

A MODELAGEM AMBIENTAL COMO INSTRUMENTO DA GESTÃO DOS RECURSOS NATURAIS EM ESCALA DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA

Mariana da Silva de Siqueira (*), Eliton Sancler Gomes Sales, Hugo Morais de Alcântara

* Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/CDSA, siqueira.mariana@gmail.com

RESUMO

A aplicação de modelos de simulação ambiental tem favorecido o entendimento da dinâmica dos processos erosivos em escala de bacias, sendo uma valiosa ferramenta de previsão de cenários futuros baseados em alterações de uso e ocupação do solo. O presente trabalho tem como objetivo avaliar cenários alternativos de uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica não instrumentadas usando o modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) para fins de planejamento ambiental. Uma pequena bacia com área de drenagem de 3,23 km², foi escolhida para estimar a lâmina escoada e a produção de sedimentos considerando quatro cenários de uso e ocupação do solo. Quando comparamos os resultados de lâmina escoada e produção de sedimentos obtidos por meio dos três cenários alternativos de uso e ocupação do solo com o cenário atual, o cenário 1, que representa a condição de cobertura vegetal e uso do solo na época dos trabalhos de campo, foi possível observar uma variação de - 89,6% a + 19,0% para a lâmina escoada anual e de - 100,0% a + 20,0% para a produção anual de sedimentos. O modelo de simulação SWAT pode ser utilizado como um importante instrumento de apoio ao planejamento de uso e ocupação do solo na escala de bacia hidrográfica.

PALAVRAS-CHAVE: Semiárido, Erosão, Uso do Solo.

INTRODUÇÃO

Em regiões áridas e semiáridas a variabilidade pluviométrica espacial e temporal, as alterações de uso e ocupação do solo, os tipos de solo e as condições climáticas adversas, quando associados a ausência de práticas conservacionistas, influenciam diretamente na geração do escoamento e na produção de sedimentos em bacias hidrográficas. Estudos experimentais em escalas de parcelas e microbacias têm sido realizados em diversas partes do mundo para quantificar a perda de solo e a geração do escoamento, mas a manutenção destas pesquisas em longo prazo depende do apoio financeiro por meio de agências governamentais e não governamentais de fomento, e nem sempre ocorrem com a frequência necessária para o entendimento dos mecanismos e processos que favorecem a erosão. Neste sentido a utilização de modelos matemáticos de base física para a simulação ambiental pode auxiliar consideravelmente no entendimento dos processos erosivos em áreas não instrumentadas quando se recorre ao conceito de regiões hidrologicamente homogêneas.

A aplicação de modelos matemáticos de simulação ambiental tem favorecido o entendimento da dinâmica dos processos erosivos em escala de bacias, sendo uma valiosa ferramenta de previsão de cenários futuros baseados em alterações de uso e ocupação do solo, e podem auxiliar no processo de tomada de decisão de gestores ambientais ou até mesmo de produtores rurais, haja vista a necessidade de um planejamento adequado de uso e ocupação do solo em nível de propriedade rural. Neste trabalho foi usado o modelo SWAT para avaliar cenários alternativos de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica não instrumentada para fins de planejamento ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

A unidade de estudo utilizada neste trabalho é conhecida como bacia do Riacho das Cabras, uma pequena bacia hidrográfica com área de drenagem de 3,23 km², sendo uma sub-bacia da Bacia Experimental de Poço de Pedras, que por sua vez é uma sub-bacia da Bacia Representativa e Experimental do rio Taperoá, localizada no município de São João do Cariri, PB, Nordeste do Brasil, foi escolhida por possuir intensa atividade pecuária e agrícola de baixo desempenho devido ao nível de degradação ambiental que se encontra.

Foram considerados quatro cenários de uso e ocupação do solo para a realização das simulações e estimativa da lâmina escoada e da produção de sedimentos por meio do modelo de simulação ambiental SWAT que foi desenvolvido no início dos anos 90 pelo Dr. Jeff Arnold do United States Department of Agriculture (USDA)

para auxiliar os gestores de recursos hídricos na avaliação de impactos de manejo e clima no abastecimento de água e na poluição de fontes não pontuais em bacias hidrográficas (NETO et al., 2011).

Para utilização do modelo SWAT são necessários dados específicos, sendo indispensáveis, informações sobre o uso e ocupação do solo, relevo e tipos de solo da área de estudo. As classes de solos encontradas no Estado da Paraíba foram disponibilizadas por meio da AESA (PARAÍBA, 2004). De acordo com essas classes e baseando-se na reclassificação de solos proposta por meio da EMBRAPA (1999) a bacia está localizada em uma área com predominância do tipo Luvissoilo Crômico Órtico Típico. A condutividade hidráulica saturada para manchas deste tipo de solo na Bacia Representativa de Sumé, foi determinada por Lopes (2003) que encontrou o valor de 3,5 mm/h e grupo hidrológico do tipo C associado à pedologia da bacia. A porosidade foi determinada por Rawls et al. (1982) com valor de 0,398. De acordo com Neto (2011) a densidade aparente e o albedo foram estabelecidos como sendo 1,65 g/cm³ e 0,17 respectivamente. As características físicas e morfológicas da bacia hidrográfica foram obtidas a partir do Modelo Digital de Elevação gerado pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2004).

Na Figura 1 podemos observar no mapa a classificação da declividade para a bacia e na Tabela 1 algumas características da bacia do Riacho das Cabras.

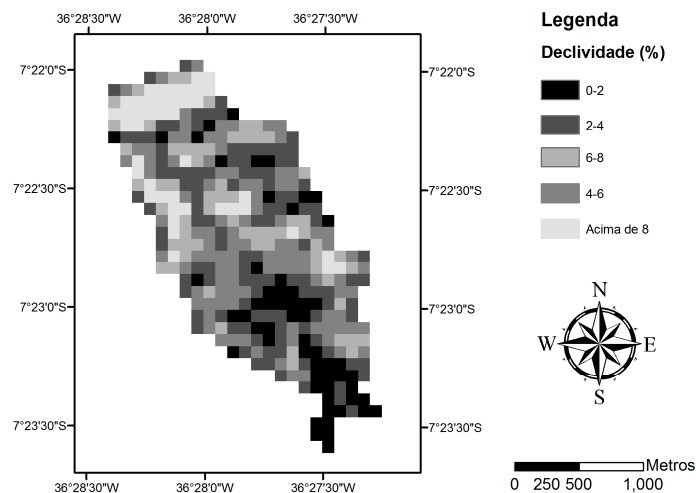


Figura 1: Mapa de declividade da bacia do Riacho das Cabras. Fonte: Autora do Trabalho.

Tabela 1. Características físicas e morfológicas da bacia Riacho das Cabras - Fonte: Autores do trabalho.

Características	Valor
Área (km ²)	3.23
Perímetro (km)	8.71
Comprimento axial (km)	2.97
Índice de compactidade	1.64
Índice de forma	0.25
Densidade de drenagem (km.km ⁻¹)	3.14
Altitude máxima (m)	513
Altitude média (m)	455
Altitude mínima (m)	422

As características de uso e ocupação do solo foram obtidas a partir da classificação supervisionada de imagens do satélite LANDSAT 5. Quatro classes de cobertura vegetal foram identificadas após o processamento da imagem sendo consideradas como Caatinga Arbórea Arbustiva Fechada (AAF), Caatinga Arbórea Aberta

(AAA), Honey Mesquite (MESQ) e Range-Southwestern US (SWRN). Na base de dados da interface ArcSWAT há informações referentes à *Prosopis glandulosa*, cuja denominação é “Honey mesquite”, onde realizamos analogia com a Algaroba (*Prosopis juliflora*) por se tratar de espécies do mesmo gênero. A cobertura Range-Southwestern US (SWRN), já possui parâmetros inseridos na base de dados do modelo e foi selecionada por apresentar semelhança com as condições de áreas com solo exposto (Neto, 2011). Os estudos foram realizados usando dados climáticos do acervo da Bacia Experimental de São João do Cariri (BESJC), obtidos através de monitoramento nas estações climatológicas de superfície convencional e automática).

GERAÇÃO, SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS

A parametrização do modelo para a bacia foi realizada com base no banco de dados de parâmetros do SWAT e de calibração do mesmo modelo para a Bacia Representativa de Sumé (BRS), sub-bacia de Umburana, da mesma região hidrológica (Taveira, 2012). A caracterização pedológica realizada para as BES e BESJC indica que não há escoamento de base e desta forma os parâmetros que definem a quantidade de água que recarregam os aquíferos foram minimizados (Taveira, 2012).

Para realização da simulação do escoamento e da produção de sedimentos, por meio do SWAT foi utilizada uma série pluviométrica observada nas estações climatológicas de superfície e automática da Estação Experimental de São João do Cariri, PB, de dezoito anos de dados, que contemplou o período de 1995 a 2012. Neste trabalho o período de aquecimento do modelo foi de três anos e sendo assim, foram obtidos resultados de lâmina escoada e produção de sedimentos para o período de quinze anos compreendendo os anos de 1998 a 2012.

Foram montados e simulados quatro cenários de uso e ocupação do solo incluindo o cenário correspondente ao período de trabalhos de campo realizados por Alcântara (2013) nos anos de 2012 e 2013, denominado de cenário 1, para a Bacia do Riacho das Cabras. No cenário 2, as áreas com cobertura Arbórea Arbustiva Fechada (AAF) foram substituídas por Arbórea Arbustiva Aberta (AAA), e entre MESQ e SWRN, com destinação da área de solo exposto para pousio e recomposição natural da vegetação. Para o Cenário 3 foram consideradas alterações da vegetação AAF por MESQ, AAA por SWRN, e as áreas com os tipos de coberturas vegetais MESQ e SWRN por AAF e AAA, respectivamente. No cenário 4 as coberturas vegetais do tipo AAF e AAA foram substituídas por SWRN e MESQ, e as coberturas vegetais MESQ e SWRN foram substituídos por AAA e AAF, dessa forma uma maior área da bacia apresentaria cobertura mais densa em relação aos cenários 2 e 3.

Na Figura 2 são apresentados os quatro cenários propostos de ocupação do solo em que são representados por (a) o cenário 1, (b) o cenário 2, (c) o cenário 3 e (d) o cenário 4.

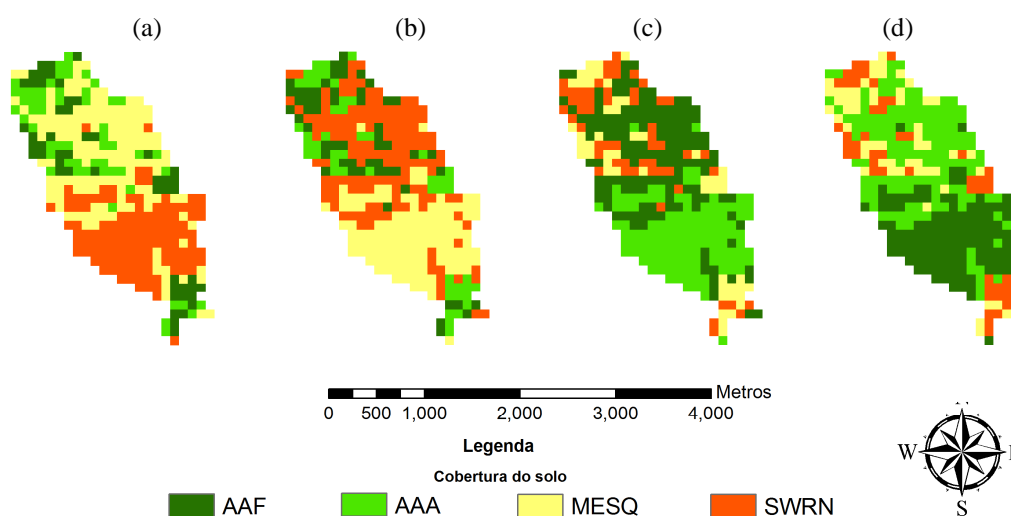


Figura 2: Cenários atual e alternativos de uso e ocupação do solo para a Bacia Riacho das Cabras: Cenário 1 (a), Cenário 2 (b), Cenário 3 (c) e Cenário 4 (d). Fonte: Autores do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a série pluviométrica utilizada para as simulações, com quinze anos de dados de chuva, apenas cinco anos apresentaram totais anuais precipitados abaixo da média histórica para a região do Cariri paraibano, que é de 400 mm, e apenas dois anos apresentaram totais anuais precipitados em torno da média. Sendo assim, da série pluviométrica utilizada oito anos apresentam totais precipitados anuais acima da média. Para os dois anos em que se observaram totais anuais precipitados em torno da média, 2001 e 2006, foi possível observar pequenos valores de lâmina escoada e produção de sedimentos que não ultrapassam os limites de tolerância de perda de solo estabelecidos em nível mundial.

