



AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO USO DO SOLO SOBRE A PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIA HIDROGRÁFICA NO DISTRITO FEDERAL

*Sara Ferrigo¹, Bruno Esteves Távora², Ricardo Tezini Minoti³,
Jorge Enoch Furquim Werneck Lima⁴ & Sergio Koide⁵*

RESUMO --- As alterações no ambiente associadas às mudanças climáticas, ao desenvolvimento rural, e ao crescimento urbano podem acelerar os processos hidrossedimentológicos. Estudos que amparem a compreensão dessa dinâmica e avaliem seus possíveis impactos apresentam-se como tarefas importantes no gerenciamento de bacias hidrográficas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os possíveis impactos das alterações na precipitação, que podem ser causadas pelas mudanças climáticas, e no uso do solo sobre a produção de sedimentos na bacia experimental do Córrego Capão Comprido (~16 km²) no Distrito Federal. Para a simulação utilizou-se o modelo SWAT, que apresentou, com base em dados experimentais, resultados satisfatórios ao reproduzir a carga de sedimentos. Foram avaliados quatro cenários de alteração na precipitação baseados no relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas e dois cenários de mudanças de uso do solo baseados na intensificação da urbanização e do desenvolvimento agrícola. Em média, a relação entre a mudança na precipitação e a produção de sedimentos foi diretamente proporcional na razão de 1:2. Para estimativa da produção de sedimentos na bacia estudada, os resultados do modelo foram menos sensíveis às mudanças no uso do solo do que às mudanças no regime de chuva.

ABSTRACT --- The modifications in the environment associated with climate change, rural development, and urban growth may accelerate the hydrosedimentological processes. Studies that lead to understanding this dynamic and evaluate their potential impacts are important tasks in watersheds management. This study aimed to evaluate the possible impacts of changes in precipitation and land use on sediment yield in Capão Comprido Creek Experimental Catchment (~16 km²), in the Federal District, using the SWAT model. The model was evaluated based on experimental data and successfully reproduce the sediment load. Six scenarios were evaluated: four scenarios of changes in precipitation based on the Intergovernmental Panel on Climate Change predictions and two scenarios of changes in land use based on the urbanization intensification predictions. On average, the relation between the precipitation changes and the sediment yield, in percentage terms, is directly proportional in a 1:2 ratio. For estimating the sediment yield in the study area, the model results were less sensitive to changes in land use than to changes in rainfall regime.

Palavras-chave: SWAT, mudanças climáticas, mudança de uso do solo, produção de sedimentos

¹ Doutoranda, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Email: saraferrigo@gmail.com

² Doutorando, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Email: bruno.eng.ambiental@gmail.com

³ Professor, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Email: ricardo.minoti@gmail.com

⁴ Pesquisador em Hidrologia, Embrapa Cerrados, Brasília. Email: jorge.werneck-lima@embrapa.br

⁵ Professor, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Email: skoide@unb.br

INTRODUÇÃO

Estudos hidrossedimentológicos apresentam-se como uma tarefa cada vez mais importante no processo de planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas. É sabido que alterações do ambiente, decorrentes do desenvolvimento rural e do crescimento urbano, podem acelerar os processos de produção e transporte de sedimentos. Estudos que amparem a compreensão dessa dinâmica hidrossedimentológica e as consequências das mudanças de cenário do sistema hídrico e agrícola ainda se fazem necessários.

Atualmente, além das mudanças de uso e ocupação do solo, a comunidade científica tem se dedicado à avaliação dos possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o fluxo de sedimentos em bacias hidrográficas. Isso porque a geração de sedimentos é intimamente influenciada pela intensidade, duração e frequência das chuvas, bem como por sua distribuição espaço-temporal.

Nesse sentido, o painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC) aponta que as alterações são principalmente no aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos e na duração dos períodos de estiagem e cheia, além de outras consequências como a redução da produção das atividades agrícolas, a perda de qualidade das culturas e alterações significativas da disponibilidade hídrica em muitas regiões (Stocker *et al.*, 2013).

A avaliação de tendências de alterações climáticas globais vem sendo conduzida, principalmente, por meio da aplicação de modelagem computacional. Da mesma forma, o uso de modelos numéricos hidrossedimentológicos pode lastrear a análise da influência que as alterações climáticas podem ter sobre a produção e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas.

Dentre os programas computacionais utilizados na modelagem de bacias hidrográficas tem-se o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), desenvolvido pelo *Agricultural Research Service/United States Department of Agriculture* (ARS/USDA). O software é de acesso livre e possibilita a simulação tanto dos efeitos decorrentes de diferentes usos e manejo do solo quanto dos que podem ser gerados pelas mudanças climáticas, especialmente no que concerne a bacias hidrográficas rurais (Arnold *et al.* 1998). O modelo SWAT vem sendo amplamente utilizado em diversas regiões do Brasil e do mundo. Suas principais possibilidades de aplicação são relatadas nas revisões apresentadas por Arnold e Fohrer (2005), Gassman *et al.* (2007), Krysanova e Arnold (2008), Douglas-Mankin *et al.* (2010), Tuppad *et al.* (2011) e Garbossa *et al.* (2011).

A população do Distrito Federal (DF) cresce de forma bastante acelerada, o que vem provocando uma rápida mudança sobre o uso e a ocupação do solo, principalmente no que se refere

ao processo de conversão de áreas naturais e agrícolas em áreas urbanas. Por se tratar de uma região de nascentes, contribuindo para três das grandes bacias brasileiras (Paraná, São Francisco e Tocantins), os cursos d'água ainda são pequenos em seu território. Essa combinação de baixa disponibilidade hídrica com rápido crescimento populacional fazem do DF uma zona de risco de conflitos pelo uso da água segundo classificação da Unesco ($< 1700 \text{ m}^3\text{hab}^{-1}\text{ano}^{-1}$). Mais de 60% da água de abastecimento público da população do Distrito Federal vem de apenas uma fonte, a bacia do Lago Descoberto. Desta forma, o conhecimento sobre o comportamento hidrológico, hidrossedimentológico e do fluxo de nutrientes, bem como sobre os possíveis impactos que podem sofrer diante das projeções de mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo tratam-se de ações fundamentais para os habitantes e gestores da região.

Em recente análise de tendências quanto às mudanças das temperaturas e precipitações médias na região do Distrito Federal e seu entorno, Borges *et al.* (2014) verificaram um claro sinal de aumento das temperaturas, bem como indicativos de mudanças no regime de chuvas como, por exemplo, uma leve intensificação de seu período seco. Destaca-se que, nesta região, as chuvas se concentram nos meses de outubro a abril, com o restante do ano seco, sendo a manutenção das vazões nos rios amplamente dependentes dos processos de recarga e de geração de escoamento de base.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar possíveis impactos das alterações na precipitação devido às mudanças climáticas e das modificações do uso e ocupação do solo (cenários) sobre a produção anual de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica do Distrito Federal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A Bacia Experimental do Córrego Capão Comprido (BCCC), localizada no Distrito Federal-DF (Figura 1), apresenta uma área $16,6 \text{ km}^2$ que drena diretamente para o Lago Descoberto, atualmente, responsável por 63% do abastecimento público de água no DF.

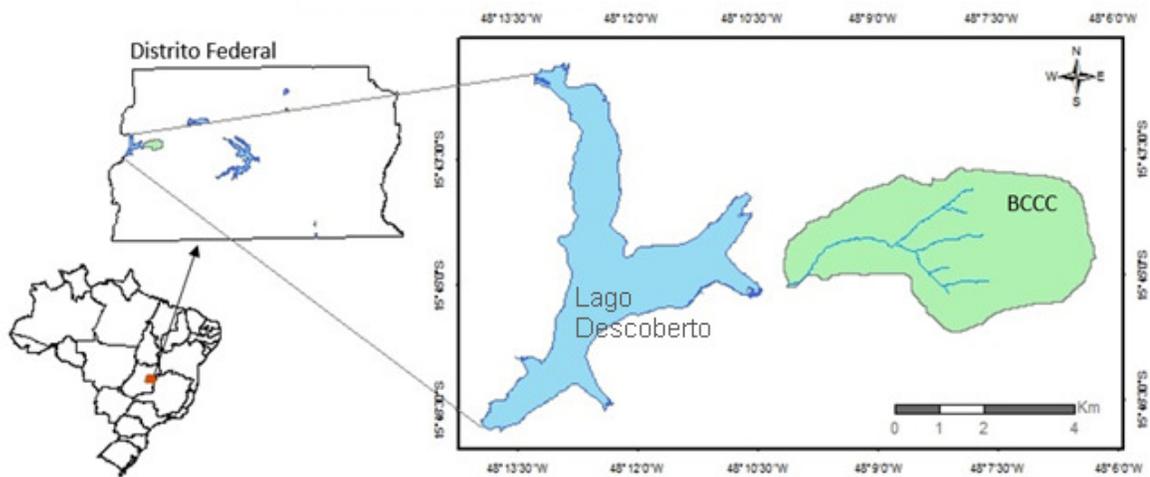


Figura 1 - Localização geográfica da Bacia Experimental do Córrego Capão Comprido em relação ao Brasil, ao Distrito Federal e ao Lago Descoberto.

Por não apresentar atividade industrial ou lançamento significativo de efluentes domésticos, a principal preocupação relacionada ao gerenciamento dos recursos hídricos na bacia é a poluição difusa, em que a expansão urbana e o desenvolvimento agrícola podem estar causando a perda gradual do solo, a poluição dos recursos hídricos e eventual redução do deflúvio e da capacidade de armazenamento de água do reservatório.

Com base na série histórica diária registrada (1971 a 2014), a precipitação média anual da bacia é de 1504,5 mm, oscilando entre 1360,0 nos anos mais secos a 1680,0 mm nos anos mais chuvosos. A estação seca é bastante rigorosa e se estende de maio a setembro. A estação chuvosa, por seu turno, está compreendida entre os meses de outubro e abril.

Duas estações pluviométricas de registros diários de precipitação, operadas pela Companhia de Saneamento Ambiental - CAESB, são influentes na área da BCCC de acordo com os polígonos de Thiessen calculados para a região (Ferrigo, 2014). O período de registros na estação Taguatinga abrange 1971 a 2014, enquanto na estação Jatobazinho esse período é de 1978 a 2010. A precipitação média mensal baseada na série histórica está apresentada na Figura 2 e mostra a definição das estações chuvosa e seca ao longo do ano.

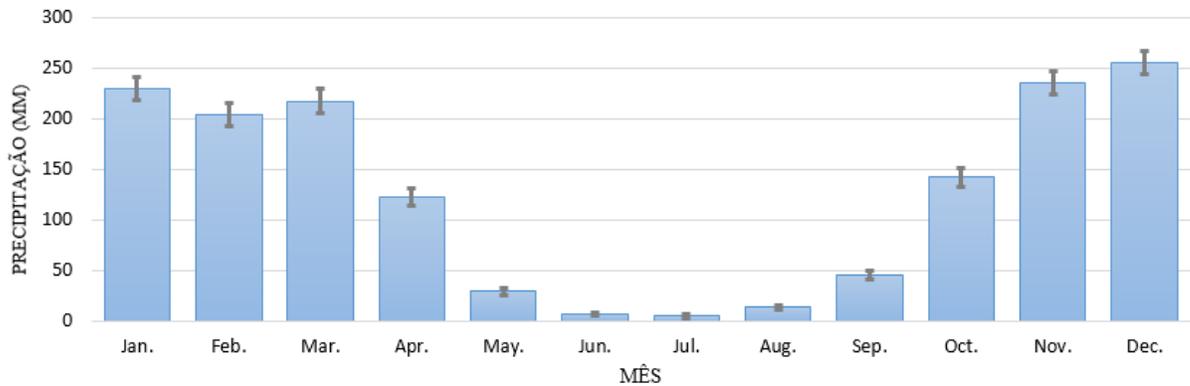


Figura 2 - Precipitação média mensal e desvio padrão médio mensal verificados nas Estações Taguatinga e Jatobazinho.

Descrição do Modelo

O modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é um modelo de simulação hidrológica em bacias hidrográficas, semidistribuído em termos espaciais, com base em tempo contínuo, e que opera em passo diário.

Srinivasan e Arnold (1994) publicaram a primeira interface do SWAT com um sistema de informações geográfica (SIG) e Arnold *et al.* (1998) descreveram uma visão geral e os principais componentes do modelo, que incluem propriedades do clima, hidrologia, temperatura do solo, crescimento das plantas, nutrientes, sedimentos, pesticidas, bactérias, patógenos e manejo solo.

O balanço hídrico é a força motriz por trás de todos os processos do SWAT porque impacta o crescimento da planta e o movimento dos sedimentos, nutrientes, pesticidas e agentes patogênicos.

No SWAT a bacia hidrográfica é dividida em sub-bacias, que podem ser subdivididas em unidades de resposta hidrológica (HRUs – *Hydrologic Response Units*) que consistem em áreas homogêneas em relação à combinação do uso do solo, da declividade e do tipo de solo. Implícito no conceito da HRU está o pressuposto de que não há interação entre elas em uma mesma sub-bacia. Essa interação é observada apenas entre as sub-bacias.

Fontes de dados

O modelo SWAT requer diferentes tipos de dados fisiográficos, tais como: topografia, uso do solo e tipos de solo. Os dados de topografia foram obtidos pelo modelo de elevação digital gerado pelas curvas de nível espaçadas em 5 metros disponibilizadas pela Terracap. O mapa de uso do solo foi elaborado manualmente na escala de 1:3.000 por meio do software ArcGIS 10.1 (Ferrigo, 2014).

A confecção dos polígonos foi realizada sobre a ortofoto de abril de 2013 disponibilizada pela Terracap. A ortofoto apresenta uma resolução espacial de 24 cm. O mapa de solo foi disponibilizado pela Embrapa (Reatto *et al.*, 2003) numa escala de 1:50.000. Tais dados utilizados na modelagem são apresentados na Figura 3.

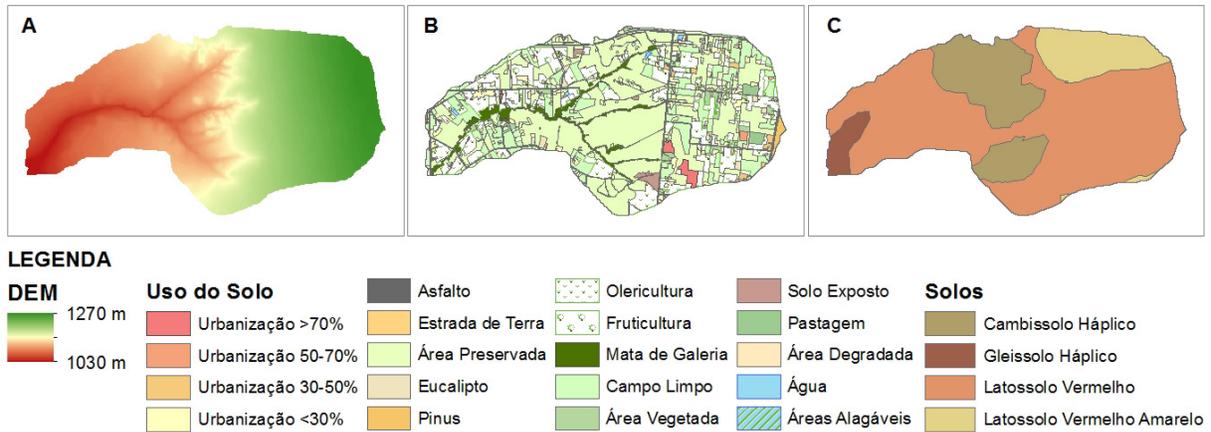


Figura 3 – (A) Modelo de elevação digital (DEM), (B) uso e ocupação do solo e (C) tipos de solo na bacia hidrográfica do córrego Capão Comprido.

A série histórica em nível diário das 2 estações pluviométricas incluídas na bacia foram disponibilizadas pela CAESB. Os dados climáticos diários de radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperaturas mínima e máxima foram disponibilizadas pelo INMET.

A caracterização ambiental foi uma etapa fundamental no processo de levantamento de dados e informações e no conhecimento da área estudada. A parametrização do solo foi feita com base no estudo de Lima *et al.* (2013), no qual apresentam o desenvolvimento da base de dados de solos específicos para a aplicação do modelo SWAT em bacias do Cerrado. A parametrização dos usos do solo foi feita pelo complemento da base de dados obtida do sistema MapWindow-SWAT, interface MWSWAT e por informações obtidas na literatura, como os valores de CN adaptados à classificação hidrológica de solos brasileiros (Sartori *et al.*, 2005a; Sartori *et al.*, 2005b e Sartori, 2010). Os dados de clima, utilizados pelo componente de gerador de tempo no modelo, foram calculados conforme recomendação do manual Input/Output (Arnold *et al.*, 2012a). As informações referentes aos fertilizantes utilizados na bacia foram constatadas de forma informal conjuntamente com a EMATER e ao GT do plano de manejo da APA do Descoberto.

Cenários de mudança climática

Para o abalçamento dos impactos das alterações da precipitação devido às mudanças climáticas, foram avaliadas as consequências de quatro possíveis cenários de alteração do padrão de precipitação indicados pelo IPCC para América do Sul em escala subcontinental. Os cenários foram extraídos do Atlas de Projeções Global e Regionais que constitui o anexo I do Relatório de Mudanças Climáticas de 2013 (Stocker *et al.*, 2013). Constituem do produto do processo em escala subcontinental de 42 modelos climáticos. Para a região centro-oeste a interpretação dos mapas de alteração de precipitação sugerem uma indefinição do cenário futuro com previsões variando de uma redução em 10% na precipitação média até um incremento de 10% em seu valor. Nesse sentido, os cenários adotados para presente estudo foram: (a) Cenário -10%, (b) Cenário -5%, (c) Cenário +5% e (d) Cenário +10%. Nos cenários (a) e (b) reduziu-se em 10% e em 5% a precipitação diária, respectivamente. Inversamente, nos cenários (c) e (d) incrementou-se 5% e 10% na precipitação diária.

Cenários de mudança de uso do solo

Os dois cenários de mudança de uso e ocupação do solo foram feitos correlacionados com o aumento da intensidade da impermeabilização do solo pelo adensamento urbano e em conexão a conversão de propriedades rurais em loteamentos de baixa densidade e de áreas de campo limpo em áreas agrícolas. A manutenção das áreas preservadas foi feita apoiada no fato de que a bacia está dentro de áreas de proteção ambiental.

Na Tabela 1 são apresentadas as áreas de uso e ocupação do solo de cada cenário de uso e ocupação do solo.

Sendo o processo de urbanização bastante agressivo no que se refere a alterações no comportamento hidrológico e hidrossedimentológico das bacias hidrográficas, é importante destacar que atualmente a bacia tem 7,56% de sua área urbanizada, passando para 15,51% no Cenário 1 e 30,34% no Cenário 2. Essas modificações podem ser consideradas como muito intensas, porém os cenários considerados são totalmente plausíveis diante do processo acelerado e desordenado de crescimento urbano do Distrito Federal. Ressaltam-se ainda as modificações nas áreas agrícolas (olericultura e fruticultura), que hoje ocupam 21,83% da área da bacia, mas foram reduzidas para 19,42% e 14,17% nos respectivos Cenários 1 e 2; bem como a área de Campo Limpo, passando dos atuais 15,13% para 9,58% e, depois, para 0,00% da área total da bacia.

Tabela 1 - Áreas de uso e ocupação do solo nos diferentes cenários.

