



ANÁLISE DAS PERDAS DE ÁGUA E SOLO EM DIFERENTES COBERTURAS SUPERFICIAIS NO SEMI-ÁRIDO DA PARAÍBA

Celso A. G. Santos
Departamento de Engenharia Civil da UFPB

Richarde Marques da Silva
Departamento de Geociências da UFPB

Vajapeyam S. Srinivasan
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG

Resumo

O presente artigo busca descrever as perdas de água e solo nas bacias experimentais de Sumé e de São João do Cariri, ambas localizadas no semi-árido da Paraíba, Brasil. Os dados de lâmina escoada e produção de sedimentos foram obtidos em parcelas de 100 m² com cobertura superficial diferenciadas para o período de 1983 a 1991 em Sumé e para o período de 1999 a 2006 em São João do Cariri. Os experimentos em Sumé constituíram-se de uma parcela com solo revolvido, duas desmatadas, uma com caatinga nativa, duas com cobertura morta, uma com palma cultivada morro abaixo e uma com palma cultivada em nível; já os experimentos em São João do Cariri constituíram-se de duas parcelas, das quais uma desmatada e outra com cobertura de vegetação rasteira num período de três anos e depois mantida desmatada.

Palavras-chave: cobertura vegetal, perda de água, erosão, semi-árido.

Abstract

The present paper aims to describe the water and soil losses under various types of vegetal covers in the experimental basins of Sumé and São João do Cariri, both located in the semiarid region of Paraíba State, Brazil. The field data of runoff and sediment yield were collected in plots of 100 m² with different surface covers between 1983 and 1991 in Sumé and between 1999 and 2006 in São João do Cariri. The plot experiments in Sumé consist of one revolved soil plot, two cleared bare plots, one plot with native semiarid vegetation, two mulched plots, one plot with cactus planted down slope and one plot with cactus planted along the contour lines. The plots in São João do Cariri consist of one with bare soil and another with common grass cover during three years and with cleared bare soil later.

Key words: vegetal cover, water loss, erosion, semiarid region.

Introdução

O presente artigo busca descrever e analisar as perdas de água e solo nas bacias experimentais de Sumé e de São João do Cariri, a partir de dados observados de lâmina escoada e erosão, medidos em parcelas de 100 m² com coberturas superficiais diferenciadas.

A erosão dos solos é um dos mais importantes problemas ambientais em todo mundo. As questões relacionadas à erosão têm aumentado consideravelmente nos últimos anos, especialmente em regiões semi-áridas de países como o Brasil, onde grande parte da população depende de atividades econômicas ligadas à agricultura. Existem várias regiões semi-áridas no planeta, entretanto, nenhuma destas possui a pluviosidade, a extensão e a densidade populacional do semi-árido do nordeste brasileiro.

Nas regiões semi-áridas, como é o caso de parte do Nordeste do Brasil, a degradação dos solos pela erosão hídrica é um sério problema e por isso vem sendo estudada nas últimas décadas por órgãos e pesquisadores que se preocupam com os aspectos e as relações socioeconômicas e físicas do semi-árido.

A região semi-árida da Paraíba compreende uma área de aproximadamente 20.000 km² e caracteriza-se, do ponto de vista geoambiental, pela diversidade de suas paisagens, tendo como elemento marcante, no quadro natural da região, a condição de semi-aridez que atinge grande parte do seu território e a alta variabilidade pluviométrica espacial e temporal inerente a esse tipo climático (SALES, 2002).

A ocupação do semi-árido paraibano, assim como a de todo o sertão nordestino, ocorreu sempre em uma perspectiva de exploração excessiva, levando inclusive à exaustão de parte dos recursos naturais. Deve-se considerar ainda que, aliada a essa exploração predatória, estabeleceu-se uma estrutura social concentradora de renda e de poder, o que foi responsável pela relativa estagnação e baixos índices sócioeconômicos registrados na região.

Devido ao Nordeste localizar-se numa zona tropical, verifica-se que os processos relacionados à erosão e à vazão repercutem sobre o desenvolvimento regional, uma vez que podem causar danos à agricultura, às diversas outras atividades econômicas e ao próprio meio ambiente. Os prejuízos, sob o ponto de vista da perda de solo, contribuem para a degradação ambiental à medida que podem provocar: (a) redução da qualidade da água pela presença de sedimentos e suas associações com agrotóxicos e nutrientes; (b) assoreamento de córregos e lagos; (c) enchentes; e (d) inundações causadas por alterações no regime fluvial, as quais afetam a fauna, a flora e as atividades humanas (SILVA et al., 2003; GUERRA, 2005).

Como qualquer outro fenômeno do âmbito de estudo da Geografia Física, a erosão do solo, provocada pela ação do escoamento superficial, é estudada do

ponto de vista das interrelações espaciais, de seus fatores condicionantes e, principalmente, dos fatores físicos do solo. Portanto, o presente estudo busca trazer para o âmbito da Geografia, a discussão sobre a influência da cobertura vegetal nos processos de escoamento superficial e de erosão.

Segundo Brandt (1986), a cobertura vegetal pode atuar de duas maneiras no processo de erosão: primeiro reduzindo o volume de água que chega ao solo, através da interceptação e, segundo, alterando a distribuição do tamanho das gotas de chuva, afetando, com isso, a energia cinética da chuva. Já Thornes (1980) vai um pouco mais além e destaca que a cobertura vegetal controla a erosão dos solos de três maneiras: (a) atuando sobre o escoamento superficial; (b) no balanço hidrológico; e (c) nas variações sazonais da interceptação das gotas de chuva no solo.

Sobre os principais fatores atuantes que influenciam a erosão dos solos, Guerra (1998) aponta a erosividade da chuva, as propriedades físicas do solo, a cobertura vegetal e as características das encostas, como sendo os fatores relevantes e controladores da variação das taxas de erosão dos solos. Estudos sobre a erosão dos solos vêm sendo desenvolvidos desde meados da década de 1940, como exemplo, podemos citar os de Wischmeier (1960; 1976), Vanoni (1970), Kirkby (1980), Lal (1990), Singh (1995), Beven e Moore (1993) e Yu et al. (1999).

De acordo com Silva et al. (2003), o tema erosão tem sido intensivamente estudado segundo vários pontos de vista em várias partes do mundo, isto é, o assunto vem sendo pesquisado no sentido de produzir conhecimento técnico-científico dentro de várias áreas como Hidrologia, Geomorfologia, Geografia, Geologia, Pedologia e Agronomia, entre outras, mostrando a interatividade das relações entre o clima, a temperatura, o relevo, o mau manejo do solo e suas influências no processo de erosão, cujas conseqüências trazem sérios danos para o desenvolvimento regional.

Devido à necessidade de estudos hidrológicos de longo prazo em ambientes específicos, como é o caso do semi-árido nordestino, foram instaladas diversas bacias experimentais no Nordeste do Brasil. No entanto, estas bacias foram desativadas depois de um período curto de aquisição de dados, devido aos altos custos para a manutenção das atividades de monitoramento e pela falta de recursos, com exceção da bacia experimental de Sumé que foi mantida com o apoio de recursos provenientes de projetos institucionais como os da SUDENE-ORSTOM-UFPB (a parte que é UFCG agora), BID-CNPq-UFPB (a parte que é UFCG agora), e projetos individuais de pesquisadores da UFPB e UFCG. A Bacia Experimental de Sumé, instalada em 1981 pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) e pelo instituto francês de cooperação técnica ORSTOM (atualmente IRD), constituiu uma das mais importantes fontes de dados de escoamento superficial e erosão, e teve suas atividades encerradas em 1996, devido à solicitação da área experimental pelo proprietário da terra onde se localizava a bacia (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003). A partir de então, os estudos

experimentais começaram a ser realizados na Bacia Experimental de São João do Cariri. Atualmente, diversos órgãos financiadores, como FINEP, CT-HIDRO e CNPq, através de projetos, por exemplo, IBESA (Implantação de Bacias Experimentais no Semi-árido) e BEER-UFCG (Bacias Experimental e Representativa da Rede de Hidrologia do Semi-Árido), apóiam a continuidade das atividades de pesquisa na Bacia Experimental de São João do Cariri.

Materiais e Métodos

Como já mencionado, os dados aqui utilizados foram coletados em duas bacias experimentais localizadas na região semi-árida do Estado da Paraíba, a Bacia Experimental de Sumé e a Bacia Experimental de São João do Cariri. A Bacia Experimental de Sumé, atualmente desativada, estava localizada na Fazenda Nova, no município de Sumé, situada na altura do km 118 da BR-412, entre as cidades de Sumé e Monteiro, entre as coordenadas 7° 40' de latitude Sul e 37° 00' de longitude Oeste, com altitude entre 500 e 700 m.

A Bacia Experimental de São João do Cariri localizada na Bacia do Riacho Namorados (área de 15 km²) está localizada próxima à cidade do mesmo nome, entre as coordenadas 7° 22' de latitude Sul e 36° 31' de longitude Oeste, e com altitude entre 450 e 500 m. Essas duas bacias experimentais possuem um grande acervo de dados de escoamento superficial e erosão dos solos, além de dados climatológicos.

De acordo com a classificação climática de *Köppen*, o clima da região é do tipo climático *BSh* (semi-árido), caracterizado por insuficiência e irregularidade das precipitações pluviais e ocorrência de temperaturas elevadas. A precipitação pluvial média anual, observada no período de 1986 a 1990, foi de 695 mm. A temperatura média anual histórica é de 24°C e a umidade relativa média anual é de 57% (ALBUQUERQUE et al., 2002). Apresenta, ainda, solos rasos, pouco porosos e predominantemente plásticos, subsolo derivado do embasamento cristalino, vegetação do tipo caatinga e relevo bastante ondulado, com altitudes variando entre 450 a 700 m.

Parcelas de Erosão

A avaliação da influência da cobertura vegetal nas perdas de água e solo no semi-árido paraibano foi realizada a partir da comparação dos dados observados de escoamento superficial e de erosão produzidos em oito parcelas de erosão na Bacia Experimental de Sumé e em duas parcelas na Bacia Experimental de São João do Cariri, todas com área igual 100 m² (4,5 × 22,2 m). Essas parcelas de erosão foram mantidas sob condições distintas no que tange à cobertura do solo. Uma descrição mais detalhada das características das parcelas é apresentada nas Tabelas 1 e 2 para as bacias experimentais de Sumé e São João do Cariri, respectivamente.

Tabela 1. Característica das parcelas da Bacia Experimental de Sumé

Parcela	Declividade Média (%)	Cobertura Vegetal	Período de dados
1	3,8	Desmatada	1982–1991
2	3,9	Vegetação rasteira com cobertura morta	1982–1991
3	7,2	Vegetação rasteira com cobertura morta	1982–1991
4	7,0	Desmatada	1982–1991
5	9,5	Caatinga nativa	1982–1991
6	4,0	Palma morro abaixo	1983–1991
7	4,0	Palma cultivada em nível	1983–1991
8	4,0	Solo revolvido (Padrão Wischmeier)	1986–1991

Tabela 2. Característica das parcelas da Bacia Experimental de São João do Cariri

Parcela	Declividade média (%)	Cobertura Vegetal	Período de dados
1	3,4	Desmatada	1999–2006
2	3,6	Vegetação rasteira com cobertura morta	1999–2002
		Desmatada	2003–2006

O tipo de solo no local dos experimentos em Sumé é um Luvissole Hipocrômico Órtico Vértico, com horizonte A fraco e textura argilosa fase caatinga hiperxerófila. Nas parcelas de São João do Cariri o solo é do tipo Luvissole Crômico Vértico com horizonte A fraco e textura argilosa fase caatinga hiperxerófila.

Nas parcelas 1 e 4 (desmatadas) da Bacia Experimental de Sumé a vegetação era removida quando atingia 5 cm em média (Figuras 1a e 1b). As parcelas 6 e 7, com palma forrageira (Figura 1c), eram limpas quando a vegetação rasteira atingia cerca de 5 cm de altura. As parcelas com vegetação rasteira e com cobertura morta (2 e 3) eram roçadas quando a vegetação atingia de 20 a 25 cm, sem retirá-la de dentro das parcelas para servir como cobertura morta (Figura 1d).

Já na parcela 8 (Figura 1e), o solo foi mantido constantemente sem nenhum tipo de vegetação e revolvido com ancinho sempre que se tornava compactado pela ação das chuvas. A parcela com cobertura vegetal nativa (Figura 1f) não sofreu intervenção alguma (SRINIVASAN e GALVÃO, 2003).

Deve-se ressaltar que existia ainda na Bacia Experimental de Sumé uma nona parcela, porém, não foi levada em consideração no presente estudo devido ao fato dela possuir a mesma cobertura vegetal da parcela com caatinga nativa, e por ter sido implantada, apenas em 1986, numa área onde havia anteriormente um plantio de tomate até 1981, quando então a caatinga começou a se recuperar naturalmente.

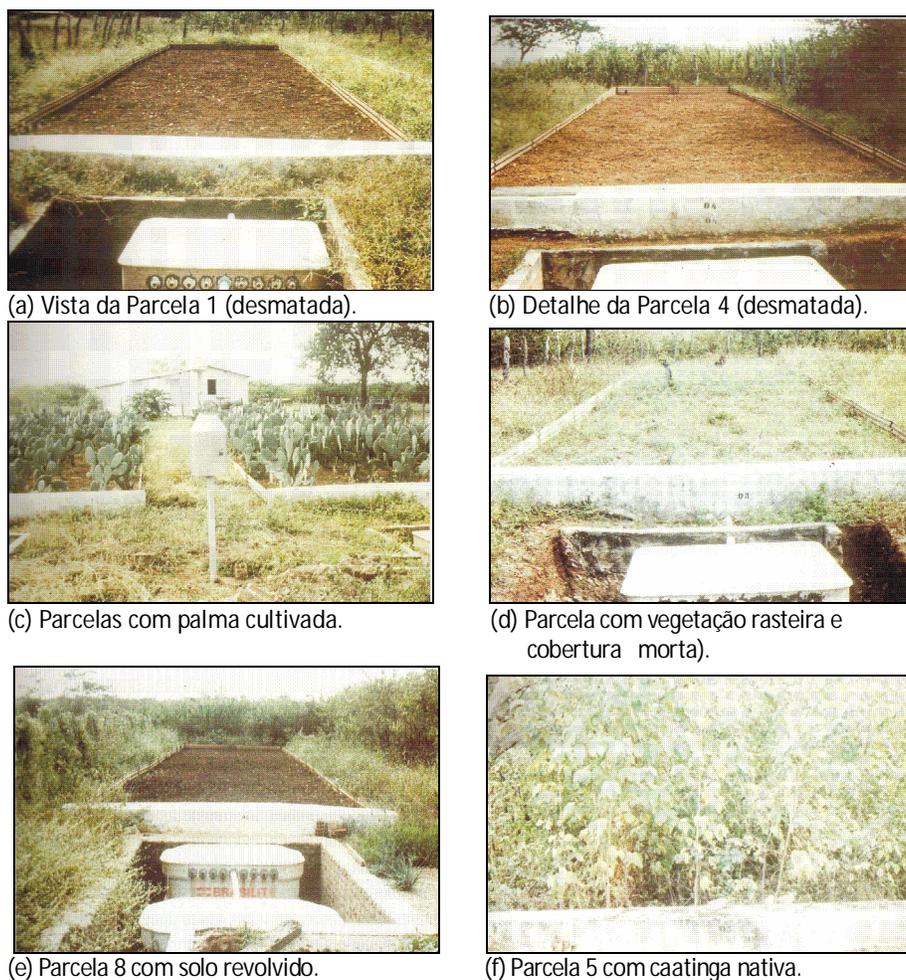


Figura 1. Parcelas de erosão da Bacia Experimental de Sumé.

As Figuras 2a e 2b mostram respectivamente a Parcela 1 (desmatada) e os detalhes dos tanques coletores de sedimentos e de lâmina escoada das parcelas da Bacia Experimental de São João do Cariri.

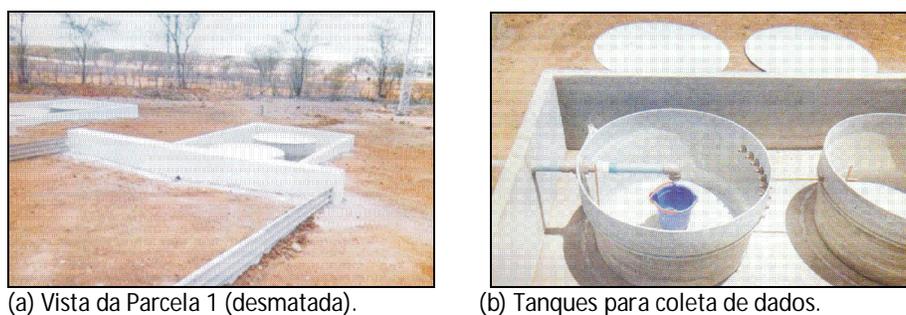


Figura 2. Parcelas de erosão na Bacia Experimental de São João do Cariri.

Microbacia da Bacia Experimental de São João do Cariri

A microbacia de 0,16 ha da Bacia Experimental de São João do Cariri foi utilizada, no presente estudo, para a análise da influência da erosividade da chuva sobre a erosão do solo. A bacia experimental é constituída por várias instalações dentre as quais existem três microbacias e quatro sub-bacias instrumentadas. A microbacia de 0,16 ha foi escolhida devido ao fato dela possuir o maior número de eventos observados de chuva, vazão e erosão dentre todas as outras. Os principais tipos de solos encontrados na Bacia Experimental de São João do Cariri são Luvisolo Crômico Vértico, Vertissolo e Neossolo Lítico.

Dados Coletados

Os dados observados de chuva, lâmina escoada e erosão, e aqui apresentados, fazem parte do acervo de dados coletados nas bacias experimentais de Sumé e São João do Cariri, para as escalas de parcelas e de microbacia. Foram registrados 264 eventos com escoamento e produção de sedimentos entre 1983 e 1991 na Bacia Experimental de Sumé. Os dados de precipitação foram coletados em um pluviógrafo localizado próximo às parcelas. Já na Bacia Experimental de São João do Cariri foram registrados 172 eventos entre 1999 e 2006, cujos valores de precipitação foram obtidos em um pluviógrafo localizado na própria bacia. Estes dados da precipitação foram utilizados para calcular os totais diários, mensais e anuais na bacia, para a determinação do índice de erosividade da chuva.

Erosividade da Chuva em São João do Cariri

A determinação do índice de erosividade da chuva, definida como o produto da energia cinética da chuva e a maior intensidade num intervalo de 30 minutos, foi realizada a partir dos dados registrados no pluviógrafo para cada evento de chuva que provocou escoamento no período de 1999 a 2002. Contudo, a erosividade foi considerada nula quando não existiu escoamento. A partir destes dados, foram calculadas as intensidades de cada evento em mm/h, além das máximas intensidades em trinta minutos, I_{30} em mm/h. O cálculo da energia cinética individual foi realizado para cada segmento de chuva com intensidade constante, através da equação proposta por Wischmeier e Smith (1978), convertida para o Sistema Internacional de Unidades (FOSTER et al., 1981):

$$E_c = 0,119 + 0,0873 \log_{10} I \quad (1)$$

em que E_c é a energia cinética da chuva, em MJ/ha, e I é a intensidade de chuva em cada segmento com intensidade constante em mm/h, sendo que, para intensidades maiores que 76 mm/h, a energia cinética foi considerada de valor máximo igual a 0,2832 MJ/ha.

Os valores calculados através da equação (1) foram utilizados para o cálculo do índice de erosividade EI_{30} , que é igual à soma das energias cinéticas para cada segmento com intensidade constante multiplicado pelo I_{30} .

Resultados e Discussões

Para estudar as perdas de água e solo nas duas bacias experimentais, inicialmente, as precipitações anuais em Sumé e São João do Cariri foram relacionadas. O coeficiente de determinação R^2 igual a 0,91 entre as duas precipitações, conforme mostrado na Figura 3, indica que seus totais anuais podem ser considerados como altamente correlacionados.

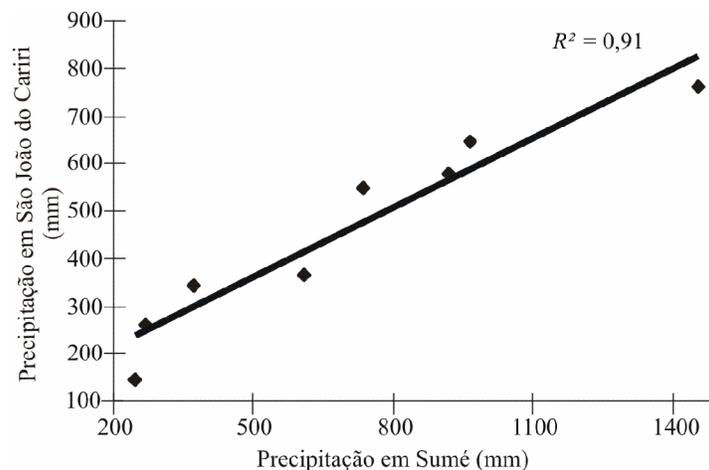


Figura 3. Relação entre os valores anuais da precipitação em São João do Cariri e Sumé.

Influência da Cobertura Vegetal na Lâmina Escuada

Comparando-se os dados da Tabela 3, percebe-se que a Parcela 8 (solo revolvido) escoou aproximadamente cinco vezes mais água que na Parcela 5 (com caatinga nativa) em relação ao valor médio do período estudado (Tabela 3). Assim, a lâmina escoada da Parcela 8, em relação à precipitação média anual de 1986 a 1991 (707 mm), foi em torno de 26%, enquanto a lâmina escoada na Parcela 5, para o período de 1983 a 1991, foi de 4%.

Segundo Albuquerque et al. (2001), as menores reduções de lâmina escoada ocorrem provavelmente pelo fato do solo, independente do tipo de cobertura, apresentar limitada capacidade de infiltração, a partir da qual a taxa de enxurrada tende a igualar-se em diferentes sistemas de manejo do solo. Portanto, os resultados obtidos mostram que as áreas onde a vegetação nativa foi preservada,

houve uma diminuição das taxas de infiltração de água no solo, acarretando assim, uma diminuição do volume escoado (Tabela 3). Desta forma, esses dados ressaltam o importante papel que a cobertura vegetal pode desempenhar no controle das perdas de água por escoamento superficial, principalmente, quando considerada a irregularidade temporal e espacial das chuvas na região semi-árida do Nordeste do Brasil.

Os valores médios anuais, excluídos os anos de 1989 e 1990 de lâmina escoada nas Parcelas 6 e 7, com palma morro abaixo e palma em nível, foram de 198 mm e 172,7 mm, respectivamente. Os volumes da lâmina escoada para essas mesmas parcelas em relação à precipitação média anual do mesmo período, excluídos os dados de chuva de 1989 e 1990 (559 mm), foram de 35,4% e 30,9%, respectivamente (Tabela 3). As Parcelas 1 e 4 (desmatadas) apresentaram os maiores valores de lâmina escoada, 199,3 mm e 215,0 mm e, conseqüentemente, a maior relação com a precipitação média anual, 35,2% e 38,0%, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Valores anuais de precipitação e da lâmina escoada das parcelas em Sumé

Ano	Chuva (mm)	Lâmina Escoada (mm)							
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1983	245	24,2	4,5	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	-
1984	608	199,4	75,4	43,1	221,0	5,0	90,5	39,0	-
1985	1.453	543,0	254,5	326,9	630,0	136,0	547,6	496,0	-
1986	965	235,0	106,9	115,6	304,4	39,0	299,3	243,0	251,5
1987	372	109,6	0,0	0,0	89,3	0,0	112,4	60,3	58,7
1988	736	351,6	2,0	10,3	290,0	0,0	330,0	262,6	319,0
1989	917	280,0	9,1	0,0	316,4	0,0	-	-	331,0
1990	267	50,7	0,0	0,0	57,0	0,0	-	-	43,0
1991	986	0,0	5,4	0,0	6,8	23,9	6,5	108,3	123,7
Média	566	199,3	50,9	55,1	215,0	22,7	198,0	172,7	187,8

A partir dos dados observados de lâmina escoada na Bacia Experimental de São João do Cariri, nota-se que a Parcela 1 (desmatada) obteve uma lâmina escoada anual média igual a 173,9 mm, enquanto que na Parcela 2 (mantida um tempo com vegetação rasteira com cobertura morta e outro período desmatada) foi observada uma média anual de 125,5 mm, uma redução da lâmina escoada igual a 26,38% mm (Tabela 4). Assim, a lâmina escoada da Parcela 1, em relação à precipitação média anual (456 mm), foi de 38,1%, enquanto a lâmina escoada na Parcela 2 foi de 27,5%, mostrando que estas áreas apresentaram valores considerados próximos, uma vez que o tipo de cobertura vegetal, em boa parte do tempo, foi igual em ambas as parcelas (Tabela 4). Esses valores podem ser explicados, em parte, pelo fato de que as condições em ambas as parcelas eram quase iguais e, com o crescimento da cobertura vegetal, houve a diminuição do

escoamento. Nos anos 2000 e 2001, o efeito da vegetação foi total e no ano 2002, com a retirada da vegetação rasteira, o escoamento aumentou gradualmente.

A representação gráfica de todos os eventos de vazão registrados nas duas parcelas da Bacia Experimental de São João do Cariri mostra que os eventos extremos de lâmina escoada foram semelhantes em ambas as parcelas, com exceção dos picos em alguns eventos isolados. Nota-se também uma pequena diferença em relação aos valores das médias observadas, 7,56 mm na Parcela 1 e 5,45 mm na Parcela 2 (Figura 4).

Tabela 4. Valores anuais e médios de precipitação e da lâmina escoada das parcelas em São João do Cariri

Ano	Precipitação (mm)	Lâmina Escoada (mm)		
		Parcela 1	Parcela 2	Redução (%)
1999	143	21,1	15,5	26,38
2000	762	273,8	133,3	51,30
2001	343	137,0	14,1	89,74
2002	550	233,7	182,0	22,13
2003	261	63,0	56,8	9,88
2004	645	220,0	199,5	9,32
2005	580	276,8	247,8	10,46
2006	365	165,9	154,6	6,83
Média	456	173,9	125,5	27,87

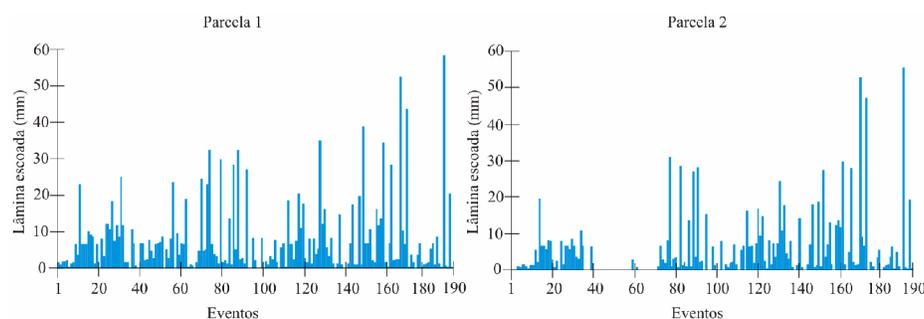


Figura 4. Lâmina escoada nas parcelas de São João do Cariri.

Influência da Cobertura Vegetal na Erosão

Comparando-se os dados observados de erosão na Bacia Experimental de Sumé, constatou-se que o valor médio anual de erosão do solo na Parcela 8 (solo revolvido) com relação ao valor médio da Parcela 5 (com caatinga nativa), no período de 1983 a 1990, foi 84 vezes maior (Tabela 5). Segundo Albuquerque et al. (2002), em estudo sobre a influência do manejo do solo sobre as perdas de

solo para o semi-árido paraibano, essa diferença é atribuída à remoção da cobertura vegetal da superfície do solo na parcela com solo revolvido, permitindo a ação do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial sobre o solo descoberto, ocasionando, assim, a desagregação e transporte das partículas do solo. Constatou-se, dessa forma, que as parcelas com caatinga nativa contribuíram para reduzir significativamente as taxas de erosão do solo, quando comparadas com a parcela descoberta.

Os valores médios anuais de erosão, correspondente ao período de 1986 a 1990, obtidos para a Parcela 5 (caatinga nativa) e para as Parcelas 1 e 4 (desmatadas), foram de 0,2, 33,2 e 52,1 t/ha, respectivamente (Tabela 5). Os valores médios de erosão das Parcelas 2 e 3 (com vegetação rasteira e cobertura morta) e da Parcela 4 (desmatada) foram de 0,3 e 52,1 t/ha, respectivamente (Tabela 5), sendo que a parcela com cobertura morta reduziu as perdas de solo em 99% quando comparada com aquela desmatada. Fato que pode ser explicado quando se considera que a existência da cobertura morta contribuiu para proteger a superfície do solo, tanto do impacto das gotas de chuva quanto do poder de desagregação e transporte da enxurrada, corroborando os resultados obtidos por Levien et al. (1990).

Tabela 5. Valores anuais e médios de precipitação e das perdas de solo das parcelas experimentais em Sumé

Ano	Chuva (mm)	Erosão (t/ha)							
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1983	245	14,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	–
1984	608	32,6	0,8	0,3	83,2	0,0	0,6	2,4	–
1985	1.453	102,2	0,4	0,6	186,0	0,2	10,4	6,0	–
1986	965	19,8	1,0	1,6	25,6	0,6	13,7	8,5	17,3
1987	372	11,0	0,0	0,0	18,9	0,0	7,8	2,8	9,5
1988	736	58,7	0,0	0,0	63,5	0,0	31,5	12,8	48,8
1989	917	51,1	0,0	0,0	83,0	0,0	–	–	34,5
1990	267	9,3	0,0	0,0	5,1	0,1	–	–	5,5
1991	986	0,0	0,1	0,0	1,0	0,6	0,5	0,7	36,2
Média	728	33,2	0,3	0,3	52,1	0,2	9,2	4,7	25,3

Analisando-se os valores de erosão das Parcelas 6 e 7, constatou-se que, em relação ao valor médio no período de estudo, o plantio de palma cultivada em nível apresentou perda de solo bem inferior (4,7 t/ha) àquele obtido com o cultivo de palma morro abaixo (9,2 t/ha) (Tabela 5). Desta forma, o cultivo em nível contribuiu para reduzir em torno de 94,6% as perdas de solo, quando comparado com o cultivo morro abaixo, corroborando com os resultados obtidos por Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Margolis et al. (1991).

No que tange à comparação dos dados de erosão na Bacia Experimental de São João do Cariri observou-se que o valor médio anual de erosão na Parcela 1 (desmatada) em relação ao valor médio da Parcela 2 (mantida um tempo com vegetação rasteira, com cobertura morta e outro período desmatada), no período estudado, foi aproximadamente oito vezes maior, apresentando valores médios de erosão de 4,2 e 1,0 t/ha, respectivamente, com uma redução de perdas de solo da ordem de 74,6% (Tabela 6).

As Figuras 5a e 5b apresentam a relação entre os dados observados de precipitação e erosão medidos nos 11 eventos nas Parcelas 1 e 2. Na Parcela 1, os maiores valores observados de erosão estiveram entre 1,5 e 2,0 (t/ha), enquanto que, na Parcela 2, os maiores valores observados de erosão ficaram entre 0,5 e 0,8 (t/ha), ou seja, valores menores quando comparados com a Parcela 1. Isto mostra que há influência direta da cobertura vegetal sobre as perdas de solo e água. A representação gráfica de todos os eventos registrados nas duas parcelas da Bacia Experimental de São João do Cariri mostra que os eventos mais extremos de perdas de solo foram distintos quando comparados evento a evento (Figura 6).

Tabela 6. Valores anuais e médios de precipitação e das perdas de solo das parcelas experimentais em São João do Cariri

Ano	Chuva (mm)	Erosão (t/ha)		
		Parcela 1	Parcela 2	Redução (%)
1999	143	1,2	0,3	75,0
2000	762	14,4	1,5	89,6
2001	343	4,1	0,1	97,6
2002	550	3,2	0,5	84,4
2003	261	1,1	0,1	90,9
2004	645	2,9	0,6	79,3
2005	580	4,6	3,3	28,3
2006	365	2,3	2,2	4,3
Média	456	4,2	1,0	74,6

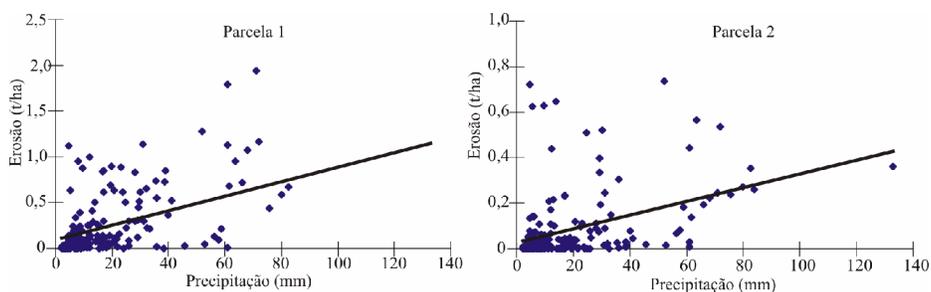


Figura 5. Relação entre precipitação e erosão nas parcelas de São João do Cariri.

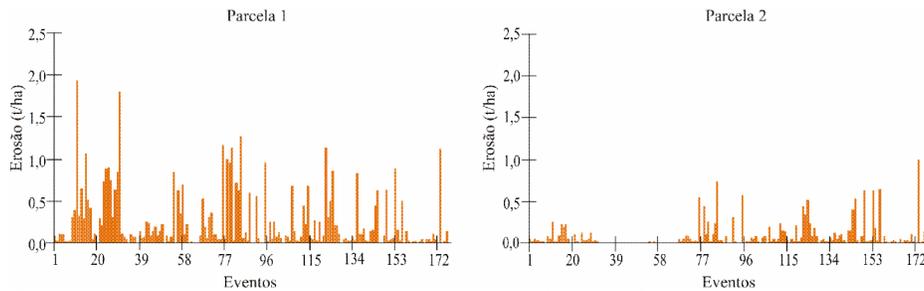


Figura 6. Erosão nas parcelas de erosão em São João do Cariri.

Influência da Erosividade da Chuva na Erosão dos Solos

O potencial de erosão hídrica de determinado local ou região pode ser caracterizado por meio da avaliação da erosividade das chuvas e sua distribuição temporal (Cogo et al., 2003). Com o objetivo de se verificar a influência do índice de erosividade na erosão dos solos no semi-árido paraibano foi determinada a erosividade anual e mensal da chuva em uma microbacia da Bacia Experimental de São João do Cariri, descrita anteriormente. Observa-se na Tabela 7 que os valores totais de erosividade mais altos ocorreram no período compreendido entre os meses de janeiro a março. A precipitação anual apresentou-se de forma irregular ao longo do período estudado, sempre um ano com baixo valor, seguido de outro com alto valor, refletindo diretamente nos valores de erosividade, conforme pode ser visto na Figura 7.

Tabela 7. Valores mensais e anuais de erosividade em MJ-mm/ha-h em São João do Cariri

Meses	1999	2000	2001	2002	Média Mensal
Janeiro	0,00	1.143,07	0,00	428,59	392,92
Fevereiro	0,00	492,91	0,00	654,91	286,96
Março	33,55	1067,75	168,64	85,77	338,93
Abril	22,87	599,36	9,62	0,00	157,96
Maiο	49,84	153,68	0,00	330,78	133,58
Junho	23,34	24,79	63,32	0,00	27,86
Julho	0,00	206,84	8,28	14,50	57,41
Agosto	0,00	50,37	25,99	0,00	19,09
Setembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outubro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Novembro	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dezembro	69,58	0,00	14,50	0,00	21,02
Média Anual	16,60	311,56	24,20	126,21	-

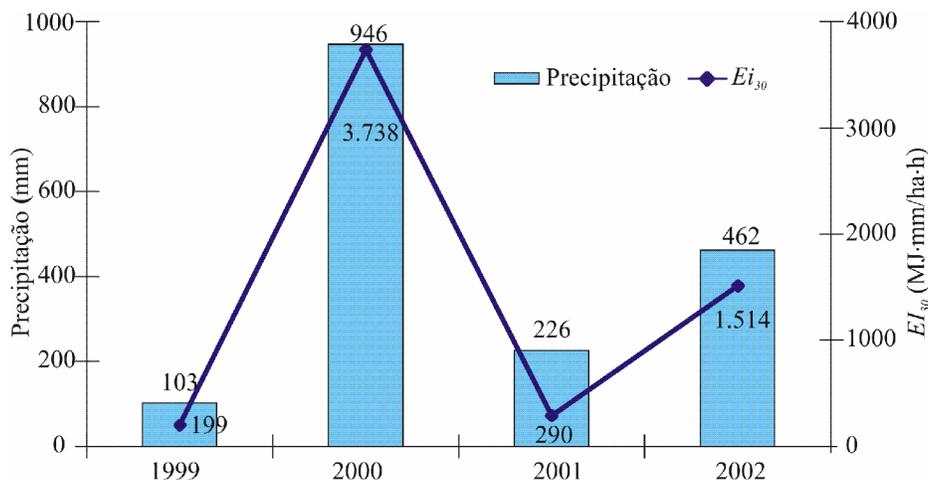


Figura 7. Distribuição dos valores anuais da erosividade e sua comparação com a precipitação.

Considerações Finais

Sobre a erosividade constatou-se que há uma correlação entre a erosividade e a erosão dos solos. Entretanto, outras características da chuva e da área devem ser levadas em consideração para melhor descrever o fenômeno da erosão.

Os resultados obtidos sobre a lâmina escoada nas parcelas de Sumé mostraram que a Parcela 8 (solo revolvido) gerou escoamento em torno de cinco vezes mais que a Parcela 5 (com caatinga nativa), tomando como base o valor médio do período estudado. Assim, a lâmina escoada da Parcela 8 foi de 22,1%, em relação à precipitação média anual (566 mm), enquanto o escoamento de água na Parcela 5 foi de apenas 4%, destacando a grande influência da vegetação nativa sobre a infiltração.

