

REGRESSÃO DAS ENCOSTAS NA SUB-BACIA DO AÇUDE NAMORADO NA REGIÃO DO CARIRI-PB

Pablo Rodrigues Rosa
Pesquisador associado
LGA/DEGEOC/CCEN/UEPB
prrosa@hotmail.com

Ivandro de F. da Silva
Docente do deptº. de Engenharia Rural
CCA/UEPB
ivandro@cca.ufpb.br

Paulo Roberto de O. Rosa
Docente do deptº de Geociências
CCEN/UEPB
paulorosa_ufpb@hotmail.com

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo mostrar os principais aspectos da erosão regressiva na bacia hidrográfica que alimenta o açude público Namorado em São João do Cariri-PB. Neste artigo é discutida e analisada a dinâmica entre morfogênese e pedogênese a partir da interação entre forças morfogenéticas e o relevo. Assim sendo, a erosão torna-se um indicador quantificável, pois em uma bacia hidrográfica é notável a perda de material ocasionada pela mecânica dos processos pluvial e fluvial. A partir do modelo digital de elevação, e do geoprocessamento dos dados de relevo evidenciou-se que existe erosão regressiva nos canais em decorrência das chuvas de alta intensidade e também devido à ausência da cobertura vegetal. Os canais sob áreas com presença da cobertura vegetal apresentaram regressão acentuada intensificando-se em determinadas épocas do ano devido às chuvas, denotando a vulnerabilidade do ambiente semi-árido. Conclui-se que os períodos de relativa estabilidade não suprem o sistema com uma pedogênese suficiente para manter o equilíbrio entre erosão e formação do solo.

Palavras-Chave: Erosão. Vulnerabilidade. Regressão de encostas. Canais de escoamento.

Abstract

The goal of this work is to show the main aspects of regressive erosion in the hydrographic basin that supplies the dam public Namorado, in São João do Cariri-PB. This article deals with the dynamic between morphogenesis and pedogenesis from the existing interaction between morphogenetics powers and the landscape. Therefore, the erosion becomes a quantifiable indicator, because in a hydrographic basin it is clearly indicated the lose of material caused by the mechanic of pluvial and fluvial processes. Based on the digital model of elevation, and on the geoprocessing of landscape data, it became clear that there is regressive erosion in the canals resulting from the high intensity rainfalls and the lack of vegetation coverage. Canals in areas with vegetation coverage show intense receding with intensification in some specific seasons because of rainfall, that shows the vulnerability of semi-arid environment. It is concluded that the periods of relative stability do not supply the system with pedogenesis enough to maintain the balance between erosion and soil formation.

Keywords: Erosion. Environmental Vulnerability. Slope Regression. Stream flow.

Introdução

A dinâmica entre a morfogênese e a pedogênese é aqui analisada a partir da interação entre os conjuntos naturais e humanos, ou de elementos pertinentes a tais conjuntos. Assim sendo, a erosão torna-se um indicador quantificável, pois em uma bacia hidrográfica é notável a perda de material ocasionada pela relação mecânica relativa aos processos pluvial e fluvial.

Da observação de tais eventos, em uma área do semi-árido brasileiro, questiona-se até que ponto as enxurradas resultantes das chuvas, nos períodos chamados localmente de invernos, contribuem de forma acentuada para a regressão das encostas do açude Namorado no município de São João do Cariri no Estado da Paraíba. Procurando responder a esse questionamento foi estabelecido como hipótese: as vertentes do açude Namorado estão mais vulneráveis ao processo erosivo por estarem desprovidas de uma cobertura vegetal adensada, e, por conseguinte, a relação entre a precipitação pluvial sobre o relevo promove a regressão acentuada das encostas através das enxurradas de alta magnitude decorrentes das chuvas de alta intensidade.

A diferenciação de áreas é um dos processos que facilitam o estudo da interação entre os conjuntos espacializados. Pode-se dizer que a dinâmica da natureza em um sistema natural requer o parâmetro diferenciador de áreas que abarquem os diversos conjuntos naturais coexistentes.

Pissarra et al. (2004) verificaram que dentre as diversas características, a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica são os parâmetros mais consistentes na diferenciação das microbacias.

