



XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

SELEÇÃO DE FATORES RELACIONADOS A EROÇÃO EM DIFERENTES ESCALAS COM VEGETAÇÃO DE CAATINGA RALEADA NO SEMIÁRIDO

Júlio César Neves dos Santos¹; Eunice Maia de Andrade Eunice²; José Ribeiro de Araújo Neto³; Helba Araújo de Queiroz Palácio⁴; & Jacques Carvalho Ribeiro Filho⁵

RESUMO – Uma adequada descrição dos fluxos de sedimentos para a adoção de medidas preventivas ou de controle dos processos erosivos requer um entendimento não somente dos fatores que influenciam a erosão, como também das condições de transporte. O objetivo desse estudo é com auxílio de estatística multivariada (Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais) identificar os fatores relacionados com a capacidade de transporte de sedimentos em área com caatinga raleada em diferentes escalas espaciais no semiárido cearense, Brasil. O estudo foi desenvolvido na Bacia Experimental de Iguatu, com monitoramento na escala de microbacia 1,41 ha, parcela de erosão de 20 m² e microparcela de 1 m², todas com cobertura de Caatinga raleada. O período de estudo foi de 2009 a 2013. A primeira componente principal foi representada por variáveis relacionadas ao poder energético da chuva em desagregar partículas de solo. A segunda componente foi enquadrada as variáveis produção de sedimentos, vazão de pico e lâmina escoada. A vazão de pico e a lâmina escoada estão diretamente relacionadas à energia para o transporte de sedimentos, sendo essa componente caracterizada pela energia de transporte. A terceira componente foi enquadrada as variáveis relacionadas ao conteúdo de água no solo.

ABSTRACT– An adequate description of sediment fluxes for the adoption of preventive measures or control of erosion requires an understanding not only of the factors that influence erosion, as well as the conditions of carriage. The aim of this study is with the aid of multivariate statistics (Factor Analysis / Principal Component Analysis) to identify factors related to the capacity of sediment transport in the area with thinned caatinga at different spatial scales in semiarid Ceará, Brazil. The study was conducted at the Experimental Basin Iguatu with monitoring at watershed scale 1.41 ha plot of erosion microplot 20 m² and 1 m², all with cover thinned caatinga. The study period was from 2009 to 2013. The first principal component was represented by variables related to the

1) Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Ceará – PPGEA/CCA/UFC; Técnico em Hidrologia da Universidade Federal de Campina Grande, AERH/UAEC/CTRN/UFCG, Fone: 0 (83) 2101 1037, juliocesarnds@gmail.com;

2) Professora da Universidade Federal do Ceará, Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC. E-mail: eandrade@ufc.br;

3) Mestre em Engenharia Agrícola, Instituto Federal do Ceará, Campus Iguatu-CE. junior.bg@bol.com.br;

4) Professora do Instituto Federal do Ceará, Campus Iguatu-CE, helbaraujo23@yahoo.com.br;

5) Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem do Instituto Federal do Ceará, Iguatu-CE, jacquesfilho1@hotmail.com.

energetic power of rain on disaggregate soil particles. The second component is framed variables sediment yield, peak flow and drained blade. The peak flow and blade are disposed directly related to energy for sediment transport, and this component characterized by the energy transport. The third component was framed variables related to soil water content.

Palavras-Chave – Hidrologia do semiárido, capacidade de transporte de sedimentos, análise da componente principal.

1. INTRODUÇÃO

A degradação do solo é um problema crescentes em áreas semiáridas em todo o mundo (TURNBULL et al., 2008). Os efeitos negativos da erosão do solo incluem a redução da fertilidade do solo, redução da capacidade de armazenamento de água no solo, poluição e assoreamento dos corpos hídricos (BAKKER et al., 2005). Todos esses pontos negativos podem fundamentalmente levar a desafios sociais, tais como o abandono das terras e o declínio das comunidades rurais (BAKKER et al., 2005).

Já com relação aos recursos hídricos, as principais consequências da intensificação dos processos erosivos são o assoreamento de mananciais e a mudança nos padrões de qualidade da água. O aporte de sedimentos a reservatórios superficiais decorrente da erosão dos solos na bacia hidrográfica tem impactado significativamente na disponibilidade hídrica no Nordeste do Brasil, onde aproximadamente 90% da água utilizada para abastecimento humano são armazenados nessas estruturas (ARAÚJO et al., 2004). A deposição de sedimentos em tais reservatórios provoca a redução de sua capacidade de armazenamento. Segundo Araújo et al. (2004), em média isso corresponde a 2% por década do Ceará.