Os valores médios anuais de escoamento ou perda de água da Parcela 6 (palma morro abaixo) e da Parcela 7 (palma em nível) foram de 154 mm e 134,4 mm, respectivamente. Os volumes da lâmina escoada das parcelas com palma cultivada morro abaixo e palma cultivada em nível foram relativamente próximos (Tabela 3), de 27,2% e 23,7%, respectivamente, em relação à precipitação pluviométrica média anual do mesmo período (566 mm). As Parcelas 1 e 4 (desmatadas) apresentaram os maiores valores de lâmina escoada, 199,3 mm e 215,0 mm e, conseqüentemente, a maior relação com a precipitação média anual, 35,2% e 38,0%, respectivamente.

Os resultados de erosão obtidos em Sumé mostraram que as Parcelas 1 e 4 (desmatadas) contribuíram com perdas anuais de solo de respectivamente 33,2 e 52,1 t/ha. Nas Parcelas com cobertura morta a erosão foi de 0,3 t/ha, enquanto que na Parcela 5 (com caatinga nativa) a erosão média foi de apenas 0,2 t/ha.

Em São João do Cariri, a erosão média na Parcela 1 foi 3,4 t/ha, enquanto que na Parcela 2 foi de 0,4 t/ha, mostrando a influência da cobertura vegetal sobre o processo erosivo no semi-árido.

Sobre os valores observados de lâminas escoadas em São João do Cariri nota-se que a Parcela 1 (desmatada) obteve uma lâmina escoada anual média igual a 173,9 mm, enquanto para a Parcela 2 (mantida um tempo com vegetação rasteira com cobertura morta e outro período desmatada) o valor médio observado foi de 125,5 mm. Com a eliminação da vegetação da superfície os valores nas lâminas escoadas na Parcela 2 aproximaram-se aos valores da Parcela 1.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Campina Grande pelos dados de campo obtidos em parceria. Os autores têm sido apoiados com recursos e bolsas do CNPq e do MCT/FINEP/CT-HIDRO.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. Efeito do desmatamento da caatinga sobre as perdas de solo e água de um Luvissole em Sumé (PB). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 121–128, 2001.

ALBUQUERQUE, A. W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V. S. E SANTOS, J. R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n.1, p.136–141, 2002.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. Piracicaba: Livroceres, 1985. 368p.

BEVEN, K.J. e MOORE, I.D. *Terrain analysis and distributed modeling in hydrology*. 1993.

BRANDT, C.J. *Transformation of the kinetic energy of rainfall with variable tree canopies*. Londres: Universidade de Londres, 1986, 446 p. Tese de Doutorado.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n. 4, Viçosa, 2003.

FOSTER, G.R.; MCCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. Conservation of the Universal Soil Loss Equation the SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, Baltimore, v.36, p.355–359, 1981.

GUERRA, A. J. T. M. Processos erosivos nas encostas. In: Guerra A. J. T. e Cunha, S. B (orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. cap. 4, p.149–210.

GUERRA, A.J.T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. *Revista do Departamento de Geografia*, 16, p. 32–37. 32, 2005.

KIRKBY, M.J. Modeling water erosion processes. In: Kirkby, M. J. e Morgan, R. P. C. (orgs.) *Soil erosion*. Londres, p.183–216, 1980.

LAL, R. *Soil erosion in the tropics – principles and management*. McGraw-Hill, 1990.

LEVIEN, R.; COGO, N.P.; ROCKENBACH, C.A. Erosão na cultura do milho em diferentes sistemas de cultivo anterior e métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, p. 73–80, 1990.

Margolis, E.; Galindo, I.C.L.; Mello Netto, A.V. Comportamento de sistemas de cultivo da mandioca em relação à produção e às perdas por erosão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, p. 357–362, 1991.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no nordeste brasileiro. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, n. 11, pp.115–126, 2002.

SANTOS, C.A.G.; SUZUKI, K.; LOPES, W.T.A. Sediment yield in Ishite watershed using a runoff-erosion kinematic model. In *Anais do XXIX IAHR Congress, 2001*, Beijing. Theme D - Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery. Beijing: Tsinghua University Press, v. II, p. 146–151, 2001.

SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; PAIVA, F.M.L. Modelagem hidrossedimentológica de uma microbacia da bacia experimental de São João do Cariri. In *XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, João Pessoa: ABRH, 2005.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. *Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas*. São Carlos: Rima, 2003.

SINGH, V.P. *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, 1995.

SRINIVASAN, V.S.; GALVÃO, C.O. *Bacia experimental de Sumé: Descrição e dados coletados*. Campina Grande, PB: Universidade Federal de Campina Grande/CNPq, 2003.

YU, L.; RIGHETTO, A.M.; MARTINS, R.P.; ROSMAN, P.C.C.; EIGER, S. Métodos numéricos em recursos hídricos. Rio de Janeiro; Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1999.

WISCHMEIER, W.H. Cropping-management factor evaluation for a universal soil-loss equation. Soil science society of American Proc. 24 (4), p. 322–326, 1960.

WISCHMEIER, W.H. Use and misuse of the universal soil-loss equation. Journal of soil and Water Conservation, 31(1), p. 5–9, 1976.

Contato com os autores: celso@ct.ufpb.br, richardemarques@yahoo.com.br.

Recebido em: 21/05/2007

Aprovado em: 20/06/2007