar a influência da antropização do solo no comportamento da produção de sedimentos na BEI, foram tomados para análise os mesmos cenários de simulação. Observa-se que com a expansão da área antropizada, há um aumento gradual nos fluxos de água da bacia chegando a atingir 34% de incremento durante os cinco anos de simulação em comparação com o cenário atual (Figura 5). Tanto em termos de aumento no escoamento superficial, observado anteriormente, como na elevação da produção de sedimentos o cenário de antropização da bacia mostra resultados bastante expressivos em termos de gestão ambiental em bacias hidrográficas de pequena e média escala no semiárido brasileiro. Destaca-se a importância da cobertura vegetal atuando como uma barreira física na redução da velocidade de escoamento superficial e agindo como filtro retendo parte dos sedimentos, cujo destino final, muitas vezes, são os reservatórios de abastecimento hídrico da região, causando assoreamento e redução de disponibilidade hídrica (ARAÚJO et al., 2006; LAMBA et al., 2016; WELDE, GEBREMARIA, 2017; PROSDOCIMI et. al., 2016).

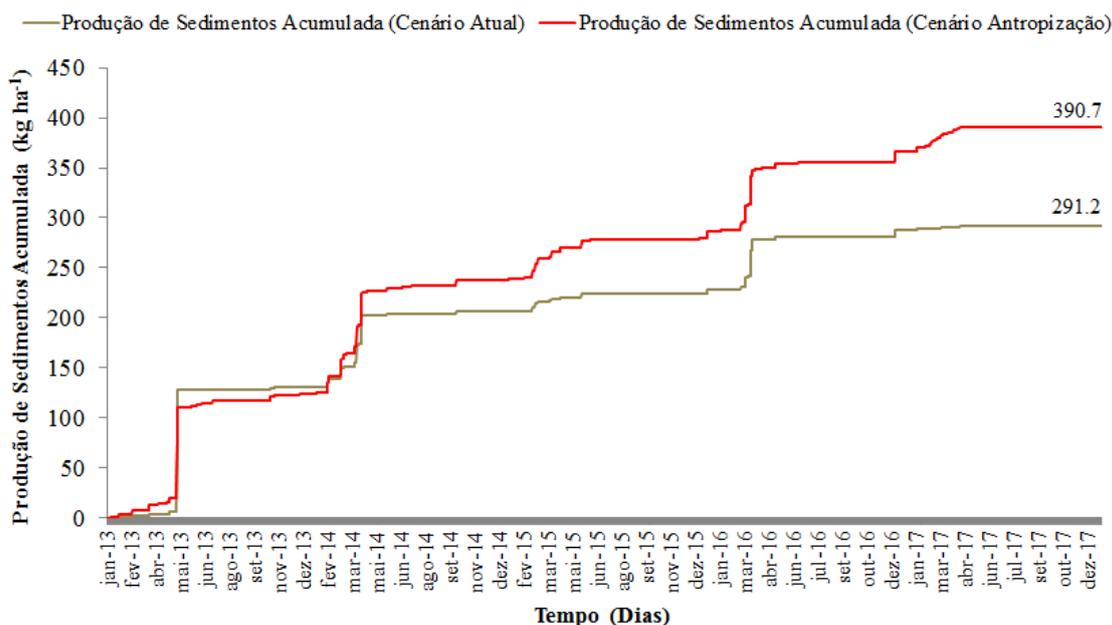


Figura 5. Produção de sedimentos acumulada na BEI estimado pelo modelo SWAT entre os anos de 2013 e 2017 para os cenários propostos de uso e ocupação do solo: cenário atual e cenário de antropização de toda a bacia hidrográfica.

