

PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO SEMIÁRIDO PARAIBANO

*José Yure Gomes dos Santos¹; Celso Augusto Guimarães Santos²; Richarde Marques da Silva³;
Valeriano Carneiro de Lima Silva⁴*

RESUMO – A erosão dos solos se destaca como um dos mais importantes problemas ambientais, e no Nordeste do Brasil isso não poderia ser diferente, principalmente, na porção semiárida da região, que sofre com a irregularidade espacial e temporal das chuvas, ocorrência de eventos extremos e pela pequena proteção vegetal (conhecida como *caatinga*). Este trabalho apresenta os resultados da produção de sedimentos em duas sub-bacias da Bacia Experimental de São João do Cariri e uma metodologia para recuperação de áreas degradadas a partir da construção de barramentos de pedra. Com isto, pretende-se reduzir os processos erosivos e aumentar a disponibilidade hídrica local, visando a recuperação do solo e conservação da água, para fins de uso na agricultura familiar e dessedentação animal. Os resultados obtidos no trabalho mostraram que a área de estudo é bastante susceptível a processos erosivos e que a construção de barramentos de pedra mostrou-se ser uma técnica de restauração do meio ambiente eficaz e barata. Vários barramentos foram instalados e monitorados, confirmando definitivamente a eficácia dos mesmos e apontando as áreas de recuperação onde poderiam ser implantadas atividades de agricultura familiar.

ABSTRACT – Soil erosion is highlighted as one of the most important environmental problems, and in northeastern Brazil that could not be different, mainly in the semiarid portion of the region which suffers from the spatial and temporal irregularity of rainfall, extreme events and less vegetation cover (known as *caatinga*) protection. This paper presents the results of sediment yield in two sub-basins of São João do Cariri Experimental Basin and a methodology for recovery degraded areas using check dams. By this means, it is intended to reduce erosion and increase the local water availability, for the soil recovery and water conservation, to be used in family farming and animal watering. The obtained results showed that the study area is very susceptible to erosion and that the check dams proved to be an effective and inexpensive environment recovery technique. Several check dams were made and monitored, definitively confirming their effectiveness and identifying recovered areas in which family farming activities could be deployed.

Palavras-Chave – erosão; escoamento superficial; barramentos de pedra.

1) Bolsista FACEPE e Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: joseyure@hotmail.com

2) Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 58051-900, Telefax: (83)3216-7684. E-mail: celso@ct.ufpb.br

3) Professor do Departamento de Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Natureza/UFPB, João Pessoa-PB. E-mail: richarde@geociencias.ufpb.br

4) Bolsista CAPES e Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental/PPGEUA, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. E-mail: caju_ufpb@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos se destaca como um dos mais importantes problemas ambientais, e no Nordeste do Brasil, isso não poderia ser diferente, principalmente na porção semiárida da região. A região semiárida mesmo não possuindo um período de chuvas regulares ao longo do ano, sofre enormemente com a erodibilidade dos solos, seja pela pequena proteção vegetal existente na região, conhecida como caatinga, seja também pela ocorrência de chuvas torrenciais. Todos esses fatores somados são condicionantes para o processo de erosão na região semiárida do nordeste do Brasil.

A erosão dos solos, além de reduzir a capacidade produtiva das culturas, pode causar sérios danos ambientais, como assoreamento e poluição das fontes de água. Contudo, usando adequados sistemas de manejo do solo e adequadas práticas conservacionistas, os problemas de erosão podem ser satisfatoriamente resolvidos (Cogo *et al.*, 2003). Em outras palavras, a erosão é uma das formas mais prejudiciais de degradação do solo, e grande parte do Nordeste apresenta fenômenos de degradação de solos por processos erosivos, causados principalmente pela concentração das águas de escoamento superficial e por uma intervenção antrópica indiscriminada.

Para estudar os fenômenos relacionados aos processos hidrológicos em bacias hidrográficas, foram instaladas diversas bacias experimentais na região Nordeste, mantidas com apoio de recursos provenientes de projetos institucionais como os da SUDENE, ORSTOM, BID, FINEP, CT-HIDRO e CNPq. Essas bacias são atualmente uma das mais importantes fontes de dados de escoamento superficial e erosão. Um resumo do acervo de dados hidrossedimentológicos da Bacia Experimental de Sumé, pode ser conferido em Srinivasan e Galvão (2003). Atualmente, os estudos experimentais na Bacia Experimental de São João do Cariri são apoiados por diversos órgãos financiadores, através de projetos, como por exemplo, IBESA (Implantação de Bacias Experimentais no Semiárido) e BEER (Bacias Experimentais e Representativas) da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), que apoiam a continuidade das atividades de pesquisa em bacias experimentais.

Com base em estudos, várias técnicas de controle de erosão têm sido propostas nos últimos anos, mas sua aplicação depende de alto custo, principalmente quando se trata de áreas com baixa renda, ou da própria aceitação social. Há muito tempo, estruturas denominadas de *check dams* vêm sendo utilizadas em diversos países como técnicas de controle contra erosão dos solos, uma vez que, são de fácil compreensão, assimilação e construção (Martín-Rosales *et al.*, 2003). Os *check dams* são barramentos construídos em pequenos cursos d'água com a função de barrar os sedimentos carregados pelo escoamento superficial e de aumentar as áreas úmidas, permitindo o desenvolvimento de culturas na agricultura familiar, as quais são principalmente utilizadas para a subsistência das populações do seu entorno.

Este trabalho apresenta os resultados da produção de sedimentos em duas sub-bacias da Bacia Experimental de São João do Cariri e uma metodologia para recuperação de áreas degradadas a partir da construção de barramentos de pedra no semiárido do Estado da Paraíba. Com isto, pretende-se reduzir os processos erosivos e aumentar a disponibilidade hídrica local, visando à recuperação e conservação da água e do solo, para fins de uso na agricultura familiar e dessedentação animal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Bacia Experimental de São João do Cariri

A Bacia Experimental de São João do Cariri – BESJC localiza-se na parte média da Bacia do Rio Taperoá, na Mesorregião da Borborema e Microrregião do Cariri Oriental, a $7^{\circ} 20' 12''$ e $7^{\circ} 23' 17''$ e de latitude Sul e $36^{\circ} 31' 22''$ e $36^{\circ} 32' 58''$ de longitude Oeste, nas proximidades da cidade de São João do Cariri (Figura 1), distante 220 km de João Pessoa, capital do Estado da Paraíba. A BESJC possui uma área de 1.378 ha e é utilizada como local de pesquisa e experimentos no semiárido da Paraíba.

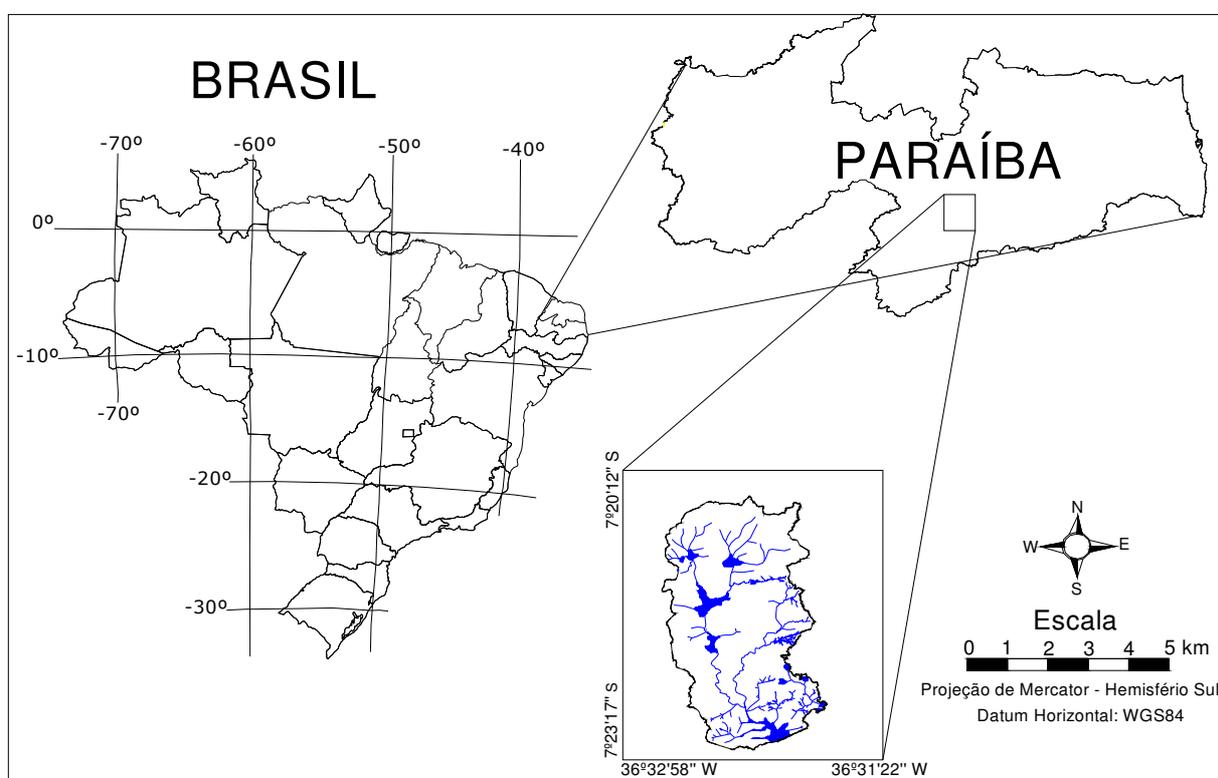


Figura 1 – Localização da Bacia Experimental de São João do Cariri no Estado da Paraíba.

A BESJC possui diversas unidades experimentais para estudos hidrossedimentológicos, como duas parcelas de erosão de 100 m², três parcelas experimentais de erosão de 3 m² operadas

sob chuva simulada, três micro-bacias e quatro sub-bacias. Dentre as sub-bacias, destacamos nesse estudo as sub-bacias 1 e 2, que possuem dados observados de escoamento superficial e produção de sedimentos (Figura 2). As sub-bacias 1 e 2 possuem o divisor de água em comum (Figura 3) e áreas de 59 e 32 ha, respectivamente. A sub-bacia 1 apresenta cultivo de milho e algaroba (*Prosopis juliflora*), além da própria caatinga, enquanto que a sub-bacia 2 apresenta um maior grau de conservação com uma cobertura nativa relativamente preservada (Santos *et al.*, 2007b; Guimarães *et al.*, 2011).



Figura 2 – Vertedor da sub-bacia 1 (esquerda) e da sub-bacia 2 (direita).

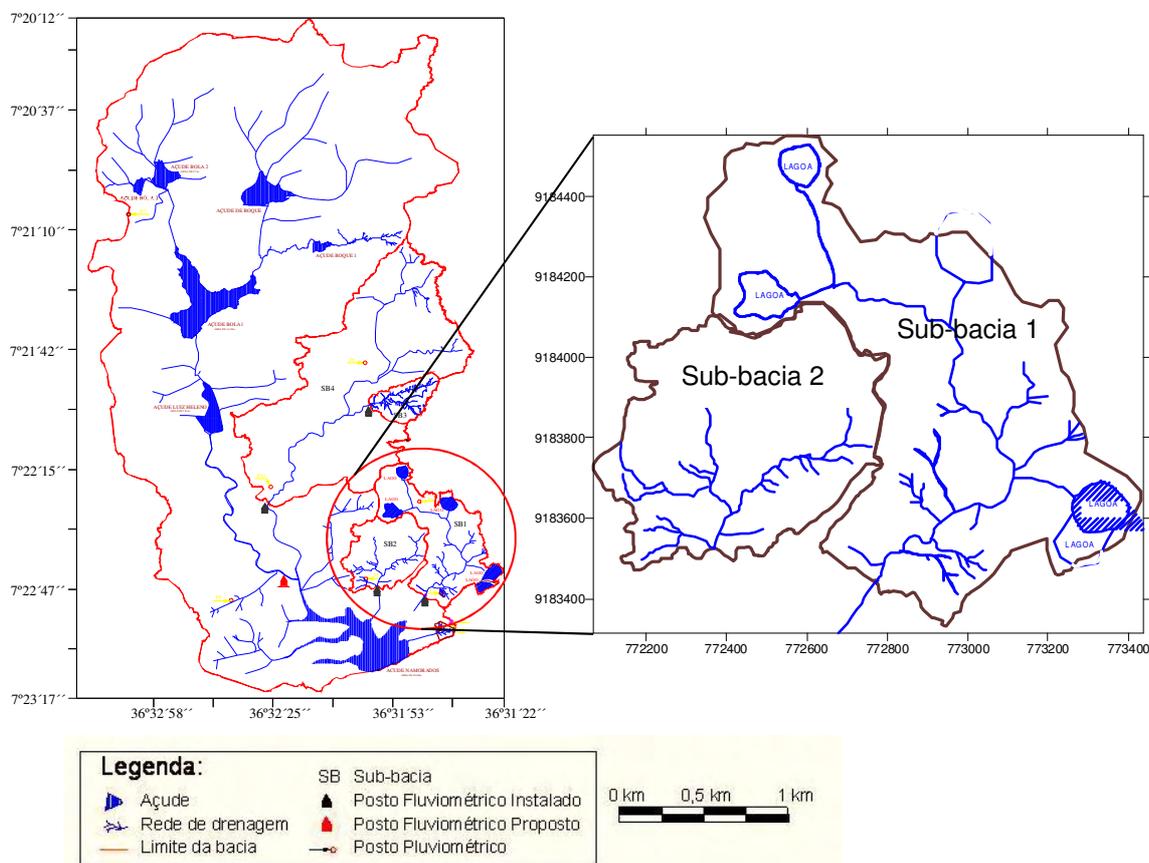


Figura 3 – Mapa da BESJC com detalhes das sub-bacias 1 e 2.

A região onde se encontra a BESJC apresenta um clima do tipo BSh – semiárido quente com chuvas de verão, segundo a classificação de Köppen. A precipitação pluvial média anual, observada na área da bacia, no período de 1987 a 2010, foi de 462 mm/ano, com intervalos registrados de 55 a 965 mm/ano. O período chuvoso ocorre de janeiro a maio, a umidade relativa do ar é de aproximadamente 70% e a evapotranspiração de 1.816 mm/ano, com uma média mensal de 151 mm (Araujo *et al.*, 2005). A temperatura ao longo do ano varia entre 23,5°C (mínima), mês de junho, e 28°C (máxima), respectivamente nos meses de setembro a janeiro, apresentando uma temperatura média anual de 26,2°C (Srinivasan *et al.*, 2004).