Uso do Solo	Uso Atual		Cenário 1		Cenário 2	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<i>Urbanização de Alta Densidade</i>	14.98	0.90	18.30	1.10	34.51	2.08
<i>Urbanização de Média/Alta Densidade</i>	3.32	0.20	16.20	0.98	90.89	5.48
<i>Urbanização de Média Densidade</i>	16.20	0.98	90.89	5.48	131.83	7.95
<i>Urbanização de Baixa Densidade</i>	90.89	5.48	131.83	7.95	245.81	14.83
Asfalto	28.16	1.70	28.16	1.70	28.16	1.70
Estrada de Terra	35.07	2.12	35.07	2.12	35.07	2.12
Área Preservada	718.65	43.36	718.65	43.36	718.65	43.36
Pinus	13.61	0.82	13.61	0.82	13.61	0.82
Eucalipto	7.09	0.43	7.09	0.43	7.09	0.43
<i>Olericultura</i>	278.81	16.82	254.76	15.37	167.77	10.12
<i>Fruticultura</i>	83.02	5.01	67.16	4.05	67.16	4.05
Mata de Galeria	54.95	3.32	54.95	3.32	54.95	3.32
<i>Campo Limpo</i>	250.74	15.13	158.82	9.58	0.00	0.00
Área Vegetada	34.89	2.11	34.89	2.11	34.89	2.11
Solo Exposto	12.70	0.77	12.70	0.77	12.70	0.77
Pastagem	11.48	0.69	11.48	0.69	11.48	0.69
Água	2.89	0.17	2.89	0.17	2.89	0.17

OBS: os usos do solo em itálico foram alterados no processo de construção dos cenários.

Análise dos resultados

A modelagem inicial, sem calibração, foi avaliada pela comparação gráfica e computação dos coeficientes de eficiência Nash e Sutcliffe (NSE) e do coeficiente de determinação (R^2) em nível mensal. Esta análise foi feita de modo a avaliar visualmente e estatisticamente o comportamento da vazão simulada pelo modelo perante a vazão observada em campo. Nesse caso, os dados de vazão diária observada foram disponibilizados pela CAESB. Os dados são médias diárias de duas medições feitas por dia, em campo, uma feita às 7h00 e outra às 17h00.

A avaliação da eficiência foi feita em escala de tempo mensal, para os anos hidrológicos entre o período de 2005-2013. Essa escolha feita para a avaliação mensal do modelo SWAT vem de conclusões obtidas em trabalhos anteriores (Ferrigo, 2011; Ferrigo *et al.* 2011; Ferrigo *et al.* 2012; Ferrigo *et al.*, 2013; Ferrigo 2014). Além disso, Barnez (2004), estudando algumas sub-bacias do DF durante os anos de 2002 e 2003, calculou os erros relativos no cálculo de deflúvio e da vazão máxima com base no registro de dados a cada 15 min em comparação com as médias dos registros das 7h00 e 17h00, metodologia utilizada pela CAESB para o cálculo da vazão média diária. A autora relata que o método utilizado pela CAESB pode não ser suficiente para subsidiar estudos

hidrológicos diários em pequenas bacias hidrográficas, em função do reduzido tempo de concentração. Para a BCCC, o estudo indicou um erro relativo de 83,15% na obtenção da vazão máxima com base na aplicação da média dessas duas leituras diárias. O erro relativo médio na obtenção do deflúvio mensal para essa sub-bacia foi de 5,15%, enquanto para o deflúvio anual foi de 3,95% (Barnez, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A representação gráfica do índice de aderência, bem como do erro percentual do modelo SWAT na estimativa da vazão da bacia do córrego Capão Comprido estão apresentados na Figura 4.

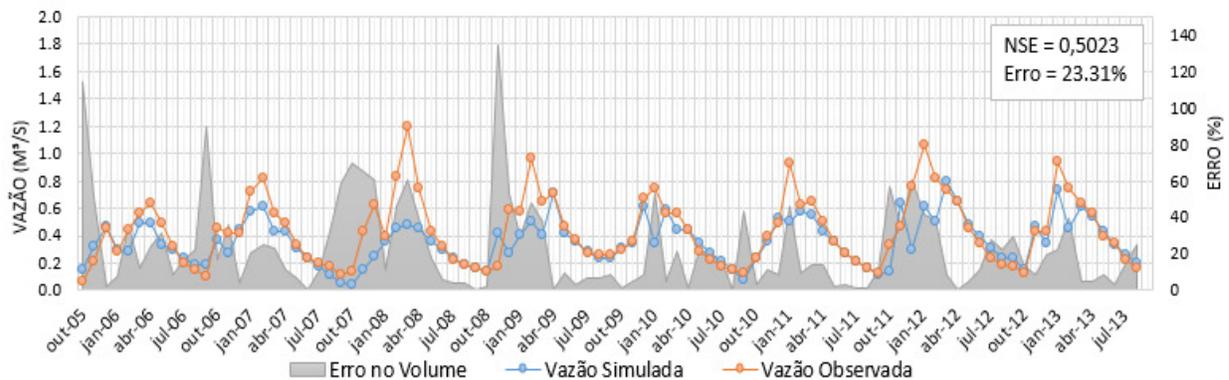


Figura 4 - Hidrogramas observado e simulado pelo modelo SWAT sem calibração e erro percentual na simulação do volume mensal na bacia do córrego Capão Comprido.

Observa-se que o modelo apresentou erros relativos à vazão observada maiores nos períodos iniciais das estações chuvosas, sendo o erro médio igual a 23,31%.

Avaliando a eficiência do modelo sem ajuste dos parâmetros por calibração é possível considerar que este se mostrou capaz de simular a vazão observada para o período analisado coerentemente. O coeficiente de Nash-Sutcliffe foi de 0,5023 enquanto o coeficiente de determinação foi de 0,6076. Esse valor é considerado um resultado satisfatório para a modelagem segundo alguns autores (Santhi *et al.*, 2001; Van Liew *et al.*, 2003; Moriasi *et al.*, 2007).

A adequada eficiência do modelo em reproduzir as vazões observadas, a despeito da ausência de fase de calibração do modelo, evidencia a importância de uma boa caracterização do sistema modelado. Isso foi possível devido à disponibilidade de valores dos parâmetros adequados às características físicas do local.

Utilizando os dados de descarga sólida observados por Lopes (2010) foi realizada a comparação com os resultados simulados pelo modelo para o ano hidrológico 2008/2009. O autor obteve a carga de sedimentos na BCCC por registros feitos em intervalos de 15 minutos. A carga sólida total observada pelo autor para aquele ano foi de 1.552,7 toneladas, enquanto a carga simulada pelo SWAT foi de 1.502,73 toneladas para o mesmo ano hidrológico, subestimando apenas 3,22% da carga de sedimentos.

Embora o modelo tenha acenado para uma boa concordância com os dados observados para aquele ano em particular, a ausência de uma série histórica de geração de cargas de sedimento não permite avançarmos na discussão da aderência do modelo SWAT para essa variável. Ainda assim, promoveu-se a simulação da geração de sedimentos para os anos hidrológicos de 2005 a 2013.

A carga anual de sedimentos para cada cenário de mudança na precipitação é apresentada na Figura 5. É possível observar um comportamento esperado em que o aumento da carga de sedimentos foi progressivo ao aumento da precipitação e inversamente quando avaliado os cenários de redução da precipitação. Para os 8 anos analisados verificou-se que no Cenário -10% houve uma diminuição média de 20,61% na carga de sedimentos, enquanto no Cenário -5% essa redução foi de 10,68%. Um aumento de 23,39% foi observado na avaliação do Cenário +10% enquanto no Cenário +5% foi avaliado um acréscimo de 11,39% na produção média anual de sedimentos. Nota-se, também, que o modelo não simula a carga de sedimentos linearmente às mudanças na precipitação.

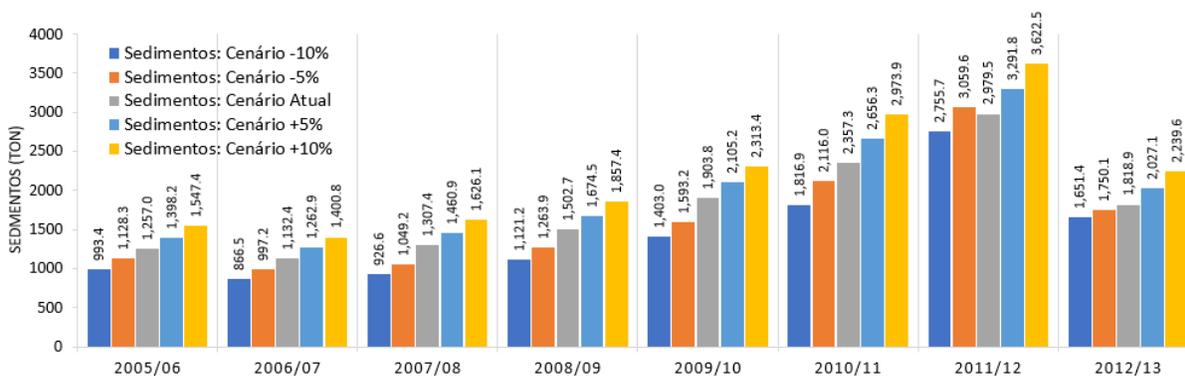


Figura 5 - Resultados da simulação da carga anual de sedimentos na BCCC com base em diferentes cenários de mudança climática.

Do mesmo modo, a carga anual de sedimentos para os dois cenários de mudança do uso e ocupação do solo está disposta na Figura 6.

Atenta-se que para o cenário 1 houve um acréscimo médio de 6,45% na produção anual de sedimentos enquanto que para o cenário 2 houve um decréscimo de 3,34%. De certa forma, diante dos parâmetros utilizados neste trabalho, com base em dados da literatura, o resultado fica dentro do esperado, em que a substituição de áreas agrícolas por áreas urbanas diminui o processo erosivo. Porém vale ressaltar que nesse processo de conversão há a exposição e o revolvimento do solo por um longo período para a construção, o que agrava significativamente os processos erosivos, mas que nessa modelagem não é considerado.

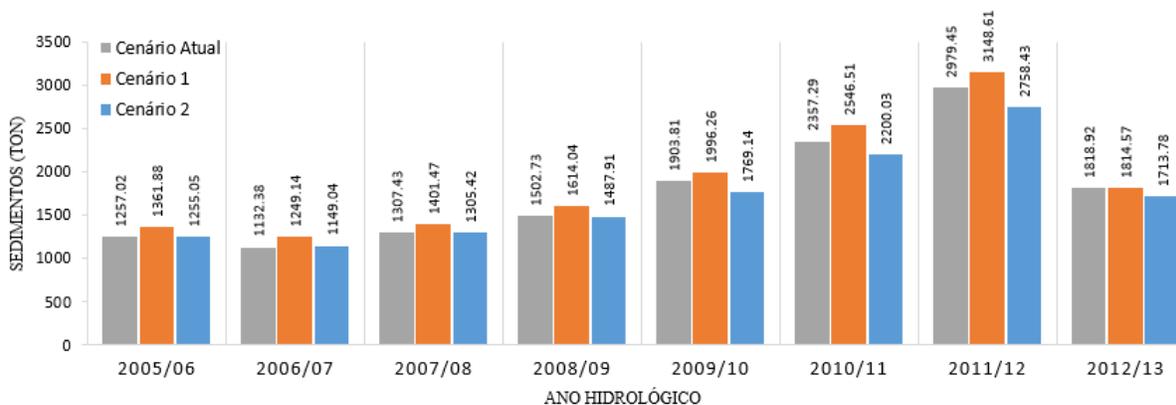


Figura 6 - Resultados das simulações da carga anual de sedimentos na BCCC considerando diferentes cenários de mudança de uso e ocupação do solo.

Os resultados das simulações de geração de sedimentos permitiram confrontar os diferentes cenários de alterações na precipitação advindas de possíveis mudanças climáticas com cenários de mudança de uso e ocupação do solo. Diferentemente do que poderia se esperar, um incremento de 5% na precipitação mostrou ter efeitos de maior proporção sobre a geração de sedimentos que uma intervenção no uso e ocupação do solo na bacia. Contudo, cabe destacar que no Cenário 1 houve uma mudança no uso e na ocupação do solo em pouco mais de 15% da área da bacia e, no Cenário 2, de 45% da mesma. Esses dados são um indicativo de que os resultados das simulações foram mais sensíveis às mudanças climáticas do que às mudanças do uso e da ocupação do solo.

Esses dados reforçam a importância da incorporação dos cenários de mudanças climáticas no planejamento do uso do solo e dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas da região. É bem verdade que a adoção de boas práticas de manejo agrícola, a manutenção das áreas de preservação permanente e de reserva legal podem mitigar tais impactos. Em contraponto, alterações na precipitação como previstas pelo IPCC e simuladas no presente trabalho são fatores que fogem ao controle e a vontade das boas técnicas de engenharia. Isso posto, os resultados apresentados

ressaltam a importância do estudo e o aprimoramento das técnicas de planejamento do espaço das bacias hidrográficas com o intuito de minimizar os possíveis impactos das mudanças globais sobre os recursos hídricos.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos não levaram em consideração as alterações na vegetação, nas culturas e práticas agrícolas, e alterações climatológicas locais, induzidas pelas mudanças climáticas. No entanto, considerando apenas os fatores isolados verificou-se que:

- a) Em média, considerando os cenários analisados, a relação entre a mudança na precipitação e a produção de sedimentos na bacia foi diretamente proporcional na razão de 1:2. Isso significa que, por exemplo, uma redução de 5% nos totais precipitados por dia deve gerar uma redução na produção anual de sedimentos de aproximadamente 10%;
- b) No que se refere ao impacto das mudanças no uso e ocupação dos solos sobre a produção de sedimentos, no Cenário 1, verificou-se um acréscimo médio de 6,45% na produção anual de sedimentos para cerca de 15% de mudança no uso e na ocupação do solo. Já para o Cenário 2, houve um decréscimo de 3,34% na produção de sedimentos para cerca de 45% de mudanças no uso e na ocupação do solo na área da bacia.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, ao CNPq, ao FUNDO CLIMA/MMA pelo apoio para a realização deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

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. (2012a) *SWAT: Model Use, Calibration, and Validation*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Transactions of the ASABE, v. 55(4), p. 1491-1508.

ARNOLD, J. G. KINITY, J. R. SRINIVASAN, R. WILLIAMS, J. R., HANEY, E.B. NEITSCH, S. L. (2012b) *Input/Output Documentation Version 2012*. Texas Water Resources Institute. p. 650.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R. MUTTIAH, R. S. WILLIAMS, J. R. (1998) *Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development*. Journal of the American Water Resources Association, v. 34, n. 1, p. 1-17.

ARNOLD, J.G., FOHRER, N. (2005). *SWAT2000: Current capabilities and research opportunities in applied watershed modelling*. Hydrological Processes, v. 19, 563-572.

BARNEZ, A. S. (2004). *Análise da influência do intervalo de tempo de registro de dados de linígrafos e pluviógrafos em estudos hidrológicos de pequenas bacias hidrográficas*. Dissertação de mestrado, Publicação PTARH.DM-076/2004, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 118 p.

BORGES, P.A.; BARFUS, K.; WEISS, H.; BERNHOFER, C. (2014). *Trend analysis and uncertainties of mean surface air temperature, precipitation and extreme indices in CMIP3 GCMs in Distrito Federal, Brasil*. Environ. Earth Sci., (DOI 10.1007/s12665-014-3301-y).

DOUGLAS-MANKIN, K.R.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G. (2010) *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model: Current developments and applications*. Trans. ASABE, v. 53(5), p. 1423-1431.

FERRIGO, S. (2011). *Utilização do modelo SWAT na estimativa de produção de sedimentos na bacia do córrego capão comprido no Distrito Federal*. Trabalho de Conclusão do Curso, Instituto de Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC. 90 p.

FERRIGO, S.; MINOTI, R. T.; KOIDE, S. (2011) *Utilização do modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) na estimativa de produção de sedimentos decorrentes de diferentes cenários de uso do solo na bacia do córrego Capão Comprido no Distrito Federal*. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. Anais Porto Alegre: ABRH.

FERRIGO, S.; MINOTI, R.; ROIG, H. L.; KOIDE, S. (2012) *Análise do modelo SWAT na simulação de produção de sedimentos quando calibrado unicamente para a vazão em uma pequena bacia hidrográfica rural*. X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Foz do Iguaçu, p. 1-18.

FERRIGO, S.; MINOTI, R.; ROIG, H.; KOIDE, S. (2013) *Avaliação da utilização de diferentes métodos na calibração automática do modelo SWAT*. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves, Brasil, 8 p.

FERRIGO, S. (2014). *Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do lago Descoberto – DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-159/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 164 p.

GARBOSSA, L.H.P.; VASCONCELOS, L.R.C.; LAPA, K.R.; BLAINSKI, E.; PINHEIRO, A. (2011). *The use and results of the Soil and Water Assessment Tool in Brazil: A review from 1999 until 2010*. 2011 International SWAT Conference & Workshops, Toledo – Espanha, p. 27.

GASSMAN, P. W., M. REYES, C. H. GREEN, AND J. G. ARNOLD. (2007) *The Soil and Water Assessment Tool: Historical development, applications, and future directions*. Transactions of the ASABE, v. 50(4), p. 1211- 1250.

KRYSANOVA, V.; J. G. ARNOLD. (2008). *Advances in ecohydrological modeling with SWAT: A review*. Hydrological Sciences Journal, v. 53(5), p. 939-947.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M.; STRAUCH, M.; LORZ, C. (2013) *Desenvolvimento de base de dados de solos para a aplicação do modelo SWAT em bacia do bioma cerrado*. In. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17 a 22 de novembro de 2013, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 8 p.

LOPES, G. R. (2010) *Estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos na bacia do córrego do Capão Comprido, DF*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recurso Hídricos, Departamento de Engenharia Civil Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, p. 123.

MORIASI D. N; ARNOLD J. G; VAN LIEW M. W; BINGER R. L; HARMEL R. D; VEITH T. (2007) *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Trans ASABE, v. 50, p. 885-900.

REATTO, A., MARTINS, E. S., CARDOSO, E. A., SPERA, S. T., CARVALHO JR., O. A. C., SILVA, A. V. E FARIAS, M. F. R. (2003). *Levantamento de reconhecimento de solos de alta intensidade do alto curso do Rio Descoberto, DF/GO, escala 1:100000*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento Nº 92. EMBRAPA Cerrados, Distrito Federal, 2003.

SANTHI, C.; ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R.; DUGAS, W.A.; SRINIVASAN, R.; HAUCK, L.M. *Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources*. Journal of the American Water Resources Association. Vol. 37, n. 5, 2001.

SARTORI, A. (2010) *Desenvolvimento de critérios para classificação hidrológica de solos e determinação de valores de referência para o parâmetro CN*. Tese de Doutorado. Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 237 p.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. (2005a) *Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 2: Aplicação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, p. 19-29.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. (2005b) *Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Parte 1: Classificação*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, p. 5-18.

SRINIVASAN, R., ARNOLD, J.G. (1994) *Integration of the basin-scale water quality model with GIS*. Water Resources Bulletin, v. 30, n. 03, p. 453-462.

STOCKER, T. F., et al. (2013) *Climate change 2013: The physical science basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5)(Cambridge Univ Press, New York).

TUPPAD, P., K. R. DOUGLAS-MANKIN, T. LEE, R. SRINIVASAN, AND J. G. ARNOLD. (2011). *Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic/water quality model: Extended capability and wider adoption*. Trans. ASABE, v. 54(5): 1677-1684.

VAN LIEW, M.W.; ARNOLD, J.G.; GARBRECHT, J.D. (2003). *Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models*. Trans ASABE, v. 46, p. 1539-1551.