

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM UMA BACIA EXPERIMENTAL DO SEMI-ÁRIDO: medida e modelagem

Teresa Raquel Lima Farias¹; Alexandre Cunha Costa¹ & José Carlos de Araújo².

RESUMO - Avaliações de produção de sedimentos em bacias hidrográficas são necessárias, entre outros, para se ter análise consistente da disponibilidade hídrica em regiões semi-áridas. No presente artigo, avaliou-se a produção de sedimentos na Bacia Experimental de Aiuaba, localizada no Semi-árido Nordeste, tendo por base os eventos chuva-deflúvio do ano de 2006, através de medidas de descarga sólida e modelagem do processo. Cinco metodologias são utilizadas para o cálculo de transporte difuso de sedimentos: o modelo de base física e probabilística HIDROSED 2, o Método do Serviço Florestal, que faz sua avaliação por evento baseada nas vazões de pico, e as equações empíricas baseadas na fisiografia da bacia desenvolvidas por Maner, Roehl e Williams-Berndt. Os resultados do modelo HIDROSED 2 foram superiores aos demais e sugerem a necessidade de desenvolvimento de modelagem baseada na física dos processos.

ABSTRACT - Sediment yield assessment are necessary in watersheds, among others, to have consistent analysis of the water availability in semi-arid regions. In the present paper, the sediment yield was assessed in the Experimental Basin of Aiuaba, located in the semi-arid Northeastern of Brazil, having for base the events rainfall-runoff of the year of 2006, through measures of solid discharge and modeling of the process. Five methodologies are used for the computation of sediment delivery ratio: the model that uses physical and probabilistic concepts HIDROSED 2, the Forest Service Method, that makes its evaluation for event based on the peak outflows, and the empirical equations based in the basin physiograph developed by Maner, Roehl and Williams-Berndt. The results of model HIDROSED 2 had been superior to excessively and suggest the necessity of development of modeling based on the physics of the processes.

Palavras-chave: Produção de sedimentos, semi-árido, bacia experimental.

1) Mestrando(a) em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, emails: raquelfarias@yahoo.com.br; alexandrecunhacosta@yahoo.com.br

2) Professor Associado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará – email: jcaraujo@ufc.br

1 - INTRODUÇÃO

A erosão hídrica, seja de forma natural (geológica) ou induzida pelo antropismo, promove a desagregação, o deslocamento ou o transporte das partículas de rocha e solo, através da energia de impacto da gota de chuva no solo e pelas forças geradas devido à ação do escoamento das águas depositando-os nas áreas topograficamente mais baixas (Carvalho, 1994).

As conseqüências indesejáveis da erosão incluem desestabilização, movimentos de massa nas encostas e perda gradual de fertilidade dos solos, esta última trazendo prejuízos diretos às atividades agrícolas. Segundo Onda *et. al.* (2006), em regiões semi-áridas os solos têm baixo teor orgânico e grande percentual de silte, o que resulta em alta susceptibilidade à erosão. Dessa forma, a erosão acelerada em áreas cultivadas do semi-árido pode conduzir a um processo de desertificação, que é uma questão-chave no que diz respeito ao ambiente global.

O excesso de sedimentos transportado na água causa impactos negativos em sua qualidade, aumentando a turbulência e o transporte de poluentes, reduzindo a zona fótica e, conseqüentemente, a produção primária de oxigênio. Também impacta quantitativamente a água, principalmente através do assoreamento de rios e de reservatórios.

O assoreamento de reservatórios causa impactos negativos na disponibilidade hídrica, referentes aos aspectos qualitativos (comprometimento da qualidade da água principalmente em períodos secos) e quantitativos. Araújo *et al.* (2006), avaliaram o impacto do assoreamento na disponibilidade hídrica do Ceará: a vazão regularizável com 90% de garantia decai cerca de 380 L/s anualmente no estado somente por causa do assoreamento dos reservatórios.

Avaliações de produção de sedimentos em bacias hidrográficas são necessárias quando se deseja melhorar a qualidade da análise técnica para que sejam propostas medidas mitigadoras sobre a produção de sedimentos, de forma a contribuir para uma avaliação consistente da disponibilidade hídrica na região semi-árida e, conseqüentemente, para a implantação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos. Entretanto, no Ceará esta avaliação é dificultada pela carência ou mesmo ausência de dados primários.

Dentro desse contexto justifica-se esta pesquisa e surge a necessidade de monitoramento contínuo de bacias em áreas experimentais no Semi-árido Nordeste, para que modelos de produção de sedimentos possam ser ajustados e validados, de maneira que conclusões específicas possam ser estendidas para demais bacias da região.

Dessa forma, o presente artigo tem por objetivo avaliar a produção de sedimentos na Bacia Experimental de Aiuaba, Município de Aiuaba, Ce, no ano de 2006, tendo por base eventos chuva-deflúvio e o monitoramento das variáveis hidrossedimentológicas envolvidas no processo de geração e transporte de sedimentos. Visa também comparar diferentes metodologias de determinação da taxa de transporte difuso (*Sediment Delivery Ratio – SDR*) para estimativa da

produção de sedimentos na área. São avaliados, nesta pesquisa, o modelo de base física e probabilística HIDROSED 2 (Araújo, 2007), o método empírico desenvolvido pelo Serviço Florestal (apud Haan *et al*, 1994), e as equações empíricas de Maner, Roehl e Williams-Berndt (apud Araújo, 2003).

2 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Experimental de Auiaba (BEA) localiza-se na região dos Inhamuns, a sudoeste do Estado do Ceará (Figura 1). Está situada na Estação Ecológica do município de Auiaba sob administração do IBAMA. A vegetação é do tipo caatinga arbórea a sub-arbórea densa. Com exceção de algumas roças, quase não foi alterada pela ação humana. Situada em uma das áreas mais secas do estado, Auiaba apresenta uma média de precipitação pluviométrica em torno de 560 mm anuais.

A bacia tem área de 11,78 km², com um reservatório localizado no seu exutório com capacidade de acumulação de 59.700 m³, tempo de concentração de 1,1 h, coeficiente de escoamento superficial médio de 3%, evaporação média no lago 1930,60 mm/ano e interceptação vegetal média de 15%.

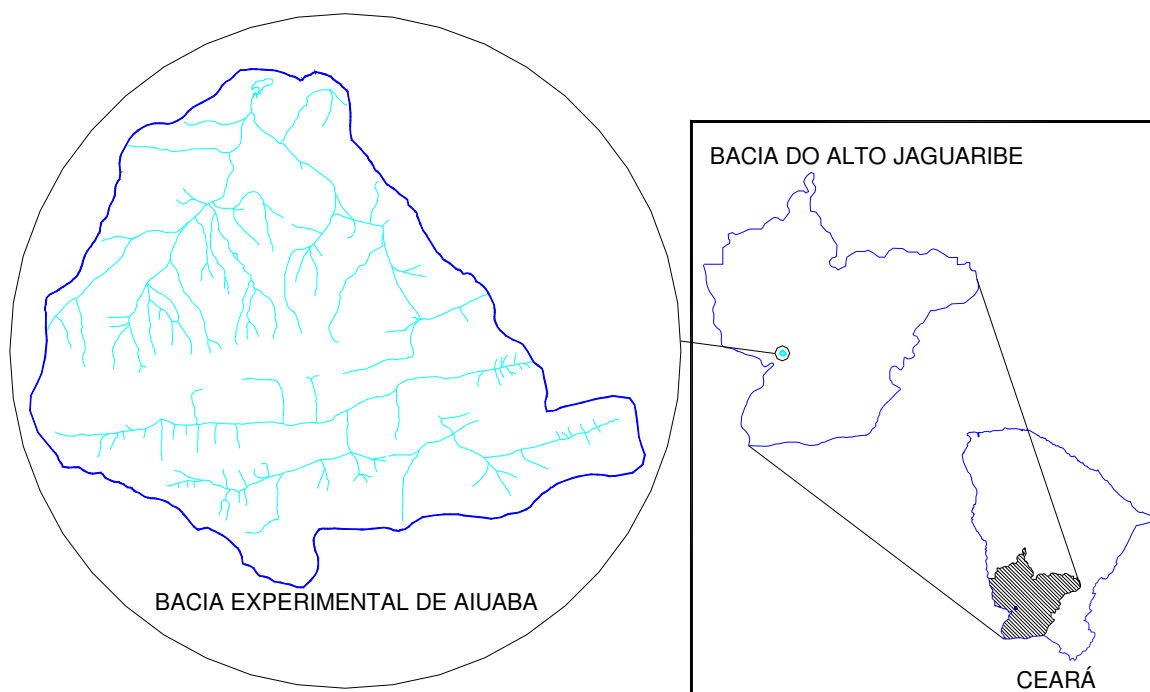


Figura 1 – Localização da Bacia Experimental de Auiaba em relação à Bacia do Alto Jaguaribe no Estado do Ceará, fonte: Araújo *et al*. (2004)

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Para realização desta pesquisa foram estudados os eventos chuva-deflúvio do ano de 2006, monitorados na Bacia Experimental de Aiuaba. Como a bacia localiza-se em região semi-árido com baixas precipitações pluviométricas, apenas em quatro eventos no ano de 2006 foi observada a geração de vazão afluente no reservatório. Características da bacia interferem no processo de geração de escoamento, são: litologia com predominância de fraturas que influenciam o processo de perdas em trânsito; e consideráveis perdas por interceptação vegetal, uma vez que a área apresenta vegetação preservada e bastante densa.

3.1 - Instrumentação e monitoramento

A Bacia Experimental de Aiuaba tem sido monitorada desde 2003. Inicialmente com recursos do projeto FINEP/IBESA, foram instalados instrumentos para a realização de medidas hidrológicas. Desde então, nesta bacia, os seguintes dados tem sido levantados: precipitação em três estações pluviométricas (medidas a cada 5 min); umidade do solo (três estações); evaporação diária em tanque classe A; medidas de perdas por interceptação vegetal em lote experimental (100 m²); variáveis climatológicas por meio de estação automática (a partir de 2005); nível do açude localizado em seu exutório, permitindo o cálculo da vazão em toda a bacia; vazão em uma sub-bacia (7,5 km²) através de Calha Parshall; além de concentração de sedimentos nos eventos chuva-deflúvio através de amostragem por coletor automático de sedimentos. A localização desses equipamentos é apresentada na Figura 2.

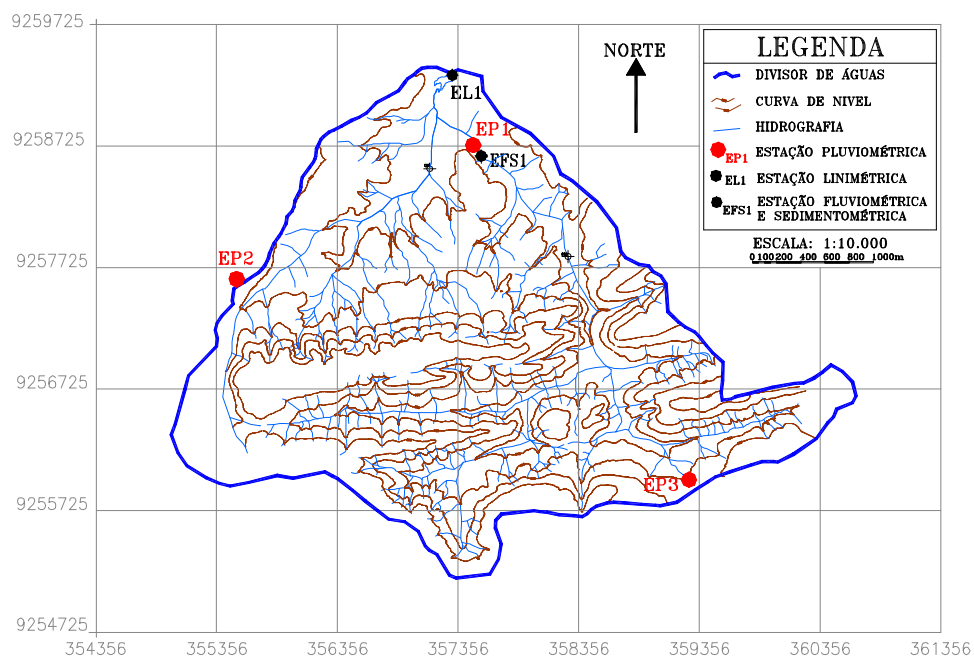


Figura 2 - Localização de equipamentos na Bacia Experimental de Aiuaba

Realizaram-se medidas de produção de sedimentos nos quatro eventos do ano de 2006 que geraram vazão afluente no reservatório principal. As amostras para determinação de descarga sólida em suspensão foram coletadas através de amostrador automático de sedimentos tipo torre, instalado no leito do rio principal de acordo com a Figura 3.



(A) Amostrador automático de sedimentos para o ramo ascendente do hidrograma.



(B) Garrafas de 250 ml dispostas a cada 10 cm, no total de dezesseis (16).

Figura 3 –Torre de Amostragem automática de sedimentos

Através de análises de laboratório, determinaram-se as concentrações de sólidos em suspensão das amostras dos eventos, que associadas às respectivas vazões afluentes resultaram na produção de sedimentos para cada evento chuva-deflúvio, de acordo com a equação (1).

$$Q_{SÓLIDA} = C \cdot Q_{LÍQUIDA} \quad (1)$$

Em que, $Q_{SÓLIDA}$ é a descarga sólida (Kg/s), C é a concentração de sólidos suspensos (Kg/L) e $Q_{LÍQUIDA}$ é descarga líquida (L/s). Para determinação da produção de sedimentos na bacia, considerou-se que a descarga sólida medida na seção de controle do rio principal era representativa da descarga sólida que chega efetivamente ao reservatório. Essa associação de concentração de sedimentos às respectivas vazões dos eventos foram utilizadas também para determinação da curva-chave (Figura 4) que representa o aporte de sedimentos na BEA, obtendo-se assim uma correlação entre a descarga líquida dos eventos chuva-deflúvio e a descarga sólida na bacia. A curva chave de sedimentos da BEA foi determinada para um total de doze eventos que geraram vazão afluente no reservatório em que foi possível também medir a concentração de sedimentos, sendo oito eventos em 2004 e quatro eventos em 2006.

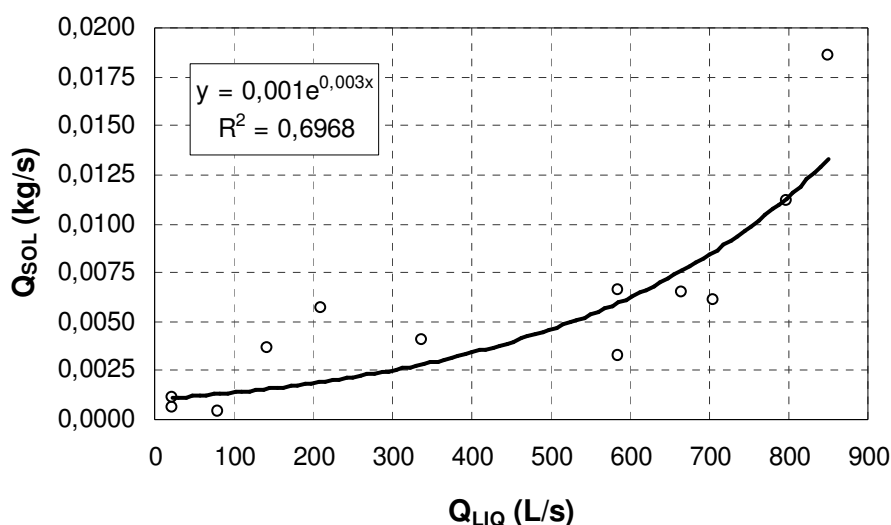


Figura 4 – Curva-chave de sedimentos para a Bacia Experimental de Aiuaba (2004 - 2006), Q_{SOL} = vazão sólida e Q_{LIQ} = vazão líquida.

3.2 - Modelo HIDROSED 2

HIDROSED2 é um modelo de avaliação de produção de sedimentos de forma distribuída no tempo e no espaço, em que a taxa de transporte difuso (SDR) é avaliada evento a evento por equação de base física e probabilística. Utiliza o princípio da entropia máxima e requer poucos parâmetros, segundo Araújo (2007). Essa formulação considera as seguintes variáveis: distância de viagem das partículas, potência de fluxo, velocidade de sedimentação das partículas e erosão bruta.

Nessa equação surge um novo parâmetro denominado “parâmetro de transporte”, K_v , que está associado a cobertura vegetal do solo e práticas conservacionistas e tem relação direta com a distância média de viagem das partículas. A morfologia da encosta também interfere na distância de viagem, entretanto, esta não foi especificamente considerada no modelo. O modelo assume que só há produção de sedimentos nas encostas, desprezando o que é produzido no sistema de drenagem. Sua aplicação requer o seguinte processo: seleção de eventos chuva-deflúvio, divisão da bacia em células, cálculo da erosão bruta, estimativa de lâminas escoadas e determinação do sedimento produzido nas encostas usando a equação de entropia. No modelo a erosão bruta pode ser calculada pela USLE (Equação Universal de Perdas do Solo), por exemplo.

Para a modelagem da Bacia Experimental de Aiuaba pelo modelo HIDROSED 2 foram selecionados, inicialmente, os eventos chuva-deflúvio que geraram vazão afluente no reservatório da bacia. A vazão afluente foi calculada através do balanço hídrico no reservatório. Para a aplicação do modelo, discretizou-se a área em sete sub-bacias de acordo com a Figura 5.

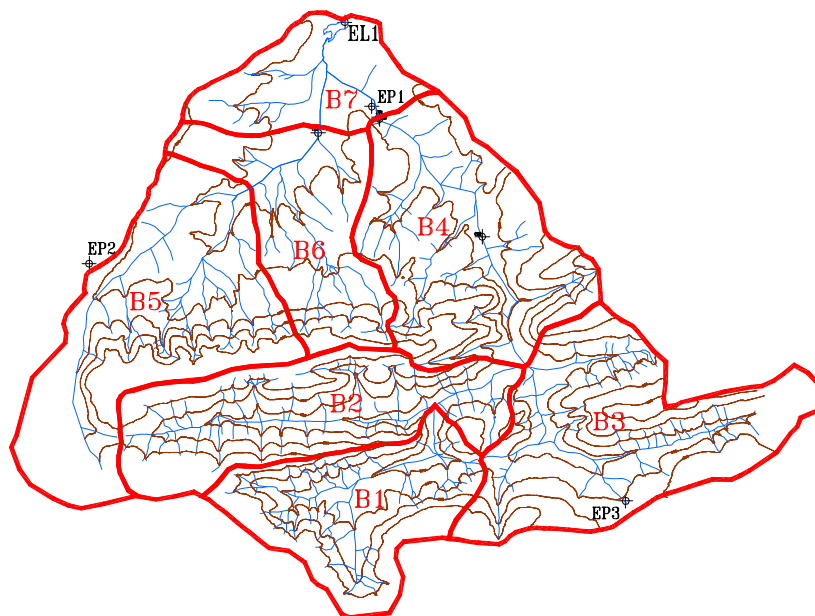


Figura 5 – Divisão da BEA em sub-bacias para aplicação do modelo HIDROSED2

Os parâmetros para entrada no modelo foram selecionados. O fator C de cobertura vegetal foi considerado constante para toda a bacia devido ao fato de a bacia ter vegetação bastante homogênea e preservada. Admitiu-se valor constante de $C = 0,006$ (caatinga arbustiva-arbórea conservada), como determinado por Muller *et. al.* (2006). O valor médio de erodibilidade do solo medido na bacia foi de $K = 0,047$ (ton.h/MJ.mm). A densidade real das partículas minerais é 2,65 e a velocidade de sedimentação foi admitida igual a 0,1 m/s.

Com relação à erosividade da chuva R (MJ.mm/ha.h), essa foi calculada para cada evento com base nos valores medidos de precipitação pluviométrica em cada uma das três estações pluviométricas (EPs) que estão localizadas na bacia. Para aplicação do modelo, realizou-se uma associação de sub-bacias às estações utilizando critério de proximidade das sub-bacias a uma determinada estação, levando-se em consideração também a topografia da área. De forma a avaliar a influência da variabilidade espacial da precipitação no transporte de sedimentos, o modelo foi então aplicado para seis diferentes arranjos de associação de sub-bacias as estações pluviométricas:

- Arranjo 1. Três EPs, associando-se as sub-bacias B1, B2 e B3 a EP3; B5 a EP2; B4, B6 e B7 a EP1;
- Arranjo 2. Todas as sub-bacias associadas à EP1;
- Arranjo 3. Todas as sub-bacias associadas à EP2;
- Arranjo 4. Todas as sub-bacias associadas à EP3;
- Arranjo 5. Todas as sub-bacias associadas à erosividade média das três estações; e
- Arranjo 6. Todas as sub-bacias associadas à precipitação média das três estações.

O único parâmetro calibrado na equação foi K_v , o “parâmetro de transporte”. Sua calibração foi realizada por Araújo (2007) com os eventos de 2004 para a Bacia Experimental de Aiuaba. O valor $K_v = 0,033$ foi utilizado nas simulações dos eventos de 2006.

3.3 - Métodos Empíricos

Aplicou-se também, na Bacia Experimental de Aiuaba, o método do Serviço Florestal (apud Haan *et al*, 1994), que é capaz de avaliar a taxa de transporte difuso (SDR) por evento, assim como as equações empíricas desenvolvidas por Maner, Roehl, Williams-Berndt, que avaliam um único valor médio de SDR, espacial e temporal, e são baseadas apenas na fisiografia da bacia.

- Método do Serviço Florestal

O método do Serviço Florestal determina a taxa de transporte difuso de sedimentos através do diagrama apresentado na Figura 6. Os parâmetros são inseridos no diagrama, formando um polígono. A razão entre a área do polígono e a área total do diagrama determina um valor que permite calcular o SDR para cada evento.

Para efeito de aplicação do método, todos os parâmetros do diagrama foram considerados constantes para a bacia, com exceção do escoamento superficial (cfs/ft), que foi determinado através das vazões de pico de cada evento.

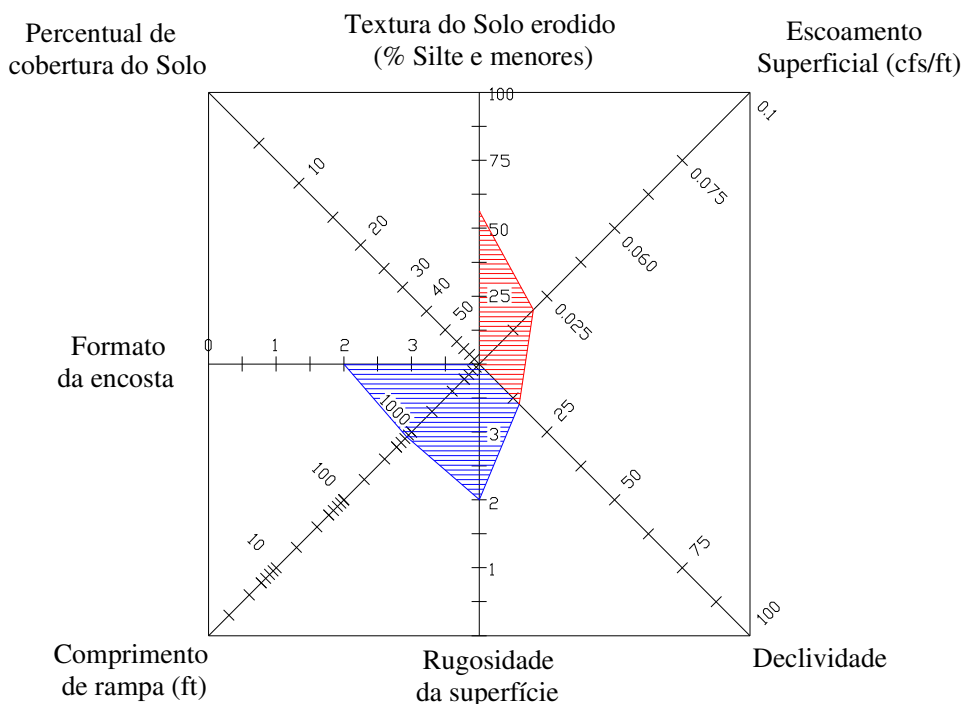


Figura 6 – Diagrama para estimativa da taxa de transporte difuso de sedimentos pelo Método do Serviço Florestal.

Após o cálculo da razão entre as áreas, determina-se através do diagrama de conversão (ver Haan *et. al*, 1994) de percentual de área obtido na Figura 6 em taxa de transporte difuso de sedimentos (SDR).

- Equação de Maner

A equação de Maner considera o efeito da declividade do terreno para o cálculo do transporte difuso, de acordo com a equação (2)

$$\log(SDR) = 2,943 - 0,824 \cdot \log(L_M / F_R) \quad (2)$$

em que, L_M representa o maior comprimento na bacia paralelo ao rio principal (m) e F_R o desnível entre a cota média do divisor e a cota do exutório.

- Equação de Roehl

Roehl, além dos parâmetros utilizados por Maner considera a razão de bifurcação e a área da bacia na determinação da taxa de transporte difuso de acordo com a equação (3)

$$\log(SDR) = 4,27 - 0,23 \cdot \log(A) - 0,51 \cdot \log(L_M / F_R) - 2,79 \cdot \log(B) \quad (3)$$

em que, A representa a área da bacia (milhas quadradas) e B a razão de bifurcação da bacia.

- Equação de Williams-Berndt

A equação de Williams-Berndt por sua vez, utiliza apenas a declividade do curso d'água principal como parâmetro para cálculo de SDR, de acordo com a equação (4)

$$SDR = 62,7 \cdot S_o^{0,403} \quad (4)$$

em que, S_o é a declividade média do rio principal.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados observados de produção de sedimentos na Bacia Experimental de Aiuaba para os eventos de 2006, realiza-se uma análise dos diferentes cenários de aplicação do modelo HIDROSED 2, dando destaque à influência da precipitação na estimativa de produção de sedimentos através do modelo. Visando uma melhor compreensão do processo de retenção difusa de sedimentos que ocorre na bacia, uma comparação é feita entre o modelo que tem bases físicas e outras metodologias.

Na Tabela 1 são apresentadas as características de precipitação e escoamento para os quatro eventos monitorados, verificando-se valores muito baixos de escoamento superficial e coeficientes de *run-off* medidos no exutório em uma área 11,80 Km², mesmo sob a influência do clima semi-árido. Desta forma, seriam necessárias medições de escoamento em outros pontos da bacia para uma avaliação da possível ocorrência de perdas em trânsito nesta área e sua influência no transporte de sedimentos.

Tabela 1 – Características de precipitação e escoamento para os 4 eventos de 2006 analisados.

Características dos Eventos	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4
Precipitação média (mm)	35	17	30	58
Duração da Precipitação (min)	220	105	75	380
Vazão afluente de pico (L/s)	49	39	471	329
Vazão afluente média do Evento (L/s)	24	22	209	144
Lamina escoada (mm)	0,036	0,014	0,257	0,309
Duração da vazão afluente (h)	5	2	4	7
Coeficiente de <i>run-off</i> (%)	0,10	0,08	0,87	0,53

A Tabela 2 apresenta os resultados de aplicação do modelo Hidrosed 2 com diferentes associações de sub-bacias ao fator de erosividade da chuva, calculado com base nos dados medidos em três estações pluviométricas localizadas na área.

Tabela 2 – Produção de sedimentos para diferentes arranjos de aplicação do modelo Hidrosed 2.

Arranjo	Produção de Sedimentos (Kg)	Erro (%)
Hidrosed 2 (3 Estações)	195	- 1
Hidrosed 2 (EP1)	146	- 26
Hidrosed 2 (EP2)	102	- 48
Hidrosed 2 (EP3)	246	+25
Hidrosed 2 (R médio)	91	- 54
Hidrosed 2 (Precipitação média)	75	- 62
Observado	197	-

Analisando os resultados apresentados na Tabela 2, verifica-se que o melhor cenário de produção de sedimentos obtido através da modelagem com HIDROSED 2 foi aquele em que foram utilizados dados das três estações pluviométricas tendo apresentado erro de apenas 1% em relação ao observado. Apesar de o modelo ter sido calibrado para a Bacia Experimental de Aiuaba com os eventos de 2004 tendo por base apenas a precipitação medida na estação EP1, este resultado

confirma o que é realidade na região, o caráter convectivo das chuvas, ou seja, a ocorrência de alta variabilidade espacial destas, mesmo em uma área inferior a 12 Km².

Por outro lado, o cenário com resultado de menor qualidade foi obtido com a utilização da precipitação média, apresentando erro de 62% em relação ao valor observado. A observação que se faz é que a precipitação pluviométrica média não mostrou representatividade em relação à precipitação na bacia, em termos de avaliação da erosividade de chuva e consequentemente da produção de sedimentos.

- Comparação entre os métodos

A Tabela 3 apresenta o resultado de produção de sedimentos e valores médios de SDR calculados pelas cinco metodologias comparadas neste trabalho: o modelo HIDROSED 2, com a utilização de três estações; o método do Serviço Florestal que avalia a taxa de transporte difuso por evento com base na vazão de pico, e as equações de SDR empíricas de Maner, Roehl e Williams-Berndt.