Esta região caracteriza-se por apresentar uma vegetação do tipo caatinga (baixa e muito espaçada) e um solo raso, arenoso e seco, subsolo derivado do embasamento cristalino, relevo ondulado e altitude variando entre 450 a 550 m, apresentando ainda afloramentos graníticos. Essas características tornam-se determinantes para aumentar a fragilidade do ambiente, favorecendo a instalação de processos de degradação ambiental.

O curso d'água mais importante da bacia é o Riacho Namorados, ao longo do qual estão localizados alguns açudes particulares. As águas deste riacho são drenadas para o açude público dos Namorados (1.378 ha de área de espelho d'água e volume de armazenamento projetado de 2.041.645 m³), construído pelo DNOCS em 1932, que por sua vez drena diretamente para o Rio Taperoá.

Os Barramentos de Pedra

Os barramentos de pedra em pequenos cursos d'água, conhecidos também como *check dams*, visam proporcionar a proteção do solo contra os efeitos erosivos ou solapamentos, causados pelas águas provenientes de cursos d'água em épocas de enchentes. Com essa técnica, pode-se reter os sedimentos transportados pela ação pluvial, com o acúmulo desses sedimentos. Essa retenção de sedimentos proporciona o controle de perdas de solo e o aumento de áreas úmidas, ajudando na recuperação dessas áreas, as quais podem ser usadas para a agricultura familiar da região.

Na BESJC, no período de abril a maio de 2010, foram construídos cinco e recuperados três barramentos (Figura 4). Destes oito barramentos, nenhum foi construído nas sub-bacias experimentais da BESJC para não provocar alterações nos dados observados de escoamento e produção de sedimentos.

Para a construção dos barramentos de pedra, foram considerados alguns fatores para a localização dos mesmos, tais como, constatação de um elevado nível de erosão, disponibilidade de rochas no entorno e regularidade do terreno. A Tabela 1 apresenta algumas características dos barramentos de pedra instalados na BESJC, aqui denominados de CD.

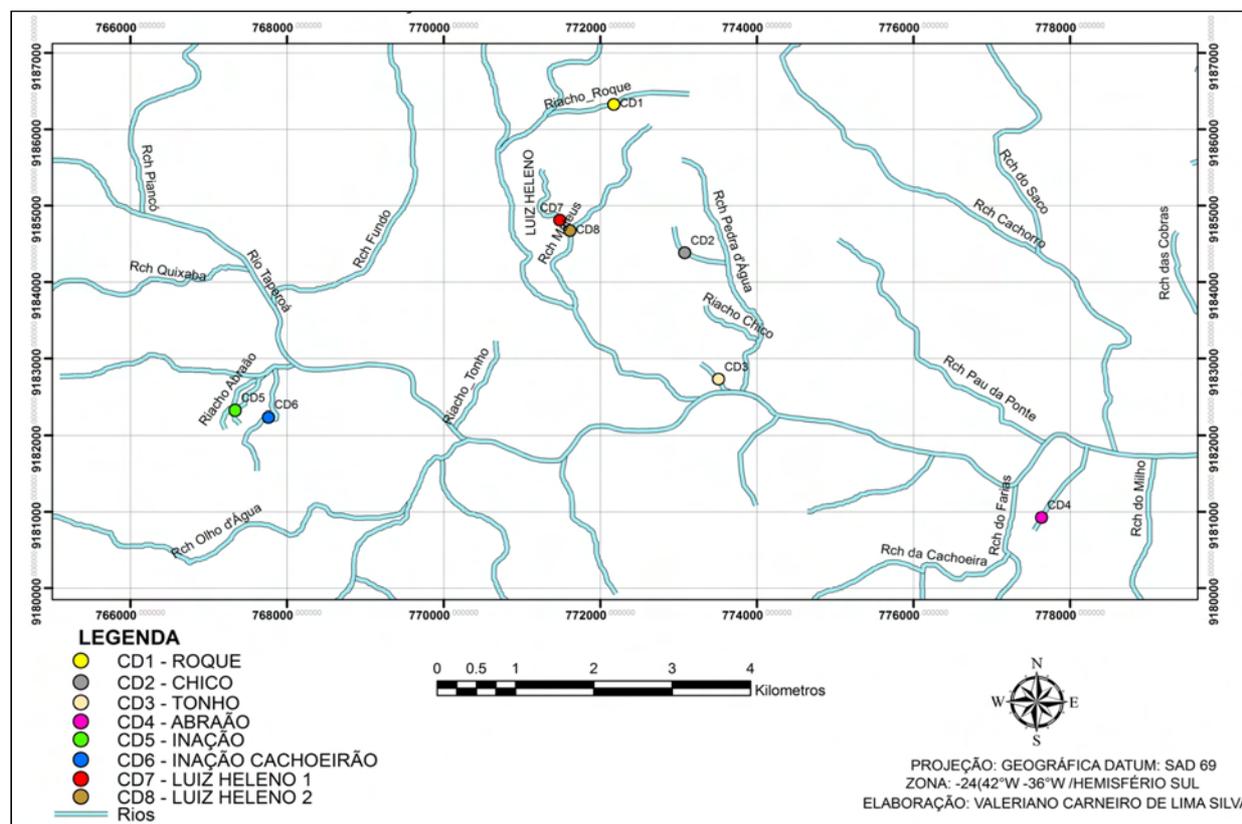


Figura 4 – Mapa da espacialização dos barramentos na Bacia do Riacho Namorados.

Tabela 1 – Características dos barramentos de pedra instalados na BESJC

Código	Nome	Duração da obra (dias)	Operários	Altura (cm)	Perímetro do semiarco (m)
CD1	Roque	2	6	30	11,00
CD2	Chico	3	6	100	11,00
CD3	Tonho	5	6	100	15,50
CD4	Abraão	1	6	60	16,00
CD5	Inação	3	6	130	7,50
CD6	Inação Cachoeirão	5	5	110	12,00
CD7	Luiz Heleno 1	5	5	120	10,80
CD8	Luiz Heleno 2	5	5	110	9,50

Os barramentos levaram de dois a cinco dias para serem construídos, com altura variando entre 30 e 130 cm. A altura dos barramentos deve-se ao fato de que a maioria da rede de drenagem é constituída por drenos de pequena dimensão. A pluviometria média anual dessa região é considerada como baixa, todavia, essa região também é afetada por chuvas intensas, os quais provocam grandes descargas líquidas e de sedimentos, chegando a carrear grandes seixos rolados e blocos rochosos, também conhecidos como matacões.

Para a localização dos locais para construção dos barramentos, foi utilizada a metodologia de Ratnan *et al.* (2005) que usa técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica para escolher os locais de implantação dos barramentos no estudo da produção de

sedimentos para priorização de sub-bacias na Índia. Neste estudo, os locais dos barramentos foram determinados através da melhor distribuição espacial dos barramentos e pelo local mais adequado para a construção, com base na existência de rochas e pedregulhos nas proximidades do local, e também dando preferência por trechos da rede de drenagem em forma de “U” que possibilitasse a colocação das rochas, conforme ilustra a Figura 5. Após a determinação do local do barramento, limpava-se o local da construção retirando os pedregulhos para a acomodação das rochas maiores, formando assim, a base do barramento (Figura 6).

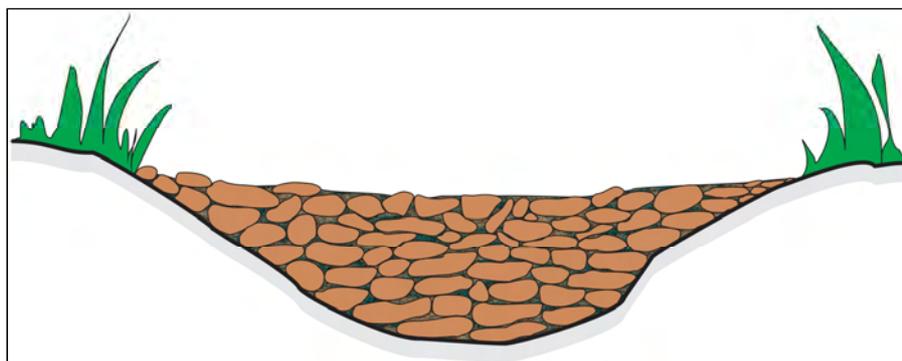


Figura 5 – Ilustração de uma seção transversal do barramento.

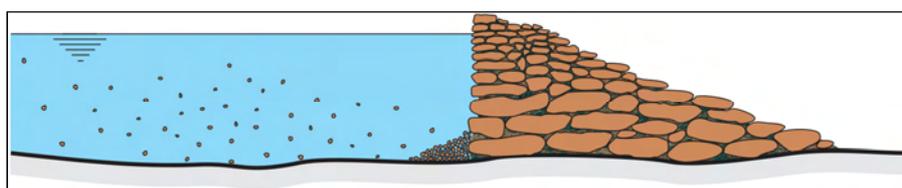


Figura 6 – Seção longitudinal do barramento.

Após a escolha do local para construção dos barramentos, fragmentos de rochas pouco desgastadas pelas intempéries, sem diâmetro padrão, eram transportados. As rochas maiores eram colocadas na base, e as rochas menores eram utilizadas para o acabamento do barramento em forma de semiarco com o lado convexo na montante do rio (Figura 7). Uma das vantagens desse tipo de barramento é o baixo custo para sua construção (Martín-Rosales *et al.*, 2003). Na construção dos barramentos foram utilizados alguns equipamentos como: (a) padiolas feita de madeira e utilizada para o transporte das rochas de tamanho variando de médio a pequeno; (b) luvas de couro, para a proteção das mãos dos operários quando forem rolar e mover as rochas; (c) alavancas, utilizadas para fraturar as rochas em tamanhos menores e para o transporte de rochas de médio e grande porte; e (d) botinas, proteção para os pés dos trabalhadores, devido à ocorrência de espinhos e animais peçonhentos.



Figura 7 – Forma de semiarco do barramento CD7.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Produção de sedimentos na BESJC

A produção de sedimentos de uma bacia representa somente uma parte do total da erosão dos solos dentro de uma bacia, uma vez que uma significativa porção dos sedimentos é depositada antes de chegar ao exutório da bacia. No Nordeste do Brasil, inúmeros estudos sobre erosão dos solos têm sido desenvolvidos para determinar a erosão em bacias experimentais, como apresentado em Santos *et al.* (2003), Srinivasan *et al.* (2003), Silva *et al.* (2007), Santos *et al.* (2007a), Silva e Santos (2008), Santos (2009), Santos *et al.* (2009), Santos (2011), Santos *et al.* (2011a), Santos *et al.* (2011b), Paiva *et al.* (2011), Guimarães *et al.* (2011) e Silva *et al.* (2012).

Neste estudo, analisa-se a produção de sedimentos em duas sub-bacias da BESJC. Os dados observados de chuva, escoamento superficial e erosão, aqui apresentados, fazem parte do acervo de dados coletados na bacia BESJC. Foram coletados 21 eventos entre 2004 e 2006 para as sub-bacias 1 e 2, cujos valores de precipitação foram obtidos em um pluviógrafo localizado na própria bacia e os valores de lâmina e produção de sedimentos foram obtidos a partir de linígrafos e medições volumétricas do sedimento a montante do vertedor composto (triangular + retangular).

A Tabela 2 apresenta os valores anuais médios de precipitação e escoamento superficial das sub-bacias 1 e 2 da BESJC. A partir dos dados observados de lâmina escoada na BESJC, nota-se que a sub-bacia 1 obteve um escoamento superficial anual médio igual a 34,9 mm, enquanto que na sub-bacia 2 foi observada uma média anual de 36,2 mm, uma diferença de lâmina escoada igual

a 4,34% mm (Tabela 2). Assim, o escoamento superficial da sub-bacia 1, em relação à precipitação média anual (240 mm), foi de 14,5%, enquanto que o escoamento superficial na sub-bacia 2 foi de 15,2%, mostrando que estas áreas apresentaram valores considerados próximos (Tabela 2). Esses valores podem ser explicados, em parte, pelo fato de que as condições em ambas as sub-bacias eram semelhantes.

Tabela 2 – Valores anuais médios de precipitação e escoamento superficial das sub-bacias 1 e 2 da BESJC

Ano	Precipitação (mm)	Escoamento superficial (mm)		
		Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Diferença (%)
2004	218	27,8	26,2	5,57
2005	238	34,0	28,6	16,12
2006	265	42,9	54,6	21,57
Média	240	34,9	36,5	4,34

A Figura 8 apresenta a relação entre a precipitação e o escoamento superficial nas sub-bacias da BESJC, e a Figura 9 apresenta os eventos de escoamento superficial.

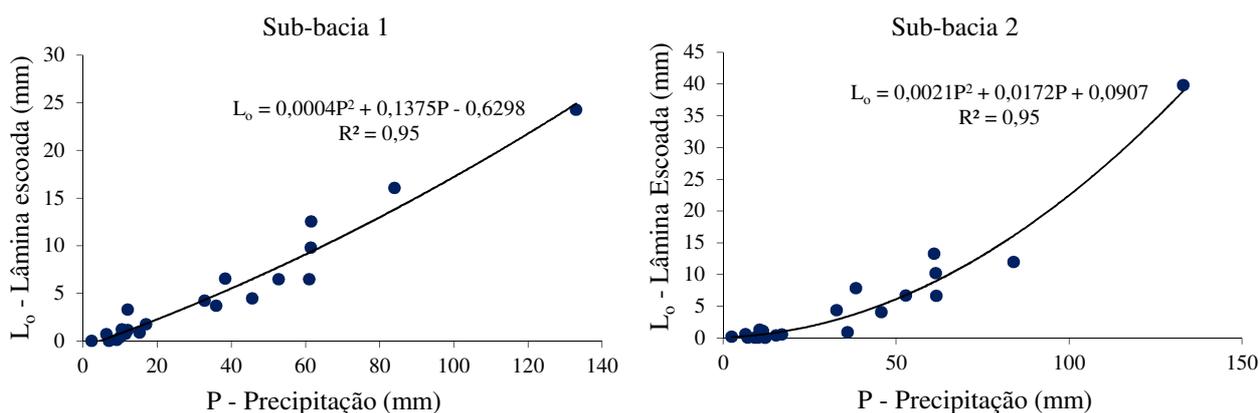


Figura 8 – Relação entre a precipitação e o escoamento superficial nas sub-bacias da BESJC.

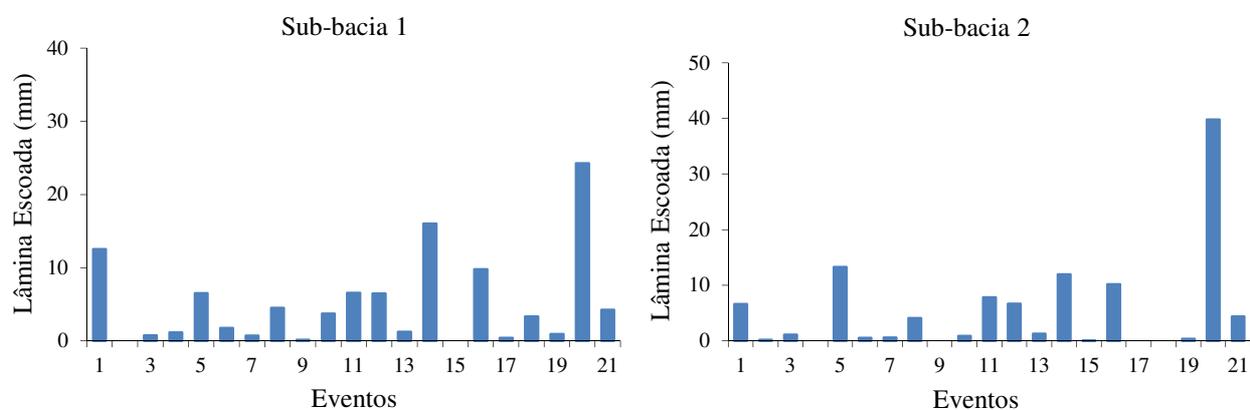


Figura 9 – Escoamento superficial nas sub-bacias da BESJC.

A correlação entre a precipitação e a lâmina escoada apresentou um bom resultado para os eventos registrados nas duas sub-bacias. Nas sub-bacias 1 e 2, o fator de correlação foi de 0,95

(Figura 8). A representação gráfica de todos os eventos de vazão registrados nas duas sub-bacias da BESJC mostra que os eventos extremos de lâmina escoada foram semelhantes em ambas as parcelas, com exceção dos picos em alguns eventos isolados (Figura 9).

No que tange à comparação dos dados de produção de sedimentos na BESJC (Tabela 3), observou-se que o valor médio anual da produção de sedimentos na sub-bacia 1, em relação ao valor médio da sub-bacia 2, foi 11,4% menor para o período estudado. A sub-bacia 1 apresentou uma produção de sedimentos de 112,0 kg/ha e a sub-bacia 2 uma produção de 126,4 kg/ha.

Tabela 3 – Valores anuais médios de precipitação e produção de sedimentos nas sub-bacias 1 e 2 da BESJC

Ano	Precipitação (mm)	Produção de Sedimentos (kg/ha)		
		Sub-bacia 1	Sub-bacia 2	Diferença (%)
2004	218	37,3	58,0	35,6
2005	238	134,7	138,3	2,6
2006	265	163,9	183,0	10,4
Média	240	112,0	126,4	11,4

A Figura 10 apresenta a relação entre os dados observados de precipitação e produção de sedimentos coletados nos 21 eventos nas sub-bacias 1 e 2. Observa-se que o comportamento da produção de sedimentos foi semelhante entre as duas sub-bacias, na sub-bacia 1 o maior valor observado de erosão ficou entre 80 e 100 kg/ha, enquanto que na sub-bacia 2 o maior valor observado de erosão ficou entre 100 e 120 kg/ha. A correlação entre a precipitação e a produção de sedimentos para as sub-bacias da BESJC apresentou um bom resultado, com fator de correlação de 0,82 para a sub-bacia 1 e 0,89 para a sub-bacia 2 (Figura 10).

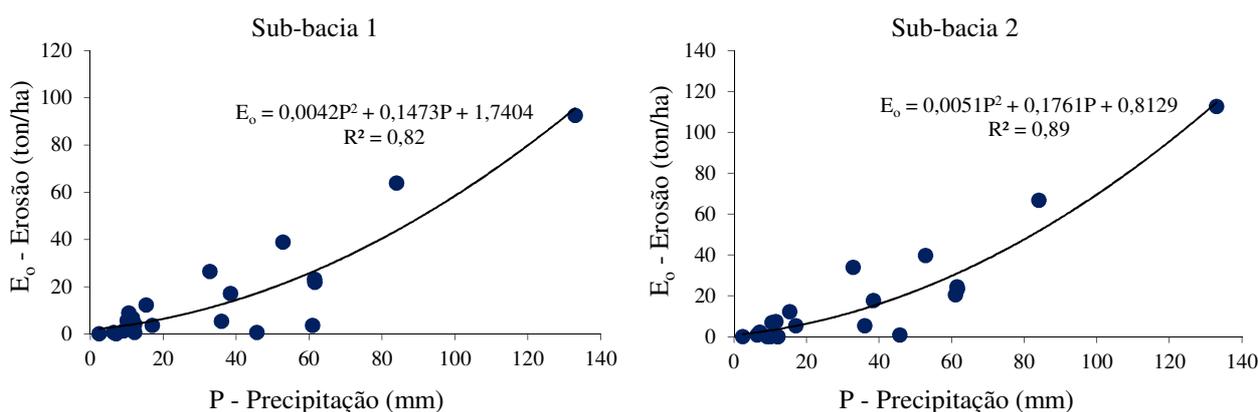


Figura 10 – Relação entre a precipitação e a produção de sedimentos nas sub-bacias da BESJC.

A representação gráfica de todos os eventos registrados nas duas sub-bacias da Bacia Experimental de São João do Cariri mostra que os eventos mais extremos de perdas de solo foram semelhantes quando comparados evento a evento (Figura 11).

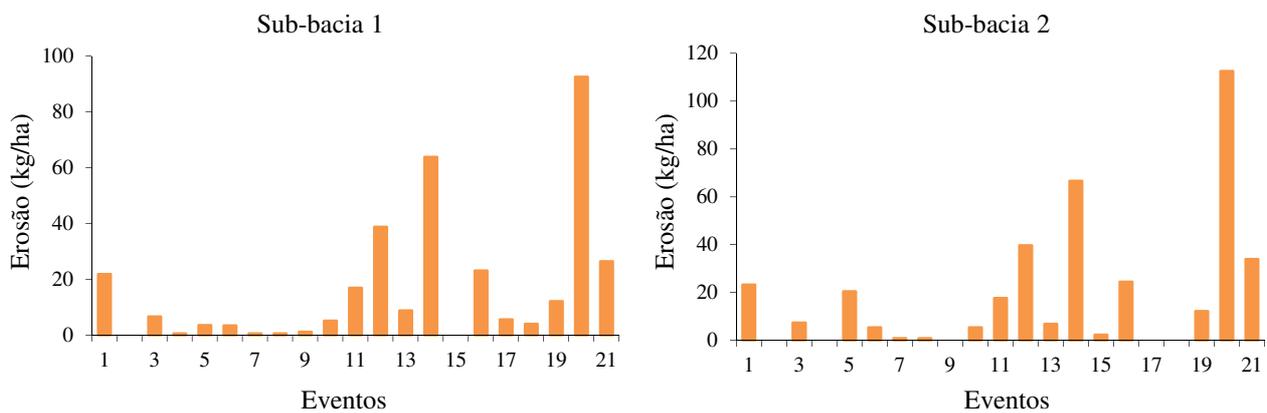


Figura 11 – Produção de sedimentos nas sub-bacias da BESJC.

Embora as sub-bacias 1 e 2 da BESJC possuam uma cobertura vegetal um pouco distinta, com a sub-bacia 1 apresentando cultivo de milho, algaroba e vegetação de caatinga mais degradada, e a sub-bacia 2 apresentando uma vegetação de caatinga mais preservada, os dados de perdas de água e solo foram semelhantes, apresentando uma perda um pouco maior na sub-bacia 2 (Tabela 3). Isto decorre da semelhança hidrossedimentológica entre as duas sub-bacias, que mesmo apresentando uma cobertura superficial distinta, apresentam diversos fatores físicos semelhantes que influenciam nos processos erosivos. A semelhança hidrossedimentológica das duas sub-bacias é tão relevante que em alguns estudos, como o de Santos (2008) e Guimarães *et al.* (2011), foi realizada a calibração e validação cruzada, de modelos hidrossedimentológicos, entre estas duas sub-bacias e foram obtidos resultados satisfatórios.

No que diz respeito à relação entre o escoamento superficial e a produção de sedimentos, pode-se observar na Figura 12 que houve uma boa correlação para os eventos observados nas sub-bacias 1 e 2. Na sub-bacia 1 o fator de correlação entre o escoamento e a produção de sedimentos foi de 0,86 e na sub-bacia 2 foi de 0,84 (Figura 12).

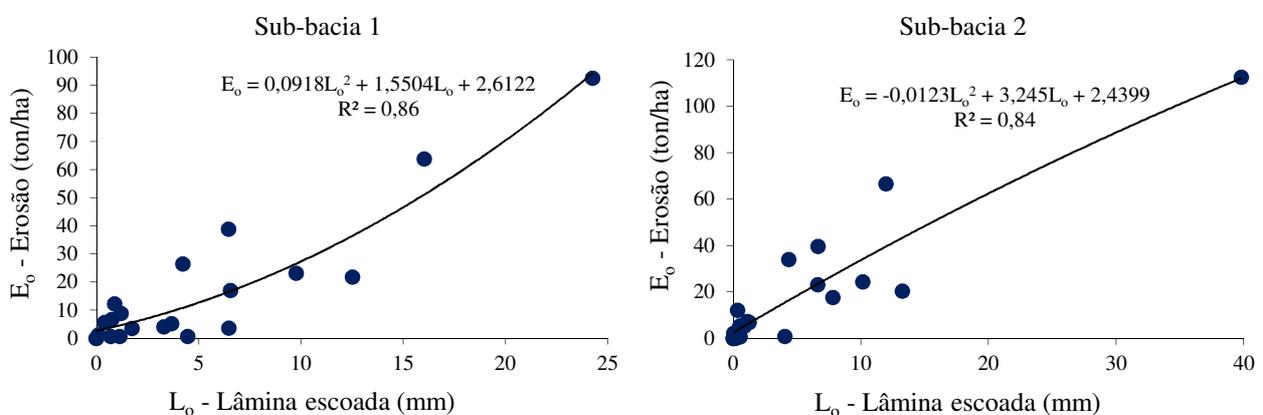


Figura 12 – Relação entre o escoamento superficial e a produção de sedimento nas sub-bacias da BESJC.

A obtenção de dados observados de perdas de água e solo é muito importantes para estudos de modelagem hidrossedimentológica, pois estes modelos devidamente calibrados e validados a partir de séries de dados observados de escoamento superficial e erosão constituem-se numa importante fonte de conhecimento da variação ao longo do tempo das vazões e da produção de sedimentos em bacias hidrográficas, podendo ser utilizados como uma importante ferramenta no auxílio da gestão dos recursos hídricos, através da análise de possíveis cenários, como modificações no uso do solo; impactos de vazões decorrentes de chuvas intensas; efeito da construção de açudes, dentre outras situações (Tucci, 1998; Santos, 2011).

Recuperação das áreas degradadas

A construção de barramentos de pedra em cursos d'água serve para medir a quantidade de sedimentos retida na barragem, dando assim, um indício da produção de sedimentos da área de drenagem de cada barramento, uma vez que possuem diferentes declividades, usos do solo, e tipos de solo. Assim, tais estudos podem ser utilizados para se avaliar, por exemplo, o efeito de escala na região entre as parcelas de erosão e as microbacias dos barramentos. Além de proporcionar o impacto de mudanças no uso do solo e suas consequências na produção de sedimentos e no escoamento superficial.

A construção de barramentos no controle da erosão dos solos é bastante utilizada para o monitoramento de perdas de solo em diversas áreas semiáridas em todo o planeta, principalmente em bacias não-instrumentadas (Sivapalan *et al.*, 2004). Como apresentado no estudo de Martín-Rosales *et al.* (2003), que estimaram a capacidade de armazenamento de sedimentos em barramentos construídos em uma região semiárida da Espanha, e registraram que a capacidade de retenção de sedimentos nesses barramentos, para uma área de drenagem de 320 km², era de aproximadamente 431.000 m³. Os autores calcularam a quantidade média de sedimentos retidos nos barramentos de aproximadamente 53.000 m³. Isso mostra a eficácia dessas construções no controle das perdas de solo e na retenção de água, principalmente em bacias de clima árido e semiárido.

Neste trabalho, é relatada a construção/recuperação de oito barramentos de pedra no semiárido paraibano e o estágio de recuperação das áreas degradadas pela erosão. Destes oito barramentos, cinco foram construídos e três foram recuperados, pois já haviam sido construídos durante a vigência do Projeto EROSION (*Restoration and improvement of a Brazilian semiarid area*), financiado pela *Toyota Foundation* (Japão), que teve como um dos objetivos, instalar barramentos no semiárido, visando a avaliação da técnica de barramentos para a região. Os barramentos foram construídos/recuperados no período de abril a maio de 2010, e após a sua

construção, foram realizadas visitas a campo para monitorar o comportamento e o acúmulo de sedimentos nos barramentos.

A Tabela 4 apresenta as características dos barramentos e a capacidade estimada de acúmulo de sedimentos. Da Figura 10 à Figura 17, pode-se observar o comparativo dos barramentos na época da sua construção/recuperação, com o acúmulo de sedimentos registrado na última visita de monitoramento, ocorrida nos dias 13 e 14/02/2012.

Tabela 4 – Características dos barramentos e capacidade estimada de acúmulo de sedimentos

Código	Nome	Altura (cm)	Perímetro do semiarco (m)	Capacidade Estimada de Acúmulo de Sedimentos (m ³)
CD1	Roque	30	11,00	6,38
CD2	Chico	100	11,00	32,25
CD3	Tonho	100	15,50	210,48
CD4	Abraão	60	16,00	124,46
CD5	Inação	130	7,50	27,86
CD6	Inação Cachoeirão	110	12,00	252,19
CD7	Luiz Heleno 1	120	10,80	191,10
CD8	Luiz Heleno 2	110	9,50	62,90

O barramento CD1 (Figura 13), conhecido como Barramento Roque, foi recuperado, pois havia uma falha no seu semiarco, ocasionando a perda de sedimentos nas laterais do barramento. Cerca de 50% do barramento foi reconstruído, para uma melhor retenção de sedimentos. O barramento CD1 trata-se de um barramento de pequeno porte (30 cm de altura) construído em um pequeno curso d'água. Mesmo de pequeno porte, o barramento CD1 apresentou um bom acúmulo de sedimentos após a sua recuperação, contribuindo para o crescimento de vegetação nas margens do riacho.



Figura 13 – Vista do barramento CD1 na sua recuperação (esquerda) e na última visita (direita).

O barramento CD2 (Figura 14), Barramento Chico, foi construído na íntegra, ou seja, seguiu todos os procedimentos, desde a escolha do local, até a seleção das rochas. O barramento CD2 foi construído em um curso d'água de maior porte que o CD1, possuindo um perímetro de 11 m e uma altura de 100 cm (Tabela 4). Próximo ao local da construção do barramento CD2 havia uma quantidade bastante significativa de rochas, com tamanhos diversificados, o que contribuiu para uma boa resistência do barramento contra as descargas líquidas e de sedimentos. Desta forma, foram trazidas bastantes rochas de diversos tamanhos, facilitado pela boa declividade do terreno, visto que facilitava o rolamento das rochas maiores. De acordo com a Figura 14, pode-se observar que o barramento CD2 contribuiu para uma boa recuperação da área degradada, com um acúmulo considerado de sedimentos na calha do rio e na base do barramento.



Figura 14 – Vista do barramento CD2 durante sua construção (esquerda) e na última visita (direita).

O barramento CD3 (Figura 15), conhecido como Barramento Tonho, foi recuperado. As rochas utilizadas na sua estrutura inicial eram um pouco pequenas para a força do escoamento do riacho. Diante disso, decidiu-se que esse barramento seria refeito. Assim, foram trazidos blocos de rochas de outros locais que pudessem suportar cargas d'água maiores. O terreno aonde esse barramento foi construído, é composto de bastante areia, resultado do acúmulo de sedimentos do barramento.

Após a reconstrução do barramento CD3, foi observado que houve um aumento do acúmulo de sedimentos e uma estabilização do barramento no leito do rio (Figura 15), suportando as enxurradas dos eventos extremos de chuvas, que neste trecho de rio possuem um forte escoamento, provocando maiores esforços sobre o barramento, pois este rio é um dos maiores e conseqüentemente possui um dos maiores barramentos, com 100 cm de altura, 15,50 m de perímetro e uma capacidade de acúmulo de 210,48 m³ (Tabela 4).



Figura 15 – Vista do barramento CD3 durante sua reconstrução (esquerda) e na última visita (direita).

O barramento CD4 (Figura 16), conhecido como Barramento Abraão, também foi recuperado, sendo um dos maiores barramentos já construído na BESJC, com um perímetro de 16 m (Tabela 4). Para tanto, foram utilizadas muitas rochas e o acúmulo dos sedimentos foi bem significativo, permitindo que surgissem diversas espécies de vegetação nativa no local.



Figura 16 – Vista do barramento CD4 na sua reconstrução (esquerda) e na última visita (direita).

O barramento CD5 (Figura 17), Barramento Inação, foi totalmente construído. Ele está localizado próximo ao barramento CD6, porque nessa porção da bacia foi constatado um forte grau de erosão. Nessa área, os processos de erosão deixaram o vale do riacho profundo em relação aos outros barramentos. A declividade do terreno facilitou o deslocamento das rochas e a disponibilidade de rochas próximas ao local ajudou na construção. O barramento CD5 apresentou um bom acúmulo de sedimentos e uma boa recuperação da área degradada pela erosão (Figura 17). A erosão no leito deste riacho já se encontrava tão avançada que este barramento foi o que apresentou uma parede de maior altura, com 130 cm (Tabela 4).



Figura 17 – Vista do barramento CD5 na sua construção (esquerda) e na última visita (direita).

O barramento CD6 (Figura 18), Barramento Inação Cachoeirão, foi construído no fim de dois riachos. Esse local teve sua escolha por se tratar de uma grande área de drenagem e, por conseguinte, possuir uma grande carga líquida e de sedimentos em relação aos demais barramentos. Neste barramento, priorizou-se um reforço especial no meio do barramento. Havia muitas rochas no local com boa resistência, pouco degradadas pelas intempéries, ficando mais difícil a sua quebra na hora da acomodação no barramento. Este barramento foi um dos maiores, com 110 cm de altura, 12 m de perímetro e com a maior capacidade estimada de acúmulo, com cerca de 252,19 m³ (Tabela 4).



Figura 18 – Vista do barramento CD6 durante sua construção (esquerda) e na última visita (direita).

O barramento CD7 (Figura 19), Barramento Luiz Heleno 1, foi construído, sendo um dos mais difíceis no que tange à disponibilidade de rochas para a construção. Foi encontrado um afloramento rochoso, distante cerca de 200 m do local do barramento. Para a separação das rochas, optou-se pela fragmentação da rocha-mãe em blocos menores para o transporte em um veículo

motorizado (caminhoneta D10). Esse barramento foi construído também próximo ao CD8 (Figura 20), Barramento Luiz Heleno 2. Dessa forma, o Barramento Luiz Heleno 2 apresentou a mesma dificuldade do anterior no que tange à ausência de rochas próximas ao local do barramento.



Figura 19 – Vista do barramento CD7 durante sua construção (esquerda) e na última visita (direita).



Figura 20 – Vista do barramento CD8 na sua construção (esquerda) e na última visita (direita).

Os barramentos CD7 e CD8 também apresentaram uma boa recuperação da área degradada, com uma boa retenção de sedimentos no leito do rio e na parede do barramento (Figura 19 e 20). Os barramentos CD7 e CD8 possuem respectivamente 120 e 110 cm de altura, 10,80 e 9,50 m de perímetro e uma capacidade estimada de acúmulo de 191,10 e 62,90 m³ (Tabela 4).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir do exposto que a produção de sedimentos nas sub-bacias da BESJC é bastante relevante e que pequenos eventos de chuva são capazes de gerar perdas consideráveis de sedimentos. A produção de sedimentos nas duas sub-bacias foi semelhante, devido à semelhança

hidrossedimentológica das duas áreas de estudo. Devido à produção de sedimentos observada nas duas sub-bacias, podemos concluir que a BESJC é uma área bastante susceptível a processos erosivos, e que medidas de controle e recuperação de áreas degradadas devem ser adotadas.

A construção dos barramentos de pedra mostrou-se uma técnica de restauração do meio ambiente eficaz e barata. Vários barramentos foram instalados e monitorados, confirmando definitivamente a eficácia dos mesmos e apontando as áreas de recuperação como áreas onde poderiam ser implantadas atividades de agricultura familiar, tendo em vista que nestas áreas ocorre um grande acúmulo de água, o que contribuiria para o uso e conservação da água no meio rural. Deve-se ressaltar ainda que, os barramentos também são utilizados na maioria dos casos para a retenção da água no solo através de áreas úmidas, que podem ser utilizadas na agricultura de subsistência ou em pequenas plantações de palma-forrageira, muito utilizada na agropecuária local.

Observou-se que em todos os barramentos houve uma boa recuperação da área degradada, devido à sedimentação na calha do riacho. Podemos apontar como destaque os barramentos CD2, CD5, CD6 e CD8 que apresentaram um grande acúmulo de sedimento na calha do riacho e na parede do barramento.

Este trabalho ressalta ainda a importância dos barramentos para a região, uma vez que a escassez de água constitui em um forte entrave ao desenvolvimento socioeconômico e, até mesmo, à subsistência da população. Além disso, as decisões sobre a implementação de ações de convivência com a seca exigem o conhecimento básico sobre a localização, caracterização e disponibilidade das fontes de água superficiais, subterrâneas e a frequência da ocorrência de chuvas ao longo da história, através de séries pluviométricas observadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FACEPE pela bolsa de Doutorado do primeiro autor, ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa do segundo autor, além dos recursos financeiros proporcionados pelo projeto “Conservação do solo e produção de água na Bacia Hidrográfica do Riacho Namorados, Semiárido Paraibano” (Processo N°. 574175/2008-3). Agradecem também a CAPES pela bolsa de Mestrado do quarto autor.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, K.D.; ANDRADE, A.P.; RAPOSO, R.W.C; ROSA, P.R.O. PAZERA JR, E. (2005). *Análise das condições meteorológicas de São João do Cariri no semiárido paraibano*. Revista Geografia, Londrina-PR, v. 14, n. 1, p. 61/1-72.

COGO, N.P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. (2003). *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, p. 743-753.

GUIMARÃES, J.C.N.; SRINIVASAN, V.S.; RUFINO, I.A.A. (2011). *Simulação hidrossedimentológica, analisando dois MDES, de duas pequenas sub-bacias no cariri paraibano utilizando o modelo SWAT*. Revista Geografia Acadêmica, v.5, n.1, p. 48-58.

MARTÍN-ROSALES, W.; PULIDO-BOSCH, A.; GISBERT, J.; VALLEJOS, A. (2003). *Sediment yield estimation and check dams in a semiarid area (Sierra de Gádor, southern Spain)*. IAHS Publ., n. 279, p. 51-58.

PAIVA, F.M.L.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SALCEDO, I.H.; ARAÚJO FILHO, P.F.; SRINIVASAN, V.S.; SILVA FILHO, S.L.; AZEVEDO, J.R.G.; SILVA, R.M.; SILVA, R.M.; SILVA, L.P. (2011). *Análise do transporte de sedimentos em suspensão num pequeno curso d água na Bacia Experimental do Riacho Gameleira, PE*. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH: Maceió, p. 1-16.

RATNAM, K.N.; SRVASTAVA, Y.K.; RAO, V.V.; AMMINEDU, E.; MURTHY, K.S.R. (2005). *Check dam positioning by prioritization micro-watersheds using SYI Model and morphometric analysis – Remote Sensing and GIS perspective*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, v.33, n.1, p. 25-38.

SANTOS, C.A.G.; FREIRE, P.K.M.M.; SILVA, R.M.; ARRUDA, P.M.; MISHRA, S.K. (2011a). *Influence of the catchment discretization on the optimization of runoff-erosion modelling*. Journal of urban and environmental engineering (UFPB), v. 5, p. 91-102. doi: [10.4090/juee.2009.v5n2.091102](https://doi.org/10.4090/juee.2009.v5n2.091102).

SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; SRINIVASAN, V.S. (2007a). *“Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semiárido da Paraíba”*. OKARA: Geografia em debate, v.1, n.1, p.16-32.

SANTOS, C.A.G.; SRINIVASAN, V.S.; SUZUKI, K.; WATANABE, M. (2003). *Application of an optimization technique to a physically based erosion model*. Hydrological Processes, Inglaterra, v. 17, n. 5, p. 989-1003, 2003. doi: [10.1002/hyp.1176](https://doi.org/10.1002/hyp.1176).

SANTOS, J.Y.G. (2011). *Avaliação das perdas de água e solo no semiárido paraibano mediante chuva simulada e modelagem hidrossedimentológica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 122p.

SANTOS, J.Y.G.; SANTOS, C.A.G.; SILVA, R.M.; SILVA, V.C.L.; SILVA, L.P.; ARRUDA, P.M. (2011b). *Análise das perdas de água e solo no semiárido paraibano utilizando simulador de chuva*. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH: Maceió, p. 1-16.

SANTOS, L.L. (2008). *Modelagem hidrossedimentológica e avaliação comparativa de três modelos em pequenas sub-bacias na região semiárida paraibana*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 162p.

SANTOS, L.L. (2009). *Quantificação do escoamento superficial e erosão do solo em regiões semiáridas*. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 2, n. 1, p. 14-25.

SANTOS, L.L.; SRINIVASAN, V.S.; ARAGÃO, R.; RIBEIRO, P.M. (2007b). *Avaliação da resposta do modelo KINEROS2 para diferentes representações da bacia hidrográfica*. In: Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH: São Paulo, p. 1-18.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A.A.A.; PEDROSA, E.R. (2009). *Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, n. 3, p. 217-225.

SILVA, R.M., SANTOS, C.A.G.; SILVA, L.P. (2007). *Evaluation of soil loss in Guaráira basin by GIS and remote sensing based model*. Journal of urban and environmental engineering (UFPB), v. 2, p. 44-52. doi: [10.4090/juee.2007.v1n2.044052](https://doi.org/10.4090/juee.2007.v1n2.044052).

SILVA, R.M.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, C.A.G. (2012). *Integration of GIS and Remote Sensing for estimation of soil loss and prioritization of critical sub-catchments: a case study of Tapacurá catchment*. Natural Hazards, v. 62, p. 953-970, 2012. doi: [10.1007/s11069-012-0128-2](https://doi.org/10.1007/s11069-012-0128-2).

SILVA, R.M.; SANTOS, C.A.G. (2008). *Estimativa da produção de sedimentos mediante uso de um modelo hidrossedimentológico acoplado a um SIG*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 12, p. 520-526. doi: [10.1590/S1415-43662008000500013](https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000500013).

SIVAPALAN, M.; TAKEUCHI, K.; FRANKS, S.W.; GUPTA, V.K. KARAMBIRI, H.; LAKSHMI, V.; LIANG, X.; McDONNELL, J.J.; MENDIONDO, E.M.; O'CONNELL, P.E.; OKI, T.; POMEROY, J.W.; SCHERTZER, D.; UHLENBROOK, S. & ZEHE, E. (2004). *IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences*. Hydrological Sciences, v.48, n .6, p. 857-880.

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

SRINIVASAN, V.S.; GALVÃO, C.O.; SANTOS, C.A.G.; FIGUEIREDO, E.E.; REGO, J.C.; ALCÂNTARA, H.M.de.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; ARAGÃO, R.; MELO, R.N.T.; CRUZ, E.; GUEDES, G.A.; LACERDA, I.; SANTOS, L.L.; ALVES, F.M. (2004) *Bacia Experimental de São João do Cariri – PB*. In: Implantação de bacias experimentais no semiárido – IBESA, FINEP / FUNPEC 22010453-00.

SRINIVASAN, V.S.; SANTOS, C.A.G.; GALVAO, C.O. (2003). *Erosão Hídrica do solo do semiárido brasileiro: a experiência na Bacia Experimental de Sumé*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 57-73.

TUCCI, C.E.M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS e ABRH.