As microbacias sendo unidades espaciais que contêm a dinâmica dos demais conjuntos naturais permitem que uma análise tópica seja executada, ainda mais quando se considera a vegetação como um indicador da consistência ecológica desse ambiente.

No aspecto da proteção que a cobertura vegetal proporciona ao solo, Santos et al. (2000) detectaram a partir da aplicação de um modelo hidrosedimentológico que o solo do semi-árido paraibano diminui significativamente a produção de sedimentos quando está protegido pela vegetação nativa ou pela cobertura morta, e que, a efetividade da palma para proteger o solo contra a erosão é insignificante. Não se pode negar que a influência do relevo, no seu aspecto vertedor, condiciona também o modo que o solo pode sofrer danos. Pereira et al. (2003) a partir de trabalhos experimentais concluíram que a declividade apresenta um forte efeito nas taxas de perdas de solo mais do que a vazão. Toda uma relação intrínseca modela a evolução da paisagem, portanto é importante observar a dinâmica da natureza como um evento sinérgico.

Neste trabalho as chuvas, as enxurradas e a regressão das encostas tornam-se categorias de referência passando a ser consideradas como elementos-chave para melhor compreender-se a erosão regressiva na paisagem inserida na bacia hidrográfica que alimenta o Açude público Namorado em São João do Cariri.

Teoria

Toma-se como base empírica o conjunto de micro e sub-bacias que compõem o açude do Namorado no município de São João do Cariri-PB, considerando que a regressão das encostas é potencializada nos canais de escoamento onde a erosão regressiva causada pelas enxurradas, que ao se direcionar para o nível de menor energia, desprende o solo em sentido contrário (a montante) à direção do fluxo da enxurrada, que é a jusante. Tal fenômeno se dá devido ao atrito da água que contém partículas de material cuja granulometria nos tamanhos de silte, areia,

cascalhos e calhaus cisalham a superfície. Esse movimento corrobora para as rupturas dos declives, que são as bruscas mudanças no gradiente altimétrico.

A partir da intersecção dos conjuntos naturais (climático, hidrográfico, topográfico e biótico), em que os elementos fluem e regulam-se sistemicamente, de forma espontânea, vê-se que o ser humano está contido como espécie animal no conjunto biótico, porém com uma composição a mais que os outros indivíduos vivos, pois contém a capacidade cultural, que é aprimorada ao compor cenários futuros. Essa situação permite uma atitude de intervenção no sistema natural espontâneo que está acontecendo no espaço. A intervenção, por menor que seja, no decorrer de acumulações pode acarretar alterações drásticas no sistema natural, ou corroborar com o sistema natural permitindo que o ambiente seja não apenas um recurso, porém um suporte a sustentabilidade da sociedade.

Ao considerar a paisagem como um sistema em que ocorre a todo instante um incomensurável fluxo de trocas de matéria e energia entre seus componentes, as permutas, quando ocorrem de forma natural, buscam por meio de ritmos, a diminuição do consumo e produção de energia para atingir o equilíbrio. Mesmo assim, surge a entrada de elementos não esperados no sistema, permitindo que o ritmo seja alterado, porém dentro de um equilíbrio dinâmico. O sistema se auto-regula quando surge alguma nova forma de ruído no ritmo natural, corroborando com a idéia de que esse ambiente está em busca da estabilidade.

A estabilidade fica comprometida quando os níveis de alteração são provocados pela inserção de qualquer tipo de ruído, como a migração de elementos exóticos àquele sistema, permitindo o descompasso do ritmo em que fluem a matéria e a energia tornando o ambiente vulnerável. Essa vulnerabilidade, segundo Drew (1986), ocorre no elo fraco da cadeia sistêmica, ou seja, no ponto mais tensionado, que não suportando a pressão, ou adapta-se a ela ou se rompe. Esse fenômeno está ligado à intensidade e magnitude da força tensionadora sobre os elementos que estão organizados no espaço num dado momento. A vulnerabilidade é, pois, o ponto de fraqueza em um dos elementos contidos no sistema, mais especificamente, o ponto em que há maior susceptibilidade de ruptura durante uma anomalia que embarga o fluxo espontâneo de trocas de matéria e energia no sistema. Os fluxos podem ser de ordem natural ou artificial, gerando como resultado outros fluxos que podem ou não tender a estabilidade.