Tabela 3 - Produção de Sedimentos calculada para os eventos de 2006 pelos 5 métodos avaliados.

Método	Produção de Sedimentos (Kg)					Erro Total (%)	SDR médio (%)
	Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4	Total		
Hidroсед 2 (3 estações)	11	5	152	28	195	-1	0,006
Serviço Florestal	7	3	25	23	58	-70	0,002
Maner	5559	2316	13586	13786	35.247	+17.789	1,38
Roehl	3255	1356	7954	8072	20.637	+10.374	0,81
Williams & Berndt	50093	20871	122415	124219	317.599	+161.094	12,45
Observado	14	8	82	93	197	-	-

Os valores observados são baseados apenas nas medições de descarga sólida em suspensão, desprezando-se o transporte pelo leito, fenômeno pouco observado na área devido aos solos da bacia apresentarem textura fina. O modelo HIDROSED 2, que tem bases físicas, foi o que mais se aproximou dos valores observados. O Método do Serviço Florestal, apesar de ser empírico, utiliza as vazões de pico dos eventos em sua análise e apresentou erro total de 70%, entretanto sua estimativa está na mesma ordem de grandeza do medido principalmente nos pequenos eventos. Já as equações empíricas que são baseadas na fisiografia da bacia superestimaram a produção de sedimentos na bacia, apresentando erro total de mais de 10.000% em relação ao observado. A Figura 7 possibilita melhor visualização destes resultados através do gráfico de barras.

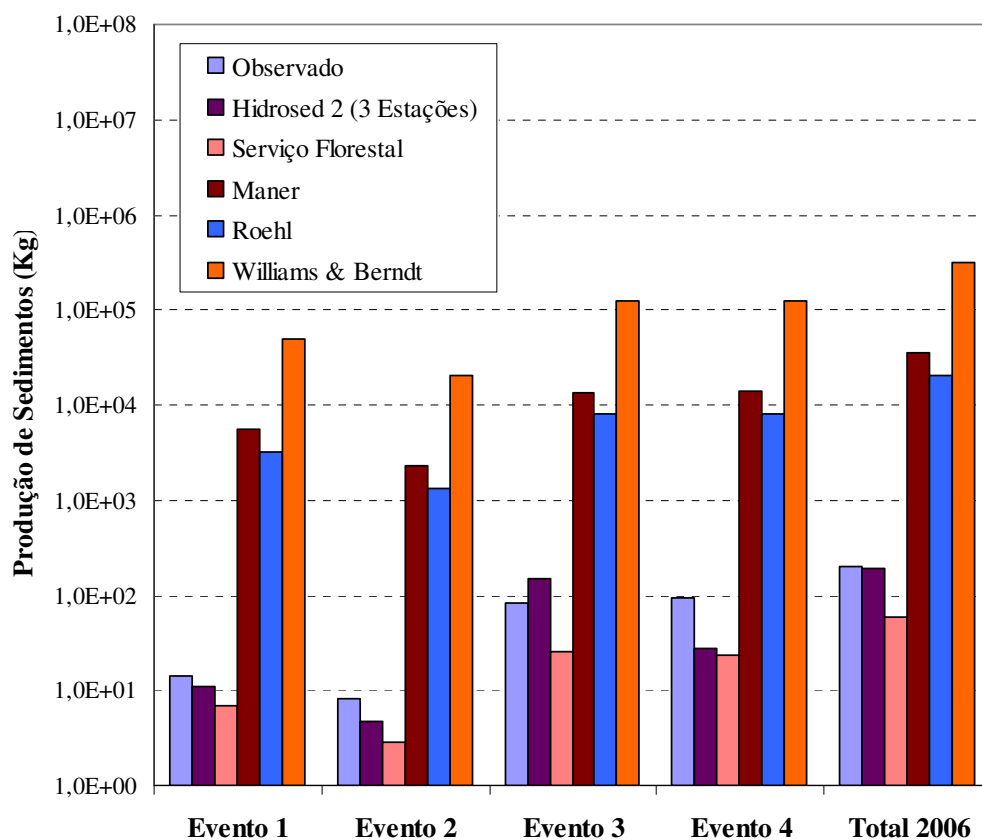


Figura 7 – Comparação da Produção de Sedimentos entre o observado e os cinco métodos.

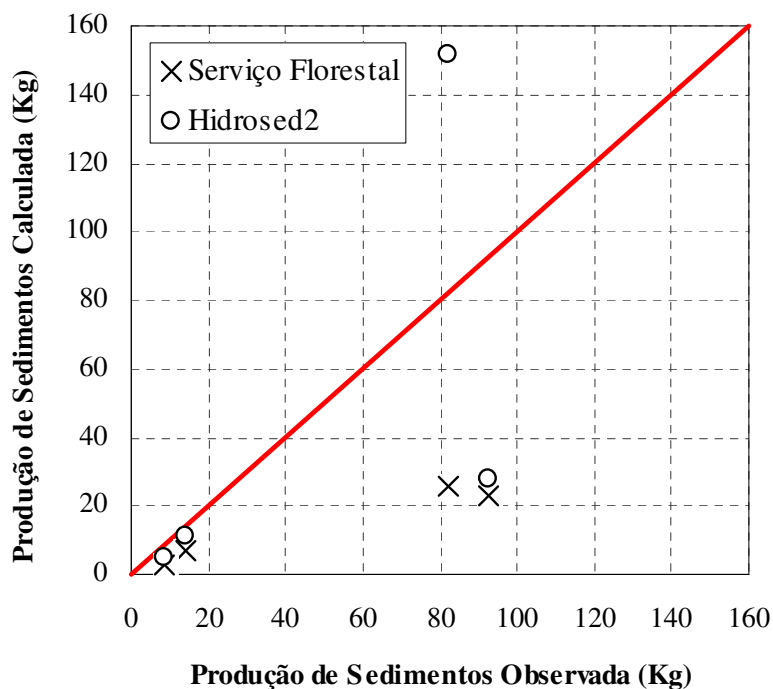


Figura 8 - Comparação entre a produção de sedimentos observada e calculada pelo Modelo Hidrosed2 e Método do Serviço Florestal para os quatro eventos de 2006.

Com relação aos métodos que apresentaram resultados na mesma ordem de grandeza dos valores observados, que são mostrados na Figura 8, o método do Serviço Florestal subestimou a produção de sedimentos nos quatro eventos, enquanto que o resultado do modelo HIDROSED 2 com a utilização de três estações pluviométricas, subestimou a produção de sedimentos em três dos quatro eventos. Entretanto, a pequena quantidade de eventos analisados não permite fazer conclusões com relação a possíveis tendências das duas metodologias.

5 - CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o modelo de base física e probabilística obteve resultados satisfatórios com relação aos dados observados de produção de sedimentos no ano de 2006 na bacia Experimental de Aiuaba, apresentando resultados muito superiores a aqueles apresentados pelas equações empíricas, ou seja, que não explicam o processo físico.

Os resultados sugerem que o processo de produção de sedimentos está bastante associado ao processo de deflúvio, uma vez que os baixos valores de produção de sedimentos e de SDR podem ser associados aos pequenos valores de *run-off*, bem como, estes podem estar associados também à influência da vegetação.

Os resultados sugerem ainda a necessidade de monitoramento em áreas experimentais e o aprimoramento da modelagem matemática tendo como foco a explicação dos processos físicos envolvidos na geração de deflúvio e transporte de sedimentos, contribuindo assim, para uma melhor avaliação da produção de sedimentos e consequentemente da disponibilidade hídrica na região semi-árida.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq através do projeto PROSED (CT-Hidro, processo n°. 552411/2005-1) e da bolsa de mestrado concedida ao segundo autor. Agradecem também à FUNCAP pela bolsa de mestrado concedida à primeira autora. Os autores agradecem ainda à Fundação Alemã para Pesquisa (DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft) pelo apoio ao Projeto SESAM, no âmbito do qual se desenvolve a atual pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. C. DE (2003). *Assoreamento em reservatórios do semi-árido: modelagem e validação (Siltation in semiarid reservoirs: modelling and validation, in Portuguese)*. Rev. Bras. Recursos Hídricos, ABRH, 8(2):39-56.

ARAÚJO, J.C.; BELO, P.S.C.; SILVA, R.A.C.; GERMANO, C.A.; MEDEIROS, P.H.A. Bacia Experimental de Aiuaba, CE. In: Righetto, A.M. (2004). (org.) *Implantação de bacias experimentais do semi-árido*. Relatório Técnico, FINEP, Natal.

ARAÚJO, J.C.; GUENTNER, A.; BRONSTERT, A. (2006). “*Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil*”. Hydrological Sciences Journal, 51(1).

ARAÚJO, J. C. DE (2007). “*Entropy-based equation to assess hillslope sediment production*”. Earth Surface Processes and Landforms. Doi 10.1002/esp.1502.

CARVALHO, N. O. (1994). *Hidrossedimentologia prática*. CPRM, Rio de Janeiro, 372p.

HANN, C. T., BARFIELD, B. J., HAYES, J. C. (1994). *Design hidrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press, San Diego, 588p.

ONDA, Y.; KATO, H.; TANAKA, Y.; TSUJIMURA, M.; DAVAA, G.; OYUNBAATAR, D. (2006). “*Analysis of runoff generation and soil erosion processes by using environmental radionuclides in semiarid areas of Mongolia*”. Journal of Hydrology, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.07.030.

MÜLLER E. N., FRANCKE T., MAMEDE G., BATALLA, R. J., ARAUJO J.C. DE, GÜNTNER A., BRONSTERT A.(2006). *Interim Report*. SESAM PROJECT– Sediment Export from large Semi-Arid Catchments: Measurement and Modelling, 78p.