Em região semiárida onde o principal processo de geração de escoamento é Hortoniano (em que a intensidade da precipitação supera a capacidade de infiltração), vertentes longas aumentam a possibilidade de reinfiltração do escoamento gerado a montante, aumentando também a probabilidade de deposição dos sedimentos por falta de meio de transporte. Devido à predominância de diferentes processos e condições limitantes ao transporte em escalas específicas, a transferência direta da produção de sedimentos de maneira linear entre escalas é impossível (CAMMERAAT, 2002). Além disso, a extrapolação de estimativas entre escalas é dificultada pela heterogeneidade de bacias hidrográficas, dificilmente representada na pequena escala (BOIX-FAYOS et al, 2006).

Uma adequada descrição dos fluxos de sedimentos para a adoção de medidas preventivas ou de controle dos processos erosivos requer um entendimento não somente dos fatores que influenciam a erosão, como também das condições de transporte. Na escala de vertentes com centenas de metros de comprimento, processos como a formação de ravinas e voçorocas intensificam a produção de sedimentos, enquanto que barreiras de vegetação e áreas com baixas declividades podem promover a deposição de parte dos sedimentos transportados (BOIX-FAYOS et

al, 2006). Na escala de bacias hidrográficas, a produção de sedimentos é fortemente influenciada pelas condições de transporte, ganhando destaque os processos de deposição.

Nesse contexto um dos principais problemas para a descrição e modelagem do transporte de sedimentos em regiões semiáridas é identificar qual o principal agente limitante do transporte de sedimentos e os efeitos em escalas. Uma avaliação precisa dos fluxos de sedimento ao longo de sua trajetória é imprescindível para a identificação de áreas potencialmente erosivas e de locais onde predominam processos de deposição (MEDEIROS, 2009). Uma das primeiras decisões do pesquisador é definir as variáveis mais significativas para retratar o problema. Assim, torna-se necessário o emprego de técnicas que possam resumir, sistematicamente, a correlação significativa existente entre as muitas variáveis (HAIR JUNIOR et al., 2005). A técnica de estatística multivariada, denominada Análise da Componente Principal, minimiza tais dificuldades, sendo empregada em diversas áreas, como por exemplo, para estudar os fenômenos hidrológicos, hidrometeorológicos e hidroquímicos (ANDRADE et al., 2003; ANDRADE et al., 2007).

O objetivo desse estudo é com auxílio de estatística multivariada (Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais – AF/ACP) identificar os fatores relacionados com a capacidade de transporte de sedimentos em área com caatinga raleada em diferentes escalas espaciais no semiárido cearense, Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no Semiárido Cearense, na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, no município de Iguatu-CE, Brasil, entre as coordenadas geográficas 6°23'36'' a 6°23'57'' S e 39°15'15'' a 39°15'30'' W, com altitude média de 217,8 m (Figura 1).

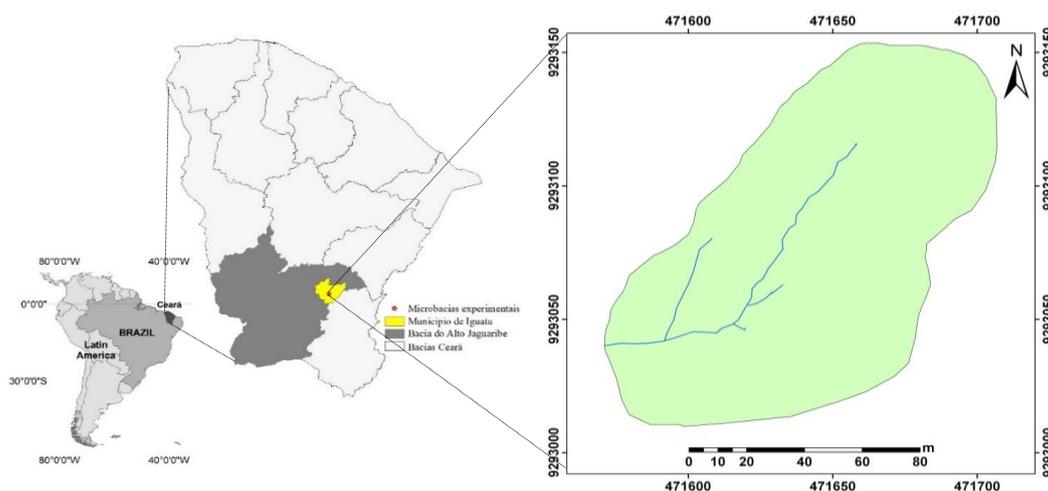


Figura 1 – Localização da área em estudo no Estado do Ceará, Brasil

O clima da região é do tipo BSw'h' (Semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen, com temperatura média sempre superior a 18 °C no mês mais frio. O Índice de Aridez elaborado por Thornthwaite (1948) é de 0,44 classificando-se como semiárido. A