A antropização modifica a superfície do solo interferindo na fase terrestre do ciclo hidrológico, pois em geral reduz a área de infiltração, aumenta o escoamento superficial, o coeficiente de escoamento e a conseqüentemente maiores produção de sedimentos. Na Tabela x verifica-se a variabilidade do escoamento superficial e da produção de sedimentos entre os anos de simulação 2013 e 2017 para a bacia BEI. Os valores de coeficiente de escoamento anual estimado na bacia BEI para o cenário atual variaram entre 1,0 e 10,4% com média de 5,6%, sendo os valores estimados pelo modelo para o cenário de antropização variando entre 5,6 e 14,0% com média de 9,9%. Tendência seguida também para os valores de produção de sedimentos, apresentando para o cenário atual valor médio de produção de sedimentos 58,2 kg ha⁻¹ e para o cenário de antropização valor médio superior 78,1 kg ha⁻¹. Mudanças na cobertura do solo podem influenciar na geração de escoamento, na disponibilidade e na capacidade de transporte de sedimentos (WESTER et al., 2014; SANTOS et al., 2017). O escoamento superficial e a produção de sedimentos ao longo da bacia hidrográfica aumentam com a diminuição da cobertura vegetal (FRYIRS, 2013; WELDE; GEBREMARIA, 2017; ZHANG et al., 2017).

Tabela 1. Resumo anual da precipitação pluviométrica medida e do escoamento superficial e a produção de sedimentos estimados pelo modelo SWAT na BEI entre os anos de 2013 e 2017 para os cenários propostos de uso e ocupação do solo: cenário atual e cenário de antropização de toda a bacia hidrográfica.

Ano	P (mm)	Cenário Atual			Cenário Antropização		
		Esc. Super. (mm)	C (%)	Prod. Sed. (kg ha ⁻¹)	Esc. Super. (mm)	C (%)	Prod. Sed. (kg ha ⁻¹)
2013	891.0	92.8	10.4	130.3	124.5	14.0	123.7
2014	959.6	60.2	6.3	76.9	102.9	10.7	114.4
2015	630.8	19.5	3.1	17.1	47.7	7.6	40.9
2016	655.0	47.2	7.2	63.8	74.8	11.4	87.3
2017	600.9	6.1	1.0	3.1	33.5	5.6	24.4
Média	747.5	45.2	5.6	58.2	76.7	9.9	78.1

Mudanças no uso do solo com o aumento da antropização e impermeabilização provocam impactos sobre o ciclo hidrológico nos seus diversos componentes. Observa-se para a bacia BEI que a antropização provocam uma elevação nas vazões máximas para todos os anos de simulação (Figura 6). Em média para o cenário atual a vazão máxima entre os anos de 2013-2017 atinge um valor de $2,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ocorrendo um aumento de 14% para o cenário de antropização, passando a um valor médio de $3,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. A redução da cobertura vegetal e expansão de áreas mais impermeabilizadas na bacia, além de desencadear maiores riscos de inundações urbanas, podem gerar diversos outros problemas ambientais, sociais e econômicos.

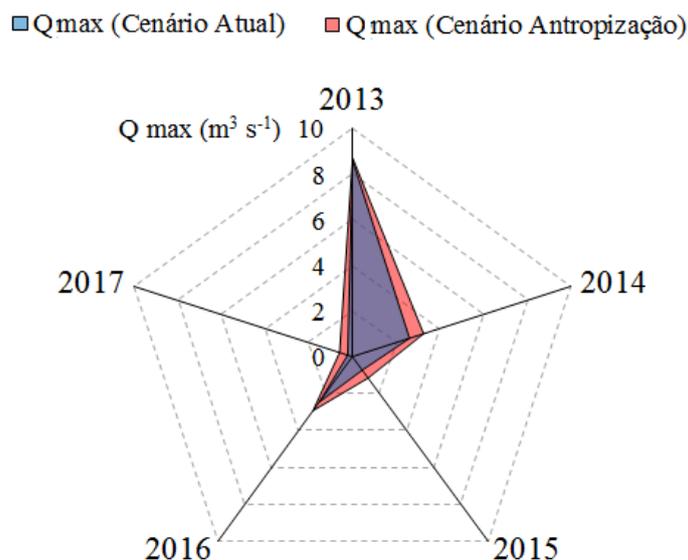


Figura 6. Vazão máxima estimada pelo modelo SWAT na BEI entre os anos de 2013 e 2017 para os cenários propostos de uso e ocupação do solo: cenário atual e cenário de antropização de toda a bacia hidrográfica.

Desta forma, esses resultados mostram que a modelagem hidrossedimentológica pode ser uma ferramenta útil, possibilitando a previsão dos impactos causados pela alteração do uso e ocupação do solo sobre a disponibilidade de água e geração de sedimentos em bacias hidrográficas no semiárido brasileiro. Esse fato torna-se mais importante quando se considera que em muitas regiões a falta de informações adequadas impossibilita que o poder público, juntamente com os usuários, tomem decisões sobre os recursos hídricos em uma bacia, podendo a estimativa dos fluxos de água e sedimentos com a utilização do modelo SWAT torna-se um instrumento útil para orientar diversas tomadas de decisões no presente e para cenários futuros em bacias hidrográficas na região semiárida brasileira.

CONCLUSÕES

- O cenário de antropização da bacia gerou aumentos significativos no escoamento superficial e na produção de sedimentos quando comparado com o cenário atual, causando incrementos na ordem de 70% e 30%, respectivamente.
- A vazão máxima apresentou um aumento de 14% para o cenário de antropização, passando a um valor médio de $3,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.
- A redução da cobertura vegetal e expansão de áreas antrópicas com maior impermeabilidade do solo, além de desencadear maiores riscos de inundações na bacia hidrográfica, podem gerar diversos outros problemas ambientais, sociais e econômicos.

AGRADECIMENTO

FUNCAP, CNPQ, CAPES e IFCE.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 51, n. 1, 2006.
- ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R. D.; VAN GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, M. W.; KANNAN, N.; JHA, M. K. SWAT: model use, calibration, and validation. **Transactions of the ASABE**. v. 55, n. 4, p. 1491-1508, 2012.
- BAKER, T. J.; MILLER, S. N. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. **Journal of Hydrology**, v. 486, p. 100 – 111, 2013.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 2013.
- FRYIRS, K. (Dis)connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. **Earth Surf. Process. Landforms**, v. 38, p. 30-46, 2013.
- LAMBDA, J.; THOMPSON, A. M.; KARTHIKEYAN, K.G.; PANUSKA, J. C.; GOOD, L. W. Effect of best management practice implementation on sediment and phosphorus load reductions at subwatershed and watershed scale using SWAT model. **International Journal of Sediment Research**, v. 31, p. 386-394, 2016.
- LIN, B.; CHEN, X.; YAO, H.; CHEN, Y.; LIU, M.; GAO, L.; JAMES, A. Analyses of land use change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. **Ecological Indicators**, v. 58, p. 55-63, 2015.
- NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool: theoretical documentation version 2009**. Temple: Blackland Research Center, 2009.
- PROSDOCIMI, M.; CERDÀ, A.; TAROLLI, P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: a review. **Catena**, v. 141, p. 1-21, 2016.
- SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; Guerreiro, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, p. 251-260, 2017.
- WELDE, K.; GEBREMARIAM, B. Effect of land use land cover dynamics on hydrological response of watershed: Case study of Tekeze Dam watershed, northern Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, p. 1-16, 2017.
- WESTER, T.; WASKLEWICZ, T.; STALEY, D. Functional and structural connectivity within a recently burned drainage basin. **Geomorphology**, v. 206, p. 362-373, 2014.
- ZHANG, S.; WEIWEI, F.; LI, Y.; YI, Y. The influence of changes in land use and landscape patterns on soil erosion in a watershed. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 34-45, 2017.
- ZHOU, F.; XU, Y.; CHEN, Y.; XU, C. Y.; GAO, Y.; DU, J. Hydrological response to urbanization at different spatio-temporal scales simulated by coupling of CLUE-S and the SWAT model in the Yangtze River Delta Region. **Journal of Hydrology**, v. 485, p. 113-125, 2013.

