

Impactos das alterações de uso e ocupação do solo considerando a variabilidade climática e hidrológica na região do semiárido

Impacts of land use change considering hydrologic and climate variability in the semiarid zone

Mariana da Silva de Siqueira¹, Hugo Morais de Alcântara², George do Nascimento Ribeiro³, Paulo da Costa Medeiros⁴, João Paulo Sobral Dias Afonso⁵, Aline Carla de Medeiros⁶ e Patricio Borges Maracajá⁷

RESUMO - O uso e ocupação do solo associado a variabilidade climática em regiões semiáridas influenciam diretamente o regime hidrossedimentológico de pequenas bacias hidrográficas estritamente rurais. O quinto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) alertou sobre fenômenos climáticos e meteorológicos extremos como secas e eventos de chuvas intensas. No semiárido brasileiro as áreas rurais são ocupadas prioritariamente por agricultores familiares que tem seu modo produtivo baseado no cultivo de sequeiro e na pecuária de subsistência fortemente dependentes do clima, sendo assim, uma região muito vulnerável a essas mudanças climáticas. Para caracterização do clima futuro foram utilizadas anomalias médias de precipitação para o período de 2040-2069 projetadas por seis modelos climáticos do IPCC. Este trabalho visa diagnosticar o impacto de mudanças climáticas sobre a lâmina escoada e a produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica, utilizando ferramentas computacionais como a plataforma SegHidro e o modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*). Foi possível identificar que haverá uma redução na precipitação e uma consequente redução na produção de sedimentos e escoamento superficial na área da bacia.

Palavras-chave: Planejamento ambiental, Modelagem ambiental, Semiárido.

ABSTRACT - The land use associated with climate variability in semiarid regions directly influence hydrosedimentological regime of small watersheds strictly rural. The fifth assessment report of the *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) warned on extreme weather and climate phenomena caused by droughts and heavy rainfall events. In the Brazilian semi-arid rural areas are primarily occupied by farmers who have their production mode based on rainfed crop and livestock strongly on subsistence dependent climate thus being a region very vulnerable to climate change. Average climatic anomalies of precipitation for the period 2040-2069 projected by six IPCC's climate models were used to characterize future climate. This work aims to diagnose the impact of climate change on the runoff and sediment yield in a small watershed using computational tools such as platform SegHidro and the SWAT model (*Soil and Water Assessment Tool*). The results show a reduction in rainfall and consequent reductions in the surface runoff and sediment yield in the basin.

Keywords: Environmental planning, Environmental modeling, Semi-arid.

Recebido em 10/02/2017 e Aceito em 20/09/2017

¹Aluna do Curso de Engenharia de Biossistemas, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, UFCG, Sumé, PB, e-mail: mariana.s.siqueira@gmail.com

²Professor Adjunto, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, UFCG, Sumé, PB, e-mail: hugo.me@ufcg.edu.br.

³Professor Adjunto, Unidade Acadêmica de Engenharia de Biotecnologia, UFCG, Sumé, PB, e-mail: george@ufcg.edu.br.

⁴Professor Adjunto, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, UFCG, Sumé, PB, e-mail: medeirospc@gmail.com.

⁵Mestrando da PPGSA-CCTA-UFCG – Pombal – PB e-mail: afonso.adv@hotmail.com

⁶Doutoranda do PPGEP do CCT – UFCG – Campina Grande – PB e-mail: alinecarla.edu@gmail.com

⁷D. Sc. da PPGSA-CCTA-UFCG – Pombal – PB e-mail: patriciomaracaja@gmail.com

INTRODUÇÃO

O estudo dos efeitos das alterações de uso e ocupação do solo nos processos hidrológicos tem sido realizado por meio de manipulações experimentais sobre a superfície do solo em termos de sua cobertura em pequenas bacias hidrográficas. Diversas práticas de manejo de uso e ocupação do solo como corte, derrubada, retirada e recomposição de vegetação nativa associada à produção anual e sazonal de água tem sido conduzidos em bacias hidrográficas rurais em todas as partes do mundo (ESHLEMAN, 2004, HOMEWOOD, 2004, TUPPAD *et al.*, 2010).

Uma estimativa mais precisa da erosão hídrica é, portanto, importante em vários contextos ambientais, tais como a avaliação potencial de perda de solo, da redução da capacidade de armazenamento de água em reservatórios devido à deposição de sedimentos, redução da produtividade em solos com potencial agrícola e os efeitos da erosão em diferentes regiões (AMORE *et al.*, 2004, XU & YAN, 2005, WEI *et al.*, 2012). Nesse contexto, modelos matemáticos de estimativa de perda de solo por erosão vêm sendo aplicados com eficiência, tanto no planejamento conservacionista quanto na avaliação e controle do processo erosivo em bacias hidrográficas (BATHURST *et al.*, 2007). Entre os modelos conceituais ou empíricos disponíveis para a realização de simulação ambiental em bacias hidrográficas destaca-se o SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que foi desenvolvido para verificar os efeitos resultantes das modificações no uso do solo sobre o escoamento e produção de sedimentos (WAGENER & WEATHER, 2006, GASSMAN *et al.*, 2007).

As florestas tropicais do mundo estão diminuindo em uma taxa de aproximadamente 29 ha/min (FAO, 2001). As previsões indicam que nos próximos 50 anos a demanda alimentar de uma população mais saudável e 50% maior será o fator que mais afetará as mudanças ambientais globais. Se os impactos da ocupação das terras para aumento ou manutenção da produção agrícola continuarem como têm ocorrido, 10⁹ hectares de ecossistemas naturais serão convertidos para áreas agrícolas até 2050 (TILMAN *et al.*, 2001).

Tendo em vista os efeitos das mudanças ambientais globais, como por exemplo, remoção de florestas, a degradação dos solos, as fontes pontuais de poluição, a manutenção da matriz energética de cerâmicas, olarias, padarias e pizzarias por meio da queima de lenha e carvão, o modelo econômico produtivo que necessita de resultados rápidos e de utilização de grande quantidade de recursos naturais, uma das incertezas ambientais críticas para os próximos anos refere-se às alterações de uso e ocupação do solo que poderão influenciar na geração do escoamento superficial e nos processos erosivos. Segundo Amore *et al.* (2004), a erosão do solo pode se tornar exagerada no futuro, em muitas partes do mundo, em decorrência das alterações climáticas e da intensificação

da utilização dos recursos naturais que estão relacionados aos processos do ciclo hidrológico.

A associação da degradação das bacias hidrográficas, principalmente pela ação antrópica no uso do solo, aos fenômenos climáticos naturais resulta no transporte de sedimentos em quantidades maiores que as produzidas em centenas de anos em condições de equilíbrio natural (SIMÕES & COIADO, 2001). A simulação do comportamento futuro também é valiosa, na tentativa de prever e tomar medidas que visem minimizar os efeitos negativos do comportamento futuro desses processos, bem como maximizar aqueles que são benéficos.

Além das incertezas provocadas pelo regime climático da região, os impactos das mudanças climáticas sobre a geração de escoamento superficial e produção de sedimentos surgem como um agravante na vulnerabilidade ambiental das regiões semiáridas. Segundo Marengo (2013) o semiárido é a região brasileira mais vulnerável aos impactos sociais e ambientais ocasionados pelas mudanças climáticas, devido às suas características climáticas e hidrológicas e fragilidade econômica. O quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) advertiu sobre fenômenos climáticos e meteorológicos extremos acarretados pelo aquecimento global, como secas, ondas de calor e eventos de chuvas intensas (IPCC, 2007).

Há necessidade de estudos para alertar a população e governos sobre os problemas futuros que podem ser causados devido ao mau uso dos recursos naturais, especialmente aqueles que podem repercutir em mudanças no clima, como é o caso do aumento da emissão de gases de efeito estufa. Esse trabalho visa diagnosticar o impacto dessas mudanças climáticas sobre a lâmina escoada e a produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica localizada no semiárido paraibano.

Neste trabalho o modelo SWAT foi utilizado para estimar o escoamento e a produção de sedimentos em uma bacia experimental, localizada no semiárido brasileiro, considerando alterações na precipitação divulgadas por meio do quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Isto permitirá a elaboração de cenários alternativos com o intuito de subsidiar a avaliação dos impactos da variabilidade da precipitação sobre o uso e ocupação do solo atual em uma pequena bacia hidrográfica do semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

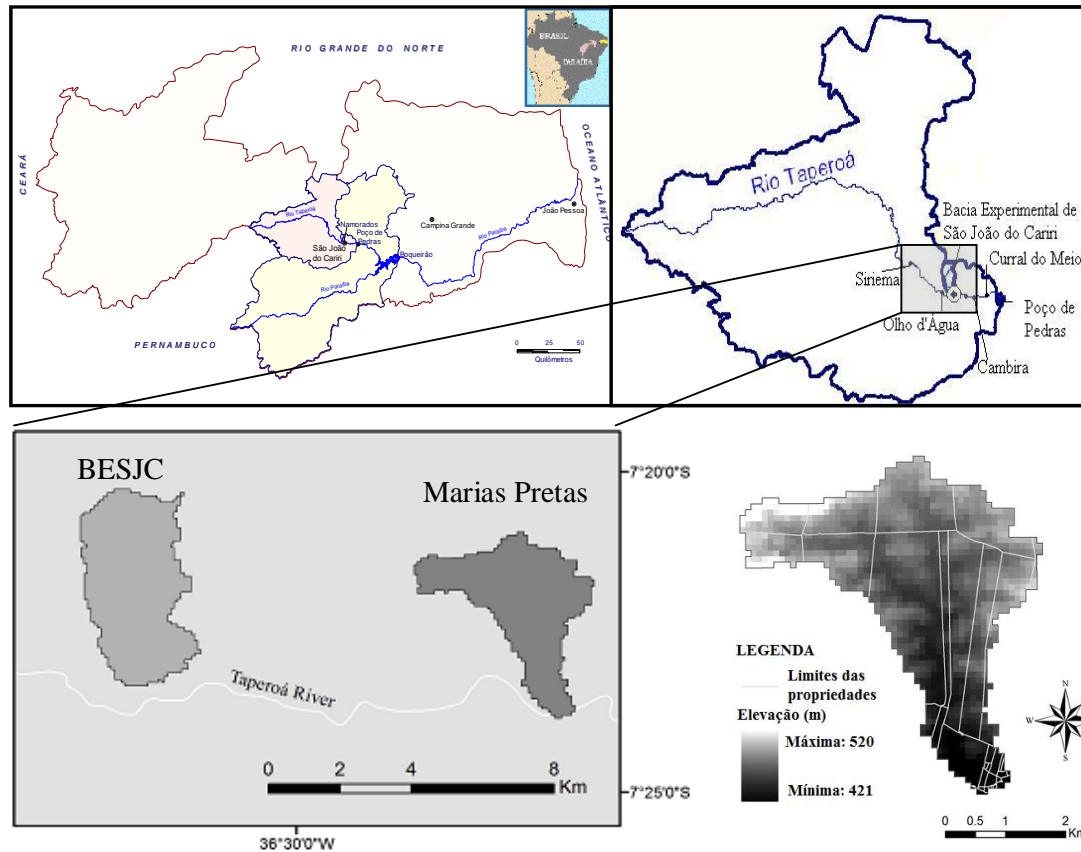
Área de estudo

A bacia de Marias Pretas (11,2 km²), uma pequena bacia não instrumentada, foi escolhida para estimar a erosão e produção de sedimentos por meio do SWAT utilizando alterações previstas na precipitação pelo quarto relatório do IPCC para o cenário atual de uso e ocupação do solo.

A Figura 1 indica a localização da sub-bacia de Poço de Pedras com destaque de algumas comunidades rurais, a localização da BESJC e da bacia Marias Pretas, o

Modelo Digital de Elevação (MDE) e a delimitação das áreas das propriedades existentes na área de drenagem de Marias Pretas.

Figura 1 – Localização da área de estudo, MDE do terreno e limites das propriedades rurais



Fonte: Alcântara (2013)

As características de uso e ocupação do solo foram obtidas a partir da classificação supervisionada de imagens do satélite LANDSAT 5. A imagem utilizada é referente à passagem do satélite no dia 29 de julho de 2005 e foi adquirida junto a Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Para este estudo foram utilizadas cinco classes de tipo de cobertura do solo, selecionadas de acordo com a resposta espectral de cada alvo, sendo uma destas classes a água, que não está presente na área da bacia.

As características físicas e morfológicas da bacia hidrográfica em estudo foram obtidas do Modelo Digital de Elevação gerado pelo projeto TOPODATA (VALERIANO, 2004), que oferece dados topográficos e suas derivações básicas em cobertura nacional, ora elaborados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) além de mapas topográficos produzidos em levantamentos de campo na Bacia Representativa do Rio Taperoá (BRRT).

Cadier e Freitas (1982) descreveram a pedologia da BES com solos predominantes classificados como

Luvissolo Hipocrômico Órtico típico, anteriormente classificado como Bruno não-cálcico litólico, como pouco espessos, pedregosos, com permeabilidade moderada e o Luvisolo Crômico Órtico típico, anteriormente classificado como Bruno não-cálcico vértico, como sendo um pouco mais profundo que o primeiro. Estes tipos de solo são observados na bacia de Marias Pretas, mas no levantamento exploratório da EMBRAPA (1999) e disponibilizado por meio da AESA (PARAIBA, 2004), apenas o Luvisolo Crômico Órtico típico está presente na área da bacia. As classes de solos encontradas no Estado da Paraíba foram disponibilizadas por meio da AESA (PARAIBA, 2004), foram geradas a partir do uso de imagens LANDSAT (escala 1:100.000) com apoio de fotografias aéreas (1:70.000) e trabalho de campo.

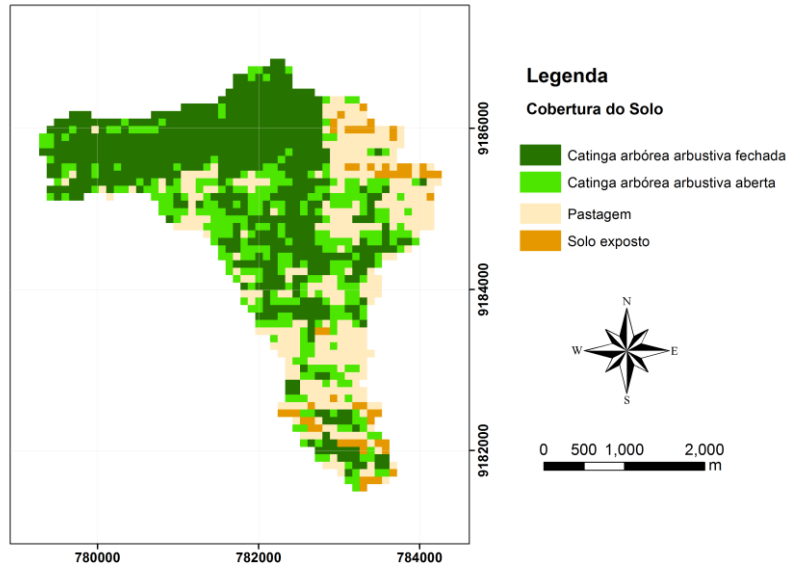
Lopes (2003) determinou a condutividade hidráulica saturada para as manchas de solos da BRS encontrando o valor de 3,5 mm/h para o solo Luvisolo Crômico Órtico típico.

Na Figura 2 podemos observar o mapa de cobertura do solo resultante do processo de classificação que também é utilizado como dado de entrada no modelo

SWAT para a estimativa da erosão e produção de sedimentos.

Na Tabela 1 podemos observar algumas características físicas e morfológicas da bacia hidrográfica de Marias Pretas.

Figura 2 – Mapa de cobertura do solo para a bacia hidrográfica Marias Pretas



Fonte: Alcântara (2013)

Tabela 1 – Características físicas e morfológicas da bacia Marias Pretas

Características	Valor
Área (km ²)	11,17
Perímetro (km)	23,34
Comprimento axial (km)	5,49
Índice de compacidade	1,96
Índice de forma	0,35
Declividade média da bacia (%)	4,4
Densidade de drenagem (km.km ⁻¹)	1,78
Altitude máxima (m)	520,0
Altitude média (m)	461,4
Altitude mínima (m)	421,0

Fonte: Alcântara (2013)

Cenários de mudanças climáticas

As mudanças climáticas têm sido avaliadas atualmente por grupos de pesquisas que afirmam ser importante conhecer como essas mudanças irão influenciar e transformar o clima, a vegetação e as bacias

hidrográficas em todo o planeta, principalmente em regiões áridas e semiáridas, pois são afetadas pela irregularidade temporal e espacial da precipitação.

Em 2007, O IPCC divulgou e disponibilizou relatórios de mudanças climáticas e cenários para nove variáveis climáticas, projetadas pelos Modelos de

Circulação Global (MCGs) dos principais centros de modelagem do clima no mundo. Os cenários de emissão de gases (GEE), medidos nesse século e projetados para o futuro são usados como entrada para os MCGs, segundo o Relatório Especial sobre Cenários de Emissões, publicado em 2000. Este relatório define quatro diferentes conjuntos de cenários que descrevem o possível desenvolvimento em todo o planeta, levando em consideração especialmente a emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2007; IPCC-TGICA, 2007):

- Cenário A1: família de cenários que descrevem crescimento econômico rápido, globalização predominante e tecnologias eficientes. Admite que haverá consciência da população no consumo de combustíveis fósseis e sua conseqüente diminuição na primeira metade do século.
- Cenário A2: nessa família de cenários descreve um mundo heterogêneo com regionalização predominante, aumento na população demográfica, crescimento econômico reduzido, quando comparado a outros cenários.
- Cenário B1: Família de cenários que descreve um mundo que possui a mesma população global, na qual ocorre o uso de tecnologias limpas. Descreve um mundo com sustentabilidade econômica, social e ambiental.
- Cenário B2: Família de cenários que enfatiza soluções locais para sustentabilidade econômica, social e ambiental, crescimento populacional contínuo, mas menor do que nas famílias do cenário A1, e desenvolvimento econômico rápido.

Para estimar os impactos futuros são necessárias descrições climáticas que quantifiquem essas mudanças, como também é indispensável que a caracterização climática no cenário atual também seja feita, cenário de referência que é construído através de uma série de dados observados (IPCC-TGICA, 2007). Para avaliar o comportamento hidrológico, faz-se uso de um cenário de referência, estável e que condiz com os aspectos reais do da bacia, e outro que considera a emissão de gases de efeito estufa. Os dados climáticos utilizados neste estudo são da estação climatológica da Bacia Experimental de São João do Cariri, referentes ao período 1998 a 2012. Os dados de produção de sedimentos e escoamento superficial foram simulados pelo modelo hidrossedimentológico SWAT para o cenário atual de uso e ocupação do solo da bacia.

Para análise do impacto das mudanças climáticas foi considerada a variável precipitação, para o horizonte de 2050 sob o cenário de emissão de gases SRA1B. Os dados utilizados nos cenários foram disponibilizados pelo Centro de Distribuição de Dados do IPCC (IPCC, 2008) e extraídos através da plataforma SegHidro (GALVÃO *et al.*, 2009) em forma de anomalias, que é a diferença entre a *baseline* e o clima futuro. O Método Delta, que consiste em acrescentar as anomalias futuras às séries históricas regionais ou locais (ROCHA, 2013), foi usado para simular o comportamento da precipitação no futuro. Essas variáveis foram simuladas por seis MCG's (Tabela 2). Apenas as anomalias médias diárias de precipitação para o período 2040 a 2069, simuladas por 6 modelos climáticos, foram utilizadas e os percentuais da reamostragem para os totais precipitados foram aplicados nas séries simuladas de escoamento superficial e produção de sedimentos.

Tabela 1 - Modelos e grupos de mudanças climáticas

Modelo	Grupo de modelagem
BCM2	BCCR-BCM2.0, Bjerknes Centre for ClimateResearch, Norway
CSMK3	CSIRO-Mk3.0, CSIRO AtmosphericResearch, Austrália
GIAOM	GISS-AOM, NASA / Goddard Institute for SpaceShuttles, USA
INCM3	INM-CM3.0, Institute for NumericalMathematics, Russia
MIMR	MIROC3.2(medres), Center for Climate System Research(TheUniversityofTokyo), NationalInstitute for EnvironmentalStudies, andFrontierResearch Center for Global Change (JAMSTEC), Japan

Reamostragem estatística

O método probabilístico de Reamostragem de Croley (1996, 2000) consiste na classificação probabilística de uma variável de interesse, no caso deste estudo a precipitação, permitindo a estimativa da probabilidade de ocorrência da mesma no futuro.

O processo de reamostragem (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) é feito inicialmente com a organização dos dados em ordem crescente de precipitação anual; em seguida são divididos em três categorias equiprováveis: as categorias I e III correspondem aos anos com menos e mais precipitação,

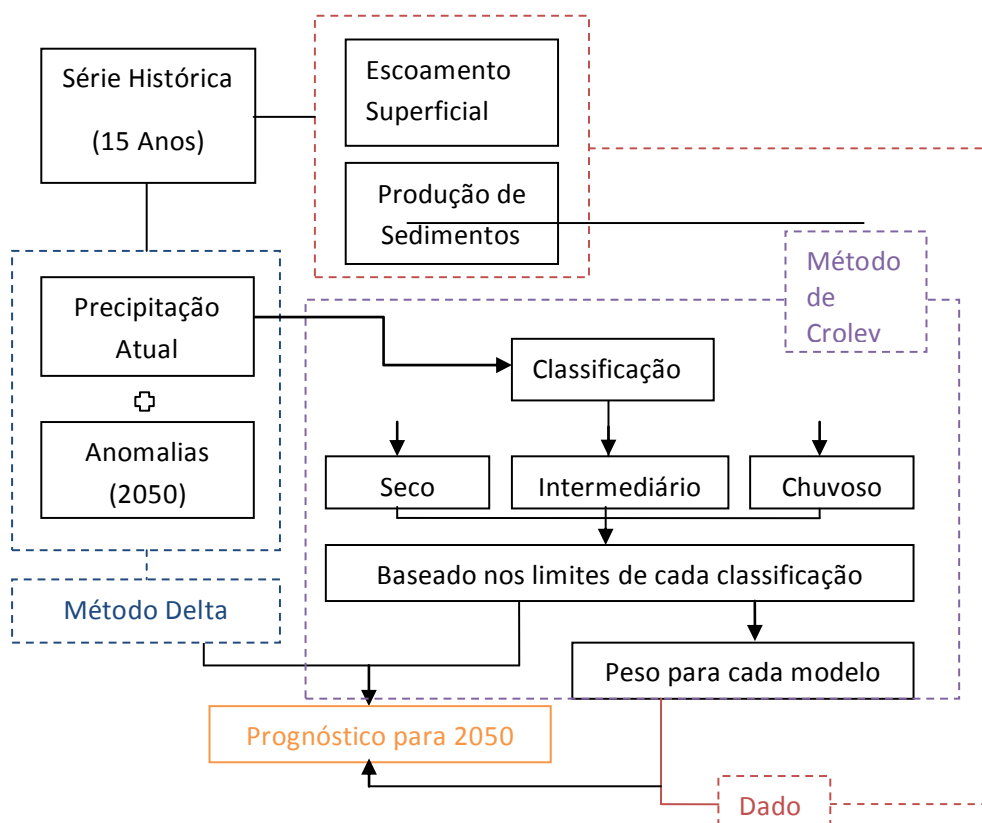
respectivamente, e a categoria II contendo os anos com totais pluviométricos anuais intermediários. Após a categorização, definem-se os valores limites das mesmas, por interpolação linear entre os valores extremos de duas categorias adjacentes.

A divisão das probabilidades para precipitação atual é, portanto, 33,33%, para todas as categorias, classificando o clima atual. Relaciona-se a precipitação de cada ano ao valor correspondente de lâmina e sedimentos. Faz-se necessário o uso dessas variáveis, pois a precipitação é a principal responsável pela ocorrência de processos ligados à perda de solo.