evapotranspiração potencial média é de 1.988 mm.ano⁻¹, a precipitação média histórica no município de Iguatu é de 864 ± 304 mm (média de 1932 a 2013), com 85% concentrados no período de janeiro-maio e dos quais cerca de 30% são registrados no mês de março, expressando a concentração das chuvas em cinco meses do ano.

Tendo em vista os diferentes processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaciais, as mensurações do escoamento superficial e da produção de sedimentos foram quantificadas em três diferentes níveis de escala: microbacias com área de 1,41 ha (coletas iniciadas em 2009); parcela de erosão de 20 m² (coletas iniciadas em 2009); e parcela de erosão de 1 m² (coletas iniciadas em 2011), todas sob chuva natural. O período de estudo foi de 2009 a 2013.

Microbacia com escala de 1,41 ha

O estudo experimental à nível de microbacia experimental constou de uma microbacia (1,41 ha) com manejo de raleamento da caatinga. Adotaram-se estes tratamentos, uma vez que a produção de pastagem representa um dos usos de solo mais comuns no semiárido cearense, o raleamento como método silvopastoril alternativo de produção de gêneros de subsistência.

O solo da microbacia foi classificado como Vertissolos Ebânico Carbonático Típico. Devido ao tipo de argila (2:1) presente no solo da microbacia é comum o surgimento de rachaduras na superfície com baixo teor de umidade do solo, e encharcamento com elevação da umidade do solo.

A microbacia foi equipada com uma estação hidroclimatológica, com pluviômetro, calhas Parshall, sensores de temperatura do ar e solo, sensores de umidade relativa do ar, umidade do solo e pluviógrafo automático.

O escoamento superficial foi quantificado através de uma calhas Parshall. Para quantificação da descarga sólida em suspensão, a montante da calhas Parshall foi instalado torres coletoras de sedimentos em suspensão. Para quantificação da produção de sedimentos em arraste de leito na microbacia foi instalado fosso a montante da calha.

Parcelas de erosão de 20 m²

Os valores de escoamento superficial e de erosão foi quantificado em uma parcela experimental de perdas de solo e água com área igual a 20 m² (2 x 10 m), com o comprimento maior obedecendo o sentido da declividade do terreno.

Parcelas de erosão de 1 m²

Para comparação das respostas de perdas de solo e água em uma micro escala, foi instalado uma parcela de erosão de 1 m², no ano de 2011. A parcela foi distribuída na microbacia, de forma a representar o manejo estudado. A parcela foi delimitadas com chapa de aço galvanizada com 0,30 m de largura, que foi enterrada a 0,15 m. Na parte inferior da parcela foi conectado um sistema coletor, constituído de um tanque com capacidade de 200 L, ao qual é acoplado um balde com capacidade de 18 L que, uma vez cheio, extravasa para o tanque.

Análise de dados

As variáveis estudadas foram: Precipitação (PPT – mm); Intensidade máxima em 5 min (I5 – mm h⁻¹); Intensidade máxima em 10 min (I10 – mm h⁻¹); Intensidade máxima em 15 min (I15 – mm h⁻¹); Intensidade máxima em 20 min (I20 – mm h⁻¹); Intensidade máxima em 30 min (I30 – mm h⁻¹); Intensidade máxima em 45 min (I45 – mm h⁻¹); Intensidade máxima em 60 min (I60 – mm h⁻¹); Erosividade da chuva (EI30 – MJ mm ha⁻¹ h⁻¹); Umidade antecedente do solo com base em massa (Umi. Ant. – %); precipitação antecedente dos últimos 5 dias (PPT ult. 5 d. – mm); dias consecutivos secos com PPT < 1 mm (DSC – Dias); Vazão de pico (Q máx. – L s⁻¹); Lâmina de escoamento (Lesc. – mm); Produção de sedimentos (PS – kg ha⁻¹).

A identificação dos agentes determinantes da variabilidade dos processos erosivos fundamentou-se na aplicação do modelo de estatística multivariada – Análise Fatorial/Análise das Componentes Principais (AF/ACP). Para a análise dos dados, foi utilizado o SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*), por apresentar bastante versatilidade no manuseio das operações necessárias à obtenção de componentes principais.

Os dados originais, na forma de matriz, eram expressos por $X = (x_{i,j})$, em que $i = 1 \dots n$ amostragens e $j = 1 \dots p$ variáveis. Na aplicação da técnica da Análise Fatorial/Análise do Componente Principal (AF/ACP), a primeira etapa é transformar a matriz de dados originais em uma matriz de correlação [R] ($p \times p$), para p igual aos 15 parâmetros analisados nesse estudo. A principal razão para se usar a matriz de correlação é se eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas. Outras informações sobre o assunto podem ser encontradas em DILLON & GOLDSTEIN (1984). A eficiência da nova descrição dos dados através das componentes vai depender da porcentagem de variação total que cada componente contém, a qual é representada pelos autovalores (VEGA et al., 1998).

Após a definição da matriz de correlação, realizou-se uma inspeção entre os parâmetros com o objetivo de identificar as variáveis mais específicas, visto que a finalidade da ACP é obter componentes que ajudem a explicar essas correlações. A consistência geral dos dados foi aferida pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO), que compara a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial, produzindo um índice KMO (MONTEIRO & PINHEIRO, 2004; ANDRADE et al., 2003). Valores de KMO < 0,5 indicam que o modelo não se aplica aos dados em estudo (HAIR JUNIOR et al., 2005). A seleção do número de componentes extraído seguiu os preceitos apresentados por NORUSIS (1990), em que se consideram somente componentes com variância superior a um. Este critério fundamenta-se no fato de que qualquer fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável.

O primeiro fator (CP1) é a combinação de todas as variáveis e explica a maior variância nos dados. Extraído-se CP1, o segundo fator explica a segunda maior variância, sem estar

correlacionada com a primeira. Componentes sucessivas explicam porções progressivamente menores da variância total dos dados (DILLON e GOLDSTEIN, 1989).

Segundo Hair Junior et al. (2005), a análise fatorial é uma técnica de interdependência onde todas as variáveis são consideradas simultaneamente, cada uma relacionada com todas as outras, empregando-se, assim, o conceito da variável estatística. Esta característica a diferencia das técnicas de dependências, como regressão múltipla, análise discriminante, correlação canônica, onde uma ou mais variáveis são consideradas por variáveis dependentes, e todas as outras são variáveis independentes.

O modelo assume que os erros experimentais não têm correlação com os fatores comuns. Os fatores são deduzidos das variáveis observadas e podem ser calculados como combinações lineares. A expressão geral para a estimativa do fator k-ésimo F_k é:

$$f_k = \sum_{i=1}^p W_{ki} X_i = W_{k1} X_1 + W_{k2} X_2 + \dots + W_{kp} X_p \quad (1)$$

Onde:

W_{ki} : peso da i-ésima variável no k-ésimo fator; X_i : escore atribuído a cada variável; p: número de variáveis.

Mesmo com a matriz dos componentes obtidos na fase de extração, na qual o resultado descreve a relação entre os fatores e as variáveis individuais, o resultado pode ser de difícil interpretação. Para suplantar a limitação, utilizou-se o procedimento de transformação ortogonal, ou simplesmente rotação da matriz das cargas fatoriais, gerando uma nova matriz de cargas fatoriais, que apresenta um melhor significado interpretativo aos fatores. Neste estudo, empregou-se a rotação ortogonal, método Varimax, amplamente empregada na avaliação da variabilidade espacial e temporal da qualidade de água (PALÁCIO, 2004; ANDRADE et al., 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira análise realizada foi de interdependência entre as variáveis, para verificar a adequabilidade do conjunto de variáveis ao procedimento estatístico. Os testes de adequabilidade aplicado para comparar a magnitude dos coeficientes, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) foram altamente significativos pelo teste do qui-quadrado com valores superiores a 0,5, indicando que o modelo fatorial pode ser aplicado aos dados sem restrições. Os valores do KMO para a escala de microbacia com caatinga raleada foi de $KMO=0,705$, na escala de parcela de 20 m^2 foi de $KMO=0,824$, e na escala de 1 m^2 foi de $KMO=0,681$. A escala de microbacia e parcela de 1 m^2 apresentaram aplicabilidade “boa / $0,7 \leq KMO < 0,8$ ”, e a escala de 20 m^2 apresentou aplicabilidade “Ótima / $0,8 \leq KMO < 0,9$ ” conforme ANDRADE et al., 2003. Resultados semelhantes foram encontrados por Palácio (2004) em estudo de qualidade de água no rio Trussu, Ceará, onde observou KMO de 0,709.

Na matriz de correlação dos parâmetros estudados para a escala de microbacia com caatinga Raleada (Tabela 1) observa-se que a Produção de Sedimentos (PS) apresentou elevada correlação com a Lâmina escoada (Lesc.) com valor de 0,85 ($p < 0,001$). Além da lâmina de escoamento, a Produção de Sedimentos apresentou elevada correlação com a Vazão de pico (Q_{máx}) ($r = 0,86$; $p < 0,001$), indicando a dependência do transporte de sedimentos pela energia do fluxo de massa. A produção de sedimentos, a vazão de pico e a lâmina escoada apresentaram boa correlação com as intensidades máximas (I10 até I60). As intensidades máximas são variáveis que estão relacionadas ao potencial da chuva em desagregar partículas de solo.

Tabela 1 – Matriz de correlação das variáveis relacionadas aos processos hidrossedimentológicos, na escala de microbacia com caatinga raleada

	PPT	I5	I10	I15	I20	I30	I45	I60	EI30	Umi ant.	PPT ult. 5 d.	DCS	Qmax	Lesc.	PS
PPT	1,00														
I5	0,54	1,00													
I10	0,61*	0,97*	1,00												
I15	0,68*	0,94*	0,99*	1,00											
I20	0,71*	0,93*	0,98*	0,99*	1,00										
I30	0,77*	0,88*	0,94*	0,96*	0,98*	1,00									
I45	0,80*	0,81*	0,87*	0,90*	0,92*	0,97*	1,00								
I60	0,80*	0,80*	0,85*	0,88*	0,90*	0,95*	0,99*	1,00							
EI30	0,83*	0,64*	0,71*	0,76*	0,79*	0,83*	0,82*	0,82*	1,00						
Umi ant.	0,20	0,12	0,23	0,23	0,20	0,15	0,13	0,10	0,13	1,00					
PPT ult. 5 d.	0,16	0,07	0,12	0,12	0,09	0,15	0,17	0,12	-0,06	0,10	1,00				
DCS	0,08	-0,04	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,02	0,06	0,22	-0,15	-0,44	1,00			
Qmax	0,50	0,48	0,52	0,55	0,51	0,52	0,53	0,50	0,39	0,13	0,54	-0,18	1,00		
Lesc.	0,49	0,46	0,50	0,53	0,50	0,53	0,57	0,54	0,42	0,09	0,43	-0,14	0,95*	1,00	
PS	0,49	0,46	0,51	0,55	0,51	0,53	0,58	0,55	0,40	0,21	0,33	-0,21	0,86*	0,85*	1,00

PPT – Precipitação (mm); I5 – Intensidade máxima em 5 min (mm h^{-1}); I10 – Intensidade máxima em 10 min (mm h^{-1}); I15 – Intensidade máxima em 15 min (mm h^{-1}); I20 – Intensidade máxima em 20 min (mm h^{-1}); I30 – Intensidade máxima em 30 min (mm h^{-1}); I45 – Intensidade máxima em 45 min (mm h^{-1}); I60 – Intensidade máxima em 60 min (mm h^{-1}); EI30 – Erosividade da chuva ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$); Umi. Ant. – umidade antecedente do solo com base em massa (%); PPT ult. 5 d. – precipitação antecedente dos últimos 5 dias (mm); DCS – dias consecutivos secos com PPT < 1 mm (Dias); Q máx. – Vazão de pico (L s^{-1}); Lesc. – Lâmina de escoamento (mm); PS – Produção de sedimentos (kg ha^{-1}). * - ($p < 0,001$)

Em geral, a matriz do peso fatorial apresenta dificuldades na identificação das variáveis mais significativas, em decorrência de valores muito próximos entre si (DILLON & GOLDSTEIN, 1984). Para suplantar essa limitação, aplicou-se a transformação ortogonal pelo emprego do algoritmo Varimax, conforme os dados apresentados na Tabela 2. Pela Tabela 2 podem ser observados os valores dos pesos fatoriais para as componentes um, dois e três (CP 1; CP 2 e CP 3). Esses componentes expressam a relação entre fatores e variáveis e permitem a identificação das variáveis com maiores inter-relações em cada componente. Os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada fator.

Tabela 2 – Matriz do peso fatorial das variáveis nas componentes principais, após a rotação pelo algoritmo Varimax

Variáveis	Microbacia Raleada			P. 20 m ² Raleada			P. 1 m ² Raleada	
	Componentes			Componentes			Componentes	
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2
I20	0,965	0,169	0,136	0,983	0,115	-0,019	0,981	0,128
I30	0,957	0,224	0,077	0,980	0,122	0,009	0,984	-0,027
I15	0,944	0,210	0,164	0,971	0,114	0,012	0,963	0,182
I10	0,929	0,176	0,194	0,943	0,110	0,000	0,913	0,268
I45	0,919	0,292	0,011	0,937	0,160	0,044	0,940	-0,175
I60	0,917	0,262	-0,064	0,892	0,122	0,015	0,880	-0,240
I5	0,889	0,141	0,155	0,903	0,021	-0,033	0,884	0,252
EI30	0,861	0,125	-0,233	0,841	0,291	-0,176	0,910	0,066
PPT	0,748	0,310	-0,122	0,801	0,299	-0,127	0,872	-0,023
Qmax	0,348	0,902	0,056	-	-	-	-	-
Lesc.	0,362	0,886	-0,028	0,388	0,899	0,053	0,768	-0,047
PS	0,388	0,801	0,077	0,198	0,932	-0,099	0,523	0,614
PPT ult. 5 d.	-0,081	0,653	0,431	-0,092	0,080	0,768	-0,091	-0,709
DCS	0,121	-0,255	-0,795	0,100	0,039	-0,799	-0,042	0,809
Umi ant.	0,201	-0,039	0,594	0,179	-0,293	0,409	0,139	-0,723
Autovalor	9,02	2,22	1,15	8,31	1,66	1,37	8,67	2,28
Variância Explicada %	52,29	21,14	9,12	55,99	14,57	10,43	61,51	16,70
Variância Acumulada %	52,29	73,43	82,55	55,99	70,56	80,99	61,51	78,21

A aplicação da AF/ACP resultou em três componentes nas escalas de microbacia e parcela de erosão de 20 m² explicando 82,55 da variância total (Tabela 2) na escala de microbacia e 80,99% à nível de parcela de 20m². Já na escala de 1 m² forma formadas apenas duas componentes explicando 78,21 da variância total (Tabela 2). Esses componentes expressam a relação entre fatores e variáveis e permitem a identificação das variáveis com maiores inter-relações em cada componente. Os valores elevados dos pesos fatoriais sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada fator. Estes resultados são similares os encontrados por PALÁCIO (2004), trabalhando com águas de rio Trussu, no Ceará, onde encontrou um modelo formado por dois componentes, explicando 83,43% da variância total.

Em todas as escalas espaciais estudadas (microbacia e parcela 20 m²) a primeira componente principal (CP 1) (Tabela 2) com pesos fatoriais atingindo 0,984 está representada pelas variáveis relacionadas a chuva como: precipitação total (PPT) erosividade (EI30) e os diferentes intervalos de intensidades máximas (I5, I10, I15, I20, I30, I45, I60). Essas variáveis presentes na primeira CP são representativas do poder energético da chuva em desagregar as partículas de solo, formando assim uma componente relacionada à energia de desagregação (explicando sempre mais de 52,29% da variância total). Com relação às intensidades máximas observa-se que os maiores pesos fatoriais nas escalas de microbacia e 20 m² foram atribuídos ao I20 com valores sempre superior a 0,983,

seguido do I30 na escala de 1 m^2 com valor de 0,984. Estudos erosivos vem geralmente trabalhando com I30máx sendo a variável mais representativo dos processos erosivos (CARVALHO et al., 2004), merecendo maior destaque para a região em estudo o I20máx.

A segunda componente principal (Tabela 2) em ambas as escalas de estudo foi composta principalmente pelo vazão de pico ($Q_{\text{máx}}$), Lâmina escoada (Lesc.) e Produção de sedimentos (PS). As variáveis $Q_{\text{máx}}$ e Lesc., estão diretamente relacionadas a energia para o transporte de sedimentos, sendo essa componente caracterizada pela energia de transporte. O enquadramento da produção de sedimentos na componente relacionada ao fluxo de transporte de massa, indica a limitação da produção de sedimentos pela capacidade de transporte.

A terceira CP foi formada por variáveis relacionadas ao conteúdo de água no solo (Tabela 2). Essas variáveis foram a umidade antecedente do solo com base em massa (Umi. ant.), Dias Consecutivos Secos/DCS (escala de microbacia) e precipitação antecedente dos últimos 5 dias (PPT ult. 5 d.) (escala de parcela de 20 m^2). Essa componente indica o potencial instantâneo de infiltração da água no solo, que influencia na geração de escoamento, podendo gerar maior ou menor fluxo que se transforma em energia para o transporte de sedimentos.

4. CONCLUSÕES

A Produção de Sedimentos apresentou elevada correlação com a Lâmina escoada e Vazão de pico ($p < 0,001$) nas três escalas espaciais, indicando uma forte relação entre transporte de sedimentos e a energia do fluxo de massa.

A primeira componente principal (CP 1) foi representada por variáveis relacionadas ao poder energético da chuva em desagregar as partículas de solo (PPT, erosividade/EI30 e intensidades máximas/I5, I10, I15, I20, I30, I45, I60); formando assim uma componente relacionada a energia de desagregação.

A segunda componente principal (CP2) foi enquadrada as variáveis produção de sedimentos (PS), $Q_{\text{máx}}$ e Lesc. A vazão de pico e a lamina escoada estão diretamente relacionadas a energia para o transporte de sedimentos, sendo essa componente é caracterizada pela energia de transporte.

A terceira CP foram enquadrados as variáveis relacionadas ao conteúdo de água no solo (Umi. ant.; PPT ult. 5 d.; DCS). Essa componente indica o potencial instantâneo de infiltração da água no solo, que é dependente do conteúdo de água no solo.

A energia do fluxo de massa é o fator limitante para o transporte de sedimento nas escalas estudadas.

BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; GOMES, R. B.; LOBATO, F. A. O. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. *Ciência Rural*, v. 37, n. 6, p. 1791-1797, 2007.

- ANDRADE, E. M.; SILVEIRA, S. S.; AZEVEDO, B. M. Investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração na região centro sul do Ceará pela análise de componentes principais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.8, n.1, p.39-44, 2003.
- DILLON, W.R.; GOLDSTEIN, M. *Multivariate analysis methods and applications*. New York: John Wiley e Sons, 1989. 587p.
- HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. *Análise multivariada de dados*. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto, 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.
- MONTEIRO, V.P.; PINHEIRO, J.C.V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. *Revista de Economia Rural*, v.42, n.2, p.365-387, 2004.
- NORUSIS, M.J. *SPSS Base System user's guide*. Chicago: SPSS, 1990. 520p.
- PALÁCIO, H. A. Q. *Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará*. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.
- VEGA, M. et al. Assessement of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, v.32, n.12, p.3581-3592, 1998.
- BAKKER, M. M.; GOVERS, G.; KOSMAS, C.; VANACKER, V.; VAN OOST, K.; ROUNSEVELL, M. Soil erosion as a driver of land-use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 105, p. 467–481, 2005.
- ARAÚJO, J. C. DE, DÖLL, P., GÜNTNER, A., KROL, M., ABREU, C. B. R., HAUSCHILD, M., MENDIONDO, E. M. Water scarcity under scenarios for global climate change and regional development in semiarid Northeastern Brazil. *Water International*, v. 29, n.2, p. 209-220, 2004.
- CAMMERAAAT, L.H. A review of two strongly contrasting geomorphological systems within the context of scale. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 27, p.1201–1222, 2002.
- BOIX-FAYOS, C.; MARTÍNEZ-MENA, M.; ARNAU-ROSALÉN, E.; CALVO-CASES, A.; CASTILLO, V.; ALBALADEJO, J. Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth Science Reviews*, v. 78, p. 267–285, 2006.
- MEDEIROS, P. H. A. *Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas*. 2009. 82 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2009.
- TURNBULL, L.; WAINWRIGHT, J.; BRAZIER, R. E. A conceptual framework for understanding semi-arid land degradation: ecohydrological interactions across multiple-space and time scales. *Ecohydrological*, v. 1, p. 23–34, 2008.