Para os anos com precipitações acima da média histórica, 2000, 2002, 2004, 2005, 2008, 2009, 2010 e 2011, que apresentaram totais anuais precipitados superando de 1,6 a 3,2 vezes o valor anual da média histórica de precipitação, foram obtidos os maiores valores de perdas de solo e de geração do escoamento superficial.

Os resultados obtidos nas simulações para os cenários de uso e ocupação do solo na bacia do Riacho das Cabras (Tabela 2), revelam que os cenários 1 e 2 apresentaram valores da produção de sedimentos que superam o limite inferior de tolerância de perda de solo de 2,0 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, estabelecido por meio da FAO (1965) para solos pouco profundos e de baixa permeabilidade. Isso pode ser observado nos anos de 2002, 2004 e 2011 para o cenário 1 e, para o cenário 2, no ano de 2008.

Apenas no cenário 1, no ano de 2008, um dos mais chuvosos da série de precipitação utilizada para a realização das simulações, o limite superior de perda de solo de 4,0 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ estabelecido pela FAO (1965), foi ultrapassado.

Se considerarmos os limites de perda de solo de 5,41 a 6,3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ estabelecidos por Oliveira et al. (2008) as ações realizadas na área da bacia não representam um dano significativo que venha a necessitar de alguma intervenção usando práticas conservacionistas. Os maiores valores para estimativa anual da produção de sedimentos em todos os cenários simulados foram observados no ano de 2008. Os anos de 2006 e 2007 apresentaram totais precipitados anuais próximos da média histórica de precipitação da região, proporcionando assim, uma menor cobertura vegetal no início do período chuvoso de 2008, favorecendo o aumento das taxas de produção de sedimentos neste ano.

Por meio dos resultados anuais de lâmina escoada e produção de sedimentos, podemos perceber que os cenários 2, 3 e 4 em comparação com o cenário 1, proporcionaram diminuição significativa do escoamento e consequentemente da produção de sedimentos. Para o cenário 4 os valores obtidos na simulação para produção de sedimentos, exceto no ano de 2009, em que o valor foi igual ao obtido para o cenário 3, foram os menores.

Dessa forma, os cenários 3 e 4 poderiam ser adotados como sendo os mais adequados para atendimento dos limites de tolerância de perda de solo estabelecidos em nível mundial, porém quando avaliados os resultados obtidos por sub-bacias, em que podem ser analisados mais detalhadamente as relações entre relevo e cobertura vegetal, estes podem não atender os limites de tolerância de perda de solo nas sub-bacias.

Na Tabela 2 podemos observar os valores anuais estimados para a lâmina escoada e a produção de sedimentos para a série simulada, 1998 a 2012, considerando os quatro cenários de uso e ocupação do solo.

Tabela 2. Valores anuais: Precipitação (P), Lâmina escoada (Q) e produção de sedimentos (PS) - Fonte: Autores do trabalho.

Ano		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
P (mm)		124,9	186,4	887,7	398,5	641,8	326,2	745,8	702,5	417,2	361,4	789,6	729,7	751,1	1301,6	206,7
Cenário 1	Q (mm)	0,22	0,21	62,59	6,67	103,06	8,06	115,24	60,70	53,16	12,87	238,25	67,53	110,16	308,73	10,80
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	1,50	0,02	2,54	0,05	2,36	0,75	0,09	0,34	4,91	0,39	0,64	3,68	0,32
Cenário 2	Q (mm)	0,24	0,25	19,71	1,13	24,10	8,12	60,36	19,19	23,93	8,70	120,08	7,00	40,22	209,51	1,90
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,54	0,00	0,77	0,06	1,53	0,08	0,04	0,27	2,83	0,02	0,08	1,53	0,01
Cenário 3	Q (mm)	0,25	0,25	20,32	1,14	25,90	8,13	67,65	20,25	23,95	8,70	123,46	8,6	40,54	219,07	1,91
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,29	0,00	0,42	0,03	0,82	0,04	0,03	0,15	1,58	0,01	0,04	0,84	0,01
Cenário 4	Q (mm)	0,25	0,25	20,19	1,13	25,65	8,12	66,89	20,19	23,49	8,70	122,85	8,30	40,47	217,97	1,91
	PS (ton.ha ⁻¹)	0,00	0,00	0,19	0,00	0,27	0,02	0,54	0,03	0,02	0,10	1,05	0,01	0,03	0,56	0,00

No cenário 1 em que áreas de pastagens, de plantio e solo exposto abrangem maior parte da área da bacia, os limites de tolerância de perda de solo são superados na maioria da sub-bacias localizadas próximas a seção final da bacia. Este trecho da bacia é coberto por pastagem e solo exposto, mostrando assim, o papel da cobertura vegetal sobre a produção de sedimentos e a produção de água. Com a substituição das coberturas de maior densidade vegetal por áreas de solo exposto e pastagem na região da cabeceira da bacia avaliada, a produção de sedimentos aumentou, refletindo na simulação possíveis perdas de acordo com o tipo de ocupação. Essas perdas também são influenciadas pelas maiores declividades das áreas de maior elevação. As áreas de maior declividade da bacia próximo a cabeceira necessitam de maior atenção, pois caso sejam utilizadas de forma mais intensa do que o demonstrado por meio do cenário 1, podem passar a contribuir de forma significativa para produção de sedimentos.

Podemos observar por meio das Figuras 3 a 6 a distribuição espacial da produção anual de sedimentos por sub-bacias para os anos de 2002, 2004, 2008 e 2011, anos chuvosos da série de precipitação utilizada para a realização das simulações em que foram obtidos os maiores valores anuais para a produção de sedimentos para a bacia analisada.

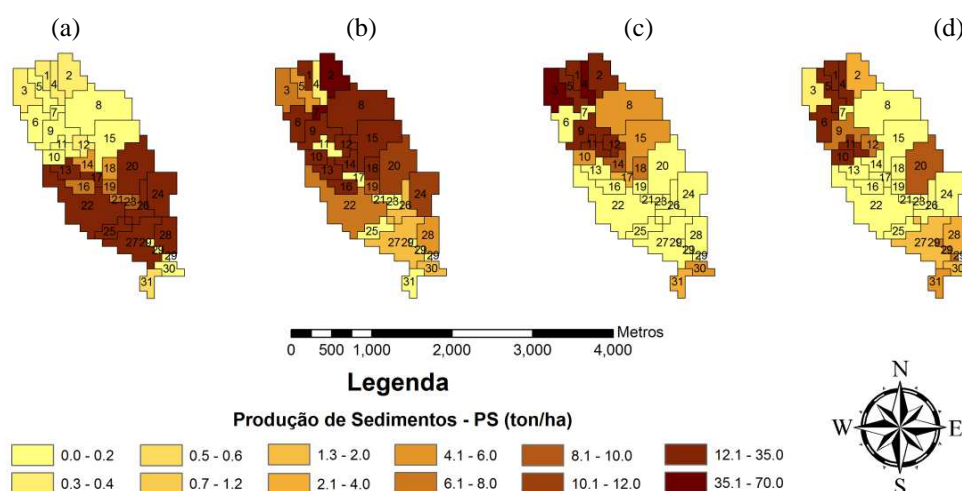


Figura 3: Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2002 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d). Fonte: Autores do trabalho.

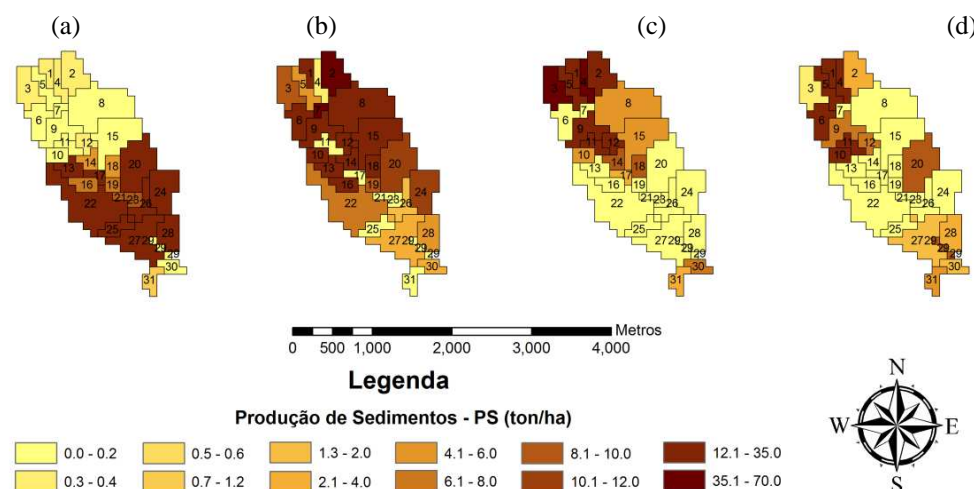


Figura 4: Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2004 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d). Fonte: Autores do trabalho.

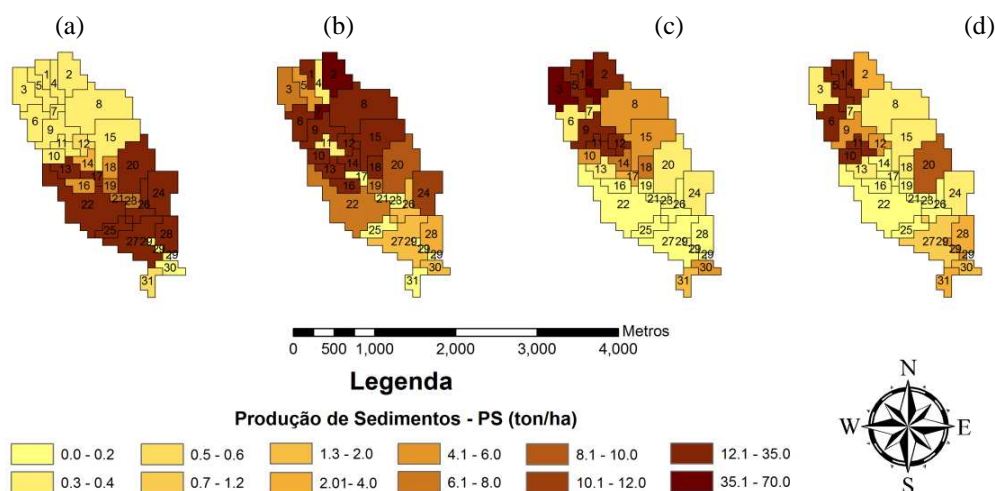


Figura 5: Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2008 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d). Fonte: Autores do trabalho.

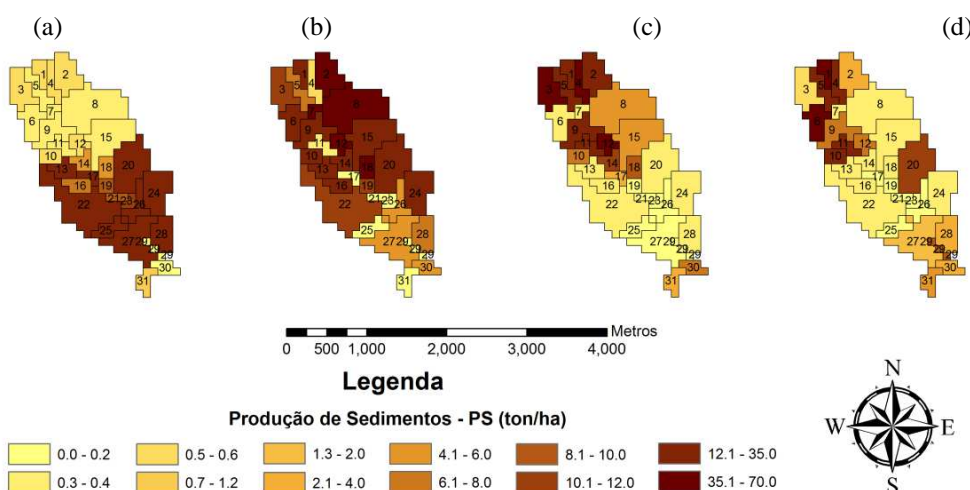


Figura 5: Estimativa da produção de sedimentos na Bacia Riacho das Cabras no ano de 2011 para os cenários simulados: cenário 1 (a), cenário 2 (b), cenário 3 (c) e cenário 4 (d). Fonte: Autores do trabalho.

Os valores estimados da produção de sedimentos indicam que por meio de pequenas intervenções na área da bacia, como a rotação de áreas para a pastagem e destinação de áreas com maior nível de degradação possam permanecer em regime de pousio, permitindo a recomposição natural da vegetação, haverá uma significativa redução da erosão, atendendo assim, aos limites de perda de solo estabelecidos em nível mundial por meio da FAO (1965), para o tipo de solo predominante na área da bacia.

As informações obtidas por meio das simulações usando o modelo SWAT, para a escala de microbacias, podem auxiliar na tomada de decisão dos produtores rurais no planejamento de uso e ocupação do solo em nível de propriedade rural e favorecer a utilização de práticas conservacionistas que atendam às exigências da legislação ambiental brasileira que recomenda a destinação de 20% da área da propriedade como sendo de preservação permanente. Isso garantirá o acesso ao crédito rural para a manutenção de uma das principais atividades produtivas na área da bacia, a pecuária extensiva.

O uso e ocupação do solo no período das visitas de campo, o cenário 1, indicou um elevado risco econômico e social para a manutenção das atividades produtivas que respeitam as tradições culturais locais, pois excedem a capacidade de suporte forrageiro das propriedades que permanecem dependentes do clima, não havendo em 80% das propriedades a utilização de algum sistema de irrigação para a manutenção da atividade agrícola de

subsistência e cultivo de pastagem para os animais, visto que a palma forrageira que dava suporte a criação de caprinos, ovinos e bovinos foi dizimada por meio da cochonilha do carmim.

Vale salientar que os dados obtidos representam apenas os valores da produção anual de sedimentos por microbacia simulados pois não há monitoramento na área de estudo e que é possível identificar facilmente com a distribuição espacial da produção de sedimentos por sub-bacia as áreas que necessitam de maior intervenção para fins de conservação do solo.

CONCLUSÕES

A existência de eventos de precipitação em anos úmidos e o estado da cobertura vegetal favorecem a geração do escoamento e consequentemente a produção de sedimentos;

As simulações mostraram forte dependência da frequência e da quantidade de precipitações anteriores na ocorrência do escoamento superficial e da produção de sedimentos;

O modelo de simulação SWAT foi eficaz na estimativa da produção de sedimentos representando bem as diferenças entre as alterações de cobertura do solo para a bacia apresentando-se como uma importante ferramenta para o planejamento de uso e ocupação do solo nas propriedades rurais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcântara, H. M. **Estabelecimento de metodologia para a conservação e Recuperação de pequenas bacias hidrográficas do semiárido**. 2013, 143p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2013.
2. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412 p.
3. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Soil Erosion by water: some measures for its control on cultivated lands**. Rome, Italy: FAO, 1965, 284p.
4. Lopes, W. T. A. **Efeitos de escala na modelagem hidrossedimentológica na região semiárida da Paraíba**. 2003, 174p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande, 2003.
5. Neto, J. G. C. **Simulação hidrossedimentológica da bacia do riacho dos Namorados com o modelo SWAT**. 2011, 216p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2011.
6. NETO, J. G. C.; SRINIVASAN, V., S.; RUFINO, I., A. A. Simulação hidrossedimentológica, analisando dois MDES, de duas pequenas sub-bacias no cariri paraibano utilizando o modelo SWAT. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v.5, n.1, 2011.
7. Oliveira, F. P.; Santos, D.; Silva, I. F.; Silva, M. L. N. Tolerância de Perda de Solo por Erosão para o Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8 n.2, p.60-71, 2008.
8. PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba PERH/PB**. João Pessoa: Governo do Estado da Paraíba: SEMARH, PB, 2004.
9. Rawls, W. J.; brakensiek, D. L.; Saxton, K. E. **Estimation of soil water properties**. Trans. ASAE 25: 1316-1320.
10. Taveira, I. M. L. M. **Avaliação de alternativas de uso do solo através de simulação hidrossedimentológica da bacia representativa de Sumé com o modelo SWAT**. 2012, 141p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, PB, 2012.
11. Valeriano, M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP, 2004.