Também aplicamos os percentuais das anomalias diárias de precipitação geradas por meio dos modelos climáticos do IPCC aos dados simulados de lâmina

escoada e produção de sedimentos por meio do SWAT em relação ao cenário atual de uso e ocupação do solo.

Figura 3 – Esquema da metodologia utilizada



RESULTADOS

Os prognósticos de precipitação, escoamento superficial e produção de sedimentos para o período de 1998 a 2012 apresentam uma redução nos valores dos processos na maioria dos modelos de simulação do clima futuro gerados. A Tabela 3 mostra as anomalias somadas às precipitações diárias da série disponível tomada como referência, através da utilização do método Delta. Dessa forma, pode-se estabelecer uma comparação entre os cenários de precipitação gerados pelos modelos climáticos e a precipitação atual para os anos mencionados. Observa-se que não há ocorrência de diferenças relevantes entre os 6 modelos utilizados, e entre os mesmos e a precipitação atual, mas pode-se notar que o modelo climático MIMR

pode ser considerado o que indica a maior redução da precipitação para o período em estudo, enquanto o modelo GIAOM indica o maior aumento da precipitação.

Para os dados de escoamento superficial e produção de sedimentos, pode-se verificar que a redução na precipitação implica em uma redução desses processos. Considerando a variação das anomalias de precipitação geradas por meio dos modelos climáticos do IPCC, podemos observar que as variações na lâmina escoada e na produção de sedimentos são menores do que quando utilizamos o método de Croley.

Nas Tabelas 5 e 6 podemos observar os prognósticos do escoamento superficial e da produção de sedimentos em relação ao período atual.

Para a reamostragem de Croley (1996, 2000), baseada na classificação, equiprovável, do período atual, estabeleceram-se limites para a classificação dos dados para o período 2040-2069 (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), sendo eles:

Tabela **Reamostragem estatística**

- Anos Secos: precipitação menor que 382,0 mm/ano
- Anos Intermediários: entre 382,0 e 744,5 mm/ano
- Anos chuvosos: precipitação maior que 744,5 mm/ano

A Tabela 4 mostra os pesos para a reamostragem, obtidos a partir da classificação da precipitação gerada pelos modelos climáticos para o clima futuro.

Tabela 3 – Valores de precipitação somadas as anomalias com a classificação dos anos secos (em laranja), intermediários (em amarelo) e chuvosos (em azul) para o período atual (equiprováveis) e período futuro para todos os MCGs, em mm.ano⁻¹

Anos	Atual	BCM2	CSMK3	GIAOM	INCM3	MIHR	MIMR
1998	124.9	120.50	124.33	130.00	100.56	110.84	91.32
1999	186.4	189.41	174.35	191.38	163.57	159.32	145.37
2012	206.7	212.11	188.10	214.24	198.43	190.38	160.47
2003	326.2	326.27	237.48	338.67	313.33	301.06	253.67
2007	361.4	356.36	344.87	376.69	319.38	329.67	255.52
2001	398.5	384.54	379.42	408.68	367.85	363.10	290.62
2006	417.2	408.07	413.68	437.56	375.98	379.28	297.76
2002	641.8	649.75	607.61	656.73	615.19	600.25	547.14
2005	702.5	701.11	641.10	716.10	662.15	662.88	600.17
2009	729.7	702.09	683.84	746.84	675.78	682.95	618.19
2004	745.8	738.46	729.39	765.95	713.21	701.84	661.32
2010	751.1	754.49	734.28	766.62	716.16	715.16	679.74
2008	789.6	751.71	775.23	809.38	736.10	736.78	707.87
2000	887.7	784.98	785.30	908.17	837.33	836.20	768.09
2011	1301.6	1333.48	1295.69	1349.87	1299.72	1288.09	1227.39

Tabela 4 - Pesos de cada categoria: anos secos (em laranja), intermediários (em amarelo) e chuvosos (em azul) para o período atual (equiprováveis) e período futuro para todos os MCGs, em porcentagem

Anos	Atual	BCM2	CSMK3	GIAOM	INCM3	MIHR	MIMR
1998	33.3	33.3	40.0	33.3	46.7	46.7	46.7
1999	33.3	33.3	40.0	33.3	46.7	46.7	46.7
2012	33.3	33.3	40.0	33.3	46.7	46.7	46.7
2003	33.3	33.3	40.0	33.3	46.7	46.7	46.7
2007	33.3	33.3	40.0	33.3	46.7	46.7	46.7
2001	33.3	40.0	40.0	26.7	46.7	46.7	46.7
2006	33.3	40.0	40.0	26.7	46.7	46.7	46.7
2002	33.3	40.0	40.0	26.7	40.0	40.0	40.0
2005	33.3	40.0	40.0	26.7	40.0	40.0	40.0
2009	33.3	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
2004	33.3	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
2010	33.3	26.7	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
2008	33.3	26.7	20.0	40.0	40.0	40.0	40.0
2000	33.3	26.7	20.0	40.0	13.3	13.3	13.3
2011	33.3	26.7	20.0	40.0	13.3	13.3	13.3

Prognósticos de precipitação, escoamento superficial e produção de sedimentos

Utilizando o método de Croley para a realização dos prognósticos de precipitação, escoamento superficial e produção de sedimentos observamos que os modelos INCM3, MIHR e MIMR indicam a maior redução de lâmina escoada em relação ao período atual, de 29,2%, e o modelo GIAOM indica um aumento de 38,14%. Para a produção de sedimentos os modelos INCM3, MIHR e MIMR indicam a maior redução, de 33,04%, e o modelo GIAOM um aumento de 38,06%. Considerando as simulações realizadas por todos os modelos a lâmina

escoada terá uma redução média de 13,0% e a produção de sedimentos uma redução média de 18,54%, influenciados por uma redução média da precipitação de 0,2%.

Considerando a variação das anomalias de precipitação geradas por meio dos modelos climáticos do IPCC, podemos observar que as variações na lâmina escoada e na produção de sedimentos são menores do que quando utilizamos o método de Croley.

Nas Tabelas 5 e 6 podemos observar os prognósticos do escoamento superficial e da produção de sedimentos em relação ao período atual.

Tabela 5 - Prognósticos de escoamento superficial em mm.ano⁻¹ para o período de 2040-2069

Impactos das alterações de uso e ocupação do solo considerando a variabilidade climática e hidrológica na região do semiárido

Anos	Atual	BCM2	CSMK3	GIAOM	INCM3	MIHR	MIMR
1998	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	1.0	1.39	0.62	1.39	0.55	0.55	0.55
2003	8.4	11.17	5.03	11.17	4.47	4.47	4.47
2007	8.7	5.77	5.19	11.53	4.61	4.61	4.61
2001	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	24.5	14.68	14.68	31.00	13.05	13.05	13.05
2002	27.3	38.15	16.35	34.52	16.35	16.35	16.35
2005	22.4	13.43	13.43	28.36	13.43	13.43	13.43
2009	9.2	5.49	5.49	12.81	5.49	5.49	5.49
2004	70.5	42.29	42.29	98.67	42.29	42.29	42.29
2010	42.2	53.50	25.34	59.14	25.34	25.34	25.34
2008	129.8	95.17	103.82	181.69	77.87	77.87	77.87
2000	21.7	15.94	17.39	30.44	18.84	18.84	18.84
2011	229.3	290.41	183.42	320.98	198.70	198.70	198.70
Média	39.7	39.2	28.9	54.8	28.1	28.1	28.1
Variação		-1.25	-27.20	38.14	-29.22	-29.22	-29.22

Tabela 6 - Prognósticos da produção de sedimentos em Ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para o período de 2040-2069

Anos	Atual	BCM2	CSMK3	GIAOM	INCM3	MIHR	MIMR
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01
2003	0.09	0.12	0.05	0.12	0.05	0.05	0.05
2007	0.37	0.25	0.22	0.49	0.20	0.20	0.20
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	0.07	0.04	0.04	0.09	0.04	0.04	0.04
2002	1.05	1.47	0.63	1.33	0.63	0.63	0.63
2005	0.12	0.07	0.07	0.15	0.07	0.07	0.07
2009	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02
2004	2.08	1.25	1.25	2.91	1.25	1.25	1.25
2010	0.12	0.09	0.07	0.17	0.07	0.07	0.07
2008	3.42	2.51	2.74	4.79	2.05	2.05	2.05
2000	0.76	0.56	0.61	1.06	0.66	0.66	0.66
2011	2.03	1.49	1.62	2.84	1.76	1.76	1.76
Média	0.7	0.5	0.5	0.9	0.5	0.5	0.5
Variação		-22.39	-27.78	38.06	-33.04	-33.04	-33.04

Observamos que os limites de tolerância de perda de solo estabelecidos em nível mundial não são ultrapassados quando analisamos o cenário atual e por meio dos prognósticos da maioria dos modelos e grupos de mudanças climáticas (MCGs) para solos do tipo encontrados na área da bacia de Marias Pretas, que tem predominância do Luvissoilo Crômico Órtico Típico, onde a FAO (1965) indica os limites de 2,0 a 4,0 ton/ha.ano para solos rasos e de baixa permeabilidade, excetuando o modelo GIAOM que apresenta um aumento da perda de solo no ano de 2008, um dos mais chuvosos da série atual

analisada, com uma taxa de perda de solo de 4,79 ton/ha.ano.

Quando utilizamos os valores percentuais das anomalias de precipitação geradas por meio dos modelos climáticos do IPCC aos dados de lâmina escoada e produção de sedimentos obtidos por meio da simulação com o modelo SWAT observamos uma redução significativa nos valores médios dos prognósticos de escoamento e perda de solo.

Nas Tabelas 7 e 8 podemos observar as variações dos prognósticos de lâmina escoada e produção de sedimentos.

Tabela 7 - Prognósticos de escoamento superficial em mm.ano⁻¹ para o período de 2040-2069 sem utilizar a metodologia de Croley

Anos	Atual	BCM2	CSMK3	GIAOM	INCM3	MIHR	MIMR
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	1.0	1.1	0.9	1.1	1.0	1.0	0.8
2003	8.4	8.4	6.1	8.7	8.1	7.7	6.5
2007	8.7	8.5	8.3	9.0	7.7	7.9	6.1
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	24.5	23.9	24.3	25.7	22.1	22.3	17.5
2002	27.3	27.6	25.8	27.9	26.1	25.5	23.2
2005	22.4	22.3	20.4	22.8	21.1	21.1	19.1
2009	9.2	8.8	8.6	9.4	8.5	8.6	7.8
2004	70.5	69.8	68.9	72.4	67.4	66.3	62.5
2010	42.2	42.4	41.3	43.1	40.3	40.2	38.3
2008	129.8	123.6	127.4	133.0	121.1	121.2	116.5
2000	21.7	19.2	19.2	22.2	20.5	20.5	18.8
2011	229.3	235.0	228.2	238.0	228.9	226.8	215.9
Média	39.7	39.4	38.6	40.9	38.2	37.9	35.5
Variação		-0.69	-2.57	3.08	-3.72	-4.32	-10.37

Tabela 8 - Prognósticos de produção de sedimentos em Ton.ha⁻¹.ano⁻¹ para o período de 2040-2069 sem utilizar a metodologia de Croley

Anos	Atual	BCM2	CSMK3	GIAOM	INCM3	MIHR	MIMR
1998	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2012	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
2003	0.09	0.09	0.07	0.09	0.09	0.08	0.07
2007	0.37	0.36	0.35	0.39	0.33	0.34	0.26
2001	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2006	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05
2002	1.05	1.06	0.99	1.07	1.01	0.98	0.90
2005	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.10
2009	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
2004	2.08	2.06	2.03	2.14	1.99	1.96	1.85
2010	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
2008	3.42	3.26	3.36	3.50	3.19	3.19	3.07
2000	0.76	0.67	0.67	0.78	0.72	0.72	0.66
2011	2.03	2.08	2.02	2.11	2.03	2.01	1.91
Média	0.68	0.66	0.66	0.70	0.65	0.64	0.60
Variação		-2.10	-3.13	2.83	-4.70	-5.34	-11.26

Considerando a variação das anomalias de precipitação geradas por meio dos modelos climáticos do IPCC, podemos observar que as variações na lâmina escoada e na produção de sedimentos são menores do que quando utilizamos o método de Croley.

Nas Tabelas 5 e 6 podemos observar os prognósticos do escoamento superficial e da produção de sedimentos em relação ao período atual.

Tabela CONCLUSÕES

A partir dos resultados pode-se concluir que a variação da precipitação é o principal fator para as mudanças no comportamento hidrológico das bacias hidrográficas. Caso se confirmem as projeções climáticas para o período analisado, na bacia em estudo, em torno do ano 2050, haverá mudanças significativas nos totais anuais de precipitação, de escoamento superficial e da produção de sedimentos, havendo a necessidade de que os produtores rurais desta região possam adotar medidas que garantam a redução do consumo de água e o armazenamento de forragem animal para manter a atividade pecuária durante longos períodos de estiagem.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, H. M.; CUNHA, J. E. B. L.; GALVAO, C. O.; TAVEIRA, I. M. L. M. . **Decision on land conservation practices in semi-arid region considering hydrological and social drivers**. IAHS-AISH Publication, v. 359, p. 352-357, 2013.
- CROLEY, T. E. **Using NOAA's new climate outlooks in operationa hydrology**. *Journal of hidrologic engineering*, New York, v.1, n.3, p.93-102. (1996)
- CROLEY, T. E. **Using meteorology probability forecasts in operational hudrology**. Restib: ASCE Press. (2000)
- IPCC. **The IPCC Data Distribution Centre**. IPCC, WMO, UNEP. Disponível em <www.ipcc-data.org>. (2008).
- IPCC. **“Climate Change 2007: The Physical Science Basis”**, Summary for policymakers. (2007).
- IPCC-TGICA. **General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment**. V. 2. Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment. (2007).
- MARENGO, J. A. **Possíveis impactos da mudança de clima no Nordeste**. *Revista Eletrônica de Jornalismo Científico*. <http://www.comciencia.br/comciencia/?section=8&edicao=22&id=248>. Acessado em 01 de Maio, 2013.
- ROCHA-DANTAS, M. S. **Impacto das Mudanças Climáticas Em Cisternas Rurais Do Nordeste Brasleiro**. Dissertação. Universidade Federal de Campina Grande. Fevereiro, 2013.
- SIMÕES, S.J.C.; COIADO, E.M. (2001) **Métodos de Estimativa da Produção de Sedimentos em Pequenas Bacias Hidrográficas**, In: *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por De Paiva, J.B.D.; De Paiva, E.M.C.D., Porto Alegre: ABRH. p. 365-394.