Essa relação de equilíbrio do meio-ambiente em questão pode ser vista pelo prisma da teoria Ecodinâmica, que para determinar o grau de equilíbrio de um dado sistema ambiental, deve existir uma relação proporcional entre as forças morfogenéticas e pedogenéticas (TRICART, 1997). Nesse sentido, a paisagem pode ser classificada como instável, estável ou intermediária, havendo respectivamente, uma morfogênese maior que a pedogênese, uma mesma proporção entre elas e, por fim, uma pedogênese ligeiramente maior ou maior que a morfogênese.

Material e Métodos

Localização e características da área

A área estudada encontra-se assentada na diagonal seca existente na superfície do Planalto Cristalino da Borborema, especificamente dentro da área territorial do Município de São João do Cariri, no Estado da Paraíba.

Do ponto de vista climático, a área está inserida na porção semi-árida paraibana cuja indisponibilidade hídrica apresenta-se mais acentuada que no sertão (NÓBREGA, 2002). As precipitações variam entre 350 a 420mm anuais, e de acordo com a classificação climática de Köppen a área é definida como Bsh', indicando que o lugar é considerado como semiárido quente cujas estiagens podem chegar até 11 meses, e em épocas de precipitação normal as

concentrações geralmente ocorrem no entorno dos meses de março e abril, favorecendo a presença da vegetação de caatinga hiperxerófila. Destaca-se ainda, que essa população é de alta eficiência de recomposição, mesmo com a menor recarga de chuva.

O relevo apresenta-se com uma certa planura a suavemente ondulada, e está sobre uma estrutura geológica cristalina, com uma lâmina de solo raso cujos solos mais presentes são: a) Luvissole crômico vértico – tc (Bruno não-cálcico vértico), b) Vertissolo cromado órtico – vc (Vertisol) e c) Neossolo lítico – rl (solo Litólico). Há presença, em proporções menores de Cambissolo háplico – cx (Cambisol), Neossolo flúvico – ru (solo Aluvial), Planossolo háplico – sx (Planosol solódico) e afloramentos rochosos com evidências de neossolo lítico (CHAVES et al., 2002).

A parcela geográfica que contém a bacia hidrográfica analisada situa-se num quadrante cujas coordenadas limitantes são: 36° 33' 25.39" Oeste, S 7° 23' 20.55" Sul e 36° 31' 14.99" Oeste, S 7° 20' 1.96. Na Figura 1 pode-se ver a localização da área no território brasileiro.

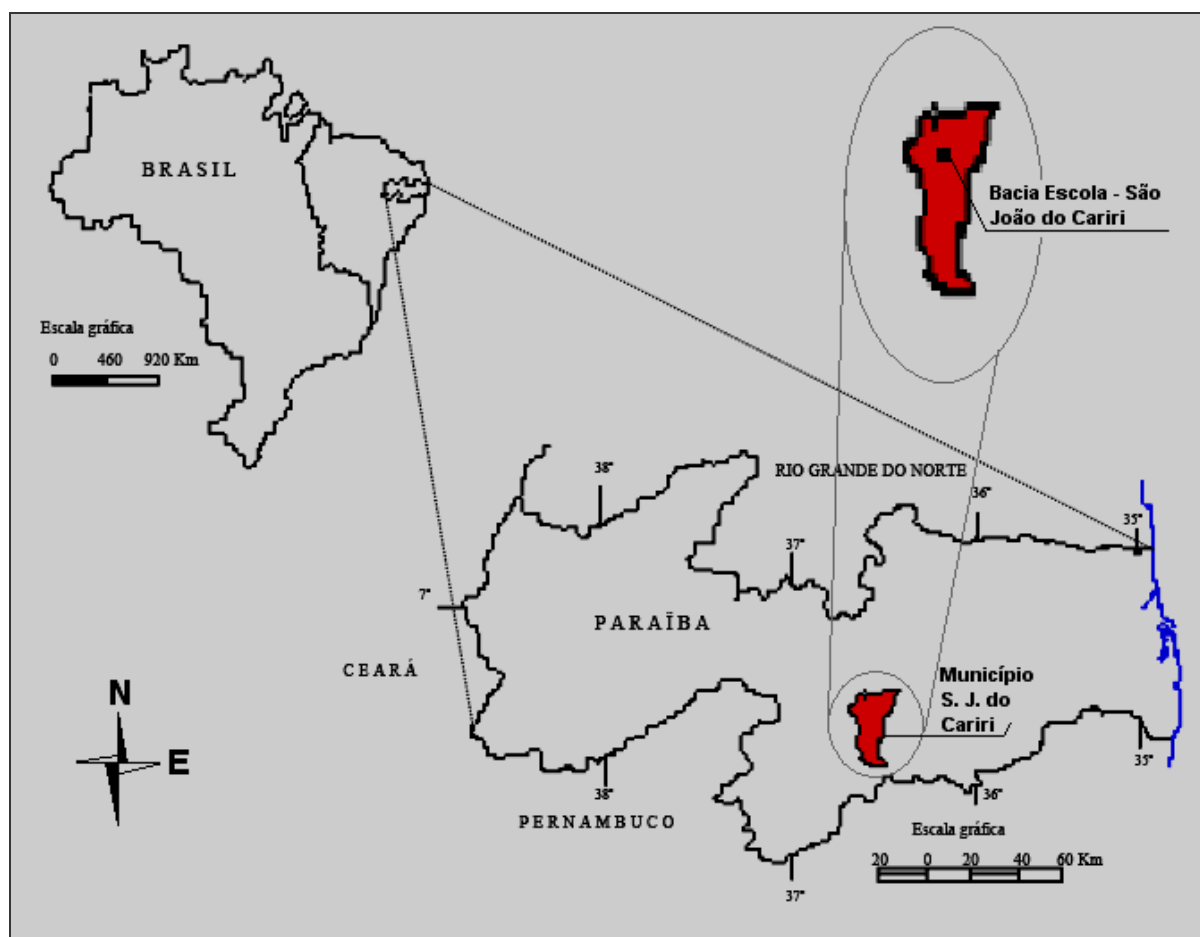


Figura 1 – Localização da área. Organização: os autores, 2007
Fonte: acervo digital do Laboratório de Geografia Aplicada, Degeoc/CCEN/UFPB

Técnicas

Como sistema de informação geográfica, foi utilizado o SPRING (1996) para fins do geoprocessamento. Para o sistema de referência geométrica da terra foi utilizado o SAD/69 (*South American Datum*) com projeção UTM (Projeção Universal Transversa de Mercator).

Foram estabelecidos como fonte de análise do relevo, dados topográficos da área.

Uma imagem do satélite CBERS 2 de 27/12/2003, banda 2,3 e 4 – órbita 147, ponto 108 serviu para identificação do adensamento vegetal nas encostas.

Dados de pluviosidade coletados na Estação Experimental que funciona na bacia subsidiaram a verificação da intensidade das chuvas.

Como fonte de análise do relevo, foram estabelecidos dados topográficos da área cedidos pela Administração da Bacia Escola, fruto de um levantamento planialtimétrico detalhado. Os pontos cotados foram transferidos para o SIG, e por geoprocessamento transformados num modelo digital de elevação através da Triangulação de Delaunay.

Esse modelo triangular obtido foi transformado em uma grade regular de pontos por interpolação linear, cuja matriz teve resolução espacial (x,y) de 10 metros, proporcionando a caracterização dos canais de escoamento com base na tendência natural dos dados coletados em campo, porém suavizando os vértices do modelo triangular.

Utilizou-se ainda ferramentas do módulo de modelagem numérica de terreno do SPRING para análise dos perfis gerados.

Aplicou-se a essa matriz a ferramenta de “processos hidrológicos”, do grupo de modelagem numérica de terreno (MNT) do SPRING e uma nova grade foi gerada a partir do modelo *Local Drain Direction – LDD*. Nesse modelo, em cada ponto a informação da direção do fluxo é armazenada na grade como um novo valor atribuído dentro das 8 direções possíveis, considerando-se os vizinhos mais próximos e a direção da maior declividade (RENNÓ; SOARES, 2001). Essa nova grade foi submetida à ferramenta “rede de drenagem”, resultando num novo produto que, após ser fatiado, isto é, ‘reamostrado’ como célula (raster), possibilitou a identificação da direção dos fluxos. Os fluxos identificados foram vetorizados dando-nos condições de obter os segmentos de reta analisados. A hierarquia dos canais segue a proposta de Strahler apresentada por Christofolletti (1980).

No tocante à densidade vegetacional, a base classificatória e de suporte conceitual foi embasada em Chaves et al. (2002) e Silva et al. (2003). A partir dos trabalhos desses autores, foi possível realizar uma classificação supervisionada da imagem do satélite CBERS 2 para identificação das classes do grau de cobertura vegetal em 27/12/2003. A matriz de confusão não é apresentada pelo fato de que o nível de acerto foi superior a 95% em todas as classes. Essa condição se deve à pequena extensão espacial que foi classificada e também à acuidade na seleção das amostras que, devido ao conhecimento do evento no campo, facilitou a amostragem. O número de amostras não foi superior a 9 (nove) pixels por região, com um número de regiões não superior a 10 para cada classe e o algoritmo para efetuar a classificação supervisionada foi o MAXVER-ICM, onde o ICM (*Iterated Conditional Modes*) considera a dependência espacial na classificação na análise dos pontos.

Resultados e Discussão

Foram destacados, para análise, apenas os canais das microbacias, devido ao elevado volume de dados a serem analisados, caso se verificasse, nesse sentido, cada canal de cada sub-bacia, pois cada canal precedente, numa sub-bacia é, em si, uma microbacia. Por microbacia se compreende a menor unidade fisiográfica da paisagem drenada por cursos d’água convergidos para um leito principal (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), logo então se deduz que a sub-bacia é a unidade fisiográfica que contém diversas microbacias. As sub-bacias por sua vez estão contidas numa unidade maior – a bacia – que contém um canal principal para onde convergem todas as águas de um sistema hídrico.

A partir da modelagem em SIG foram detectadas as disposições geométricas e a hierarquia dos canais. São 7 microbacias (M1 até M7) e 5 sub-bacias destacadas (S1 até S5), que podem ser vistas na Figura 2.

Na Tabela 1 são apresentados os valores aproximados da área de cada microbacia e sub-bacia, o perímetro, comprimento e gradiente. Em relação às sub-bacias, o canal apresentado é o que deságua no leito principal ou diretamente no açude público Namorado, respectivamente. Na Tabela 2 são apresentados os valores das cotas em que os canais das microbacias se iniciam. É conveniente notar que, de cada cabeceira até o divisor de águas, existem microcanais e ravinamentos que vertem para onde se denominou o início dos canais analisados. Esses pequenos cursos, com feições na maioria das vezes inferiores a 1 metro, tanto em comprimento como em gradiente altimétrico, a montante do início dos canais, proporcionam a energia potencial que transformada em cinética no desenvolver do fluxo, modela por erosão o relevo, dando forma ao escoamento, que por sua vez depende das condições de resistência do substrato, para que o resultado geométrico evolua.

Tabela 1 – Área, perímetro, comprimento do canal e gradiente altimétrico aproximados da bacia

Microbacias	Área Km ²	Perímetro Km	Comprimento m	Gradiente m
M1	0,395	2,359	797,02	19,80
M2	0,133	1,521	463,41	17,36
M3	0,115	1,412	453,10	7,40
M4	0,464	2,604	1176,51	42,73
M5	0,449	2,730	835,01	32,80
M6	0,202	1,884	697,36	16,23
M7	0,297	2,263	407,93	10,00
Sub-bacias				
S1	1,875	5,828	2a-1724,45	2a-21,70
S2	3,951	7,492	3a-749,14	3a-61,05
S3	3,372	7,716	2a-1852,80	2a-18,03
S4	1,082	4,411	2a-1522,64	2a-76,05
S5	0,489	3,122	2a-770,29	2a-34,99

Organização: os autores, 2005

Tabela 2 – Cota de início dos canais por microbacias

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
486,99	464,68	459,97	474,05	491,67	481,00	478,02

Organização: os autores, 2005

Na Tabela 3 são apresentadas as freqüências do sentido de cada segmento do canal com o número de segmentos. No caso esses valores devem ser observados juntamente à direção do canal, pois são vetores, logo possuem, além do sentido, direção.

Tabela 3 – Freqüência do sentido em que os segmentos de reta do canal das microbacias se apresentam

AZIMUTE*	MICROBACIAS						
	1	2	3	4	5	6	7
E-SE	10	24	11	63	54	37	19
N-NE	1	20	8	24	15	16	11
NE-E	5	25	37	79	86	44	32
NW-N	9	1	15	72	11	9	2
S-SW	26	25	22	22	18	26	22
SE-S	11	23	23	42	32	47	20
SW-W	81	6	5	26	6	20	6
W-NW	78	6	7	19	17	7	1
Segmentos de reta	221	130	128	347	239	206	113

Organização: os autores, 2005

* AZIMUTE é o quadrante do azimute e M1 até M7 os valores por microbacia. A leitura de AZM deve ser feita pelo sentido que o quadrante apresenta e não como sendo, por exemplo, para W-NW equivalente ao "de-para", isto é, como sendo a partida de W e a chegada do canal em NW

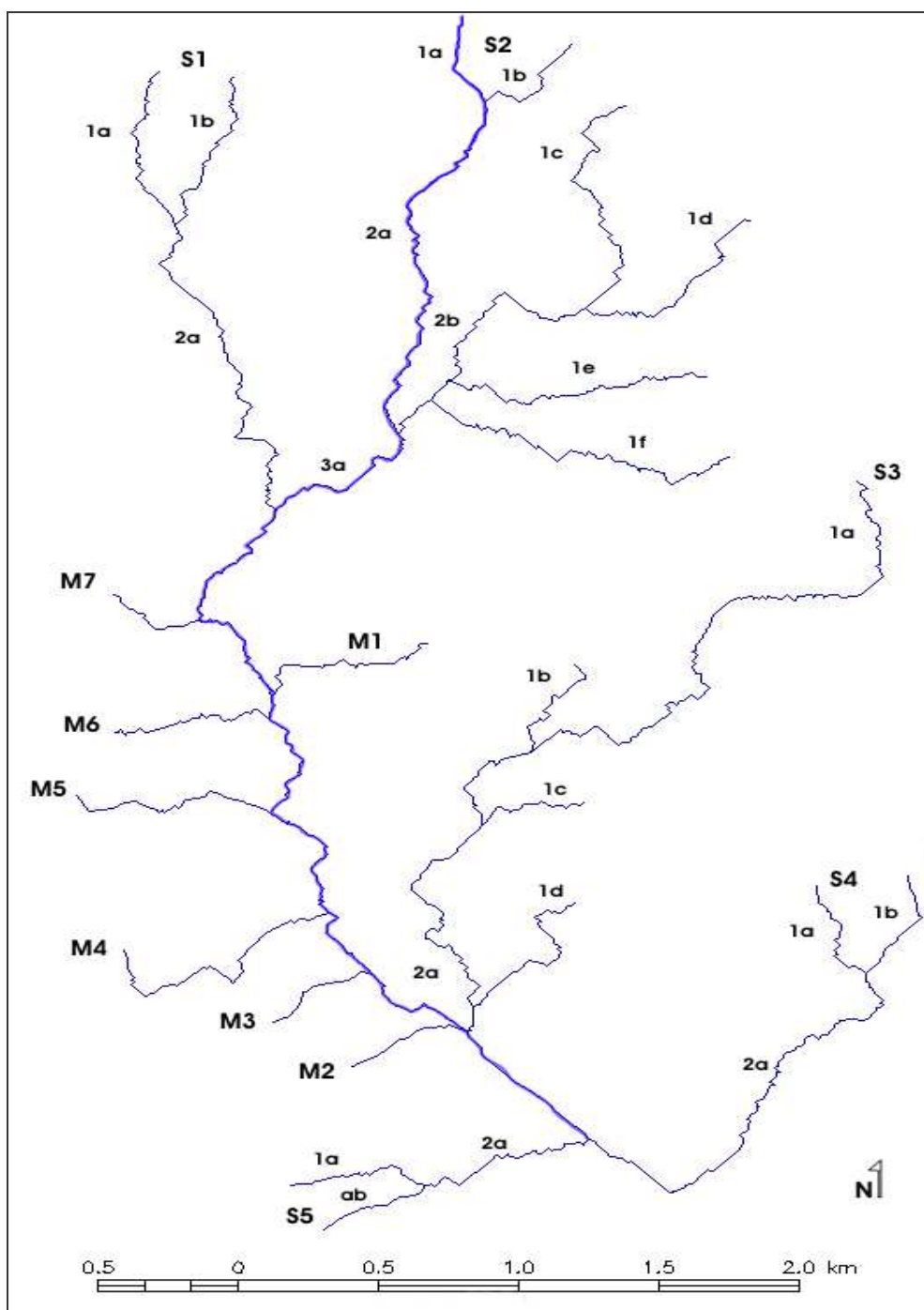


Figura 2 – Disposição da hierarquia dos canais, onde o canal com traço mais forte é o determinante. Organização: os autores, 2005

Pode ser observado na Figura 2 que a direção predominante do fluxo de água referente ao leito principal é de Norte para Sul, entretanto, o sentido dos canais varia à medida que o leito se desenvolve sobre esse relevo de baixa rugosidade. Isso pode ser verificado na angulação do encontro dos afluentes com o canal determinante e também na Figura 3, que mesmo com exagero vertical demonstra as áreas de captação com baixa movimentação da superfície relevo. Com esse relevo pouco rugoso um dos fatores que afetam diretamente o sentido do fluxo à passagem da

água das enxurradas, está na relação entre a determinação da inclinação do relevo quanto da resistência do substrato cristalino, ou seja, a rocha.

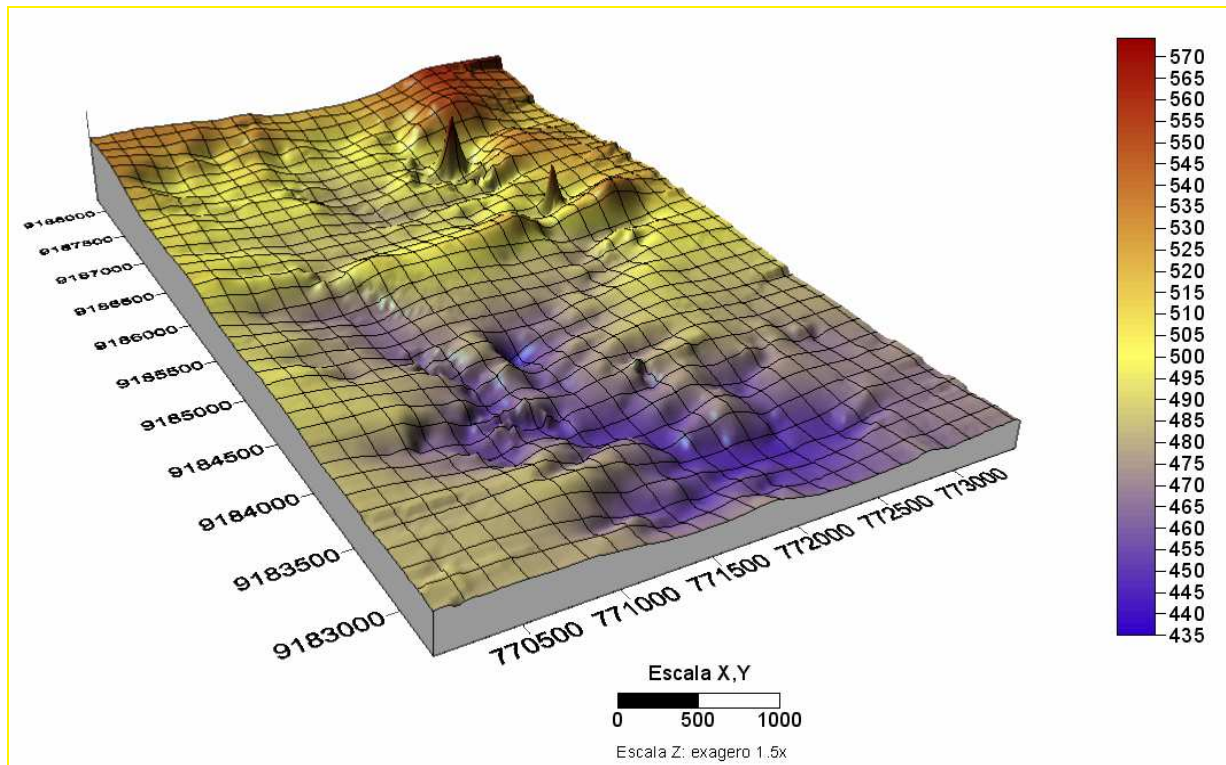


Figura 3 – Visualização do Modelo Digital de Elevação. Os picos observados são afloramentos rochosos (cristalino).
Organização: os autores, 2007

Os canais 1a e 1b da sub-bacia S1; 1a, 1b, 1c e 1d da sub-bacia S2; 1a, 1b, 1c e 1d de S3 e 1a e 1b de S4, seguem a tendência acima mencionada, isto é, com direção predominante de Norte para Sul variando nos quadrantes NW-N-NE para SE-S-SW. Já os canais 1e e 1f de S2 se apresentam com direção latitudinal, de E para W. Os canais 1a e 1b de S5 têm a mesma característica, porém, por estarem na outra margem do canal principal têm direções predominantes opostas, isto é, W para E.

Do mesmo modo que seus canais precedentes, o canal 2a da sub-bacia S5, segue em termos de direção. É interessante notar que essa característica de direção E-W ou W-E predomina nos canais das microbacias, mas, ao se ter como parâmetros todos os canais da 1ª ordem, ou seja, nível 1 de cada sub-bacia, apenas 4 canais, 1e e 1f de S2 e 1a e 1b de S5 assemelham-se em termos de direção com as microbacias.

Além dos fatores climáticos e do substrato, seja solo ou afloramentos rochosos, cascalhos e calhaus, comuns na região, o grau de exposição incide na geometria final dos canais. O grau de exposição é a direção em que as faces das encostas recebem todas as forças morfogenéticas, de origem externas, logo morfoclimáticas.

Em M1 o sentido SW-W predomina com freqüência de 81 segmentos sendo seguida por 78 segmentos no sentido W-NW, dentre os 221 segmentos do canal. A microbacia M1 apresenta como menor freqüência apenas um segmento, que se dá no sentido N-NE, denotando sua tendência à linearidade, pois dos 62 segmentos restantes, apenas 28% estão distribuídos nos demais sentidos.

Em M2 praticamente há um equilíbrio na distribuição das freqüências do sentido dos segmentos com os seguintes resultados: NE-E 25 vezes, S-SW 25 vezes, E-SE 24 vezes, SE-S 23 vezes e N-NE 20 vezes, dentre os 130 segmentos do canal. Na microbacia M2 há apenas um segmento como menor freqüência, como em M1, cujo sentido é NW-N. Em M2, os resultados implicam em uma sinuosidade elevada do canal, pois há o equilíbrio na distribuição, que abrange 5 quadrantes contra três, cujas freqüências juntas representam apenas 10% dos segmentos.

Em M3 o sentido mais freqüente é NE-E com 37 segmentos. A menor freqüência é SW-W com 5 segmentos. Há uma relação de sinuosidade também nesse canal, pois a distribuição segue com as freqüências: SE-S, 23; S-SW, 22; NW-N, 15; E-SE, 11; N-NE, 8 e W-NW, 7.

Em M4 o valor que mais se repete é também o quadrante NE-E como em M3, com 79 segmentos. A menor freqüência é no sentido W-NW, com 19 segmentos. Pelos valores obtidos para os sentidos do canal dessa microbacia, percebe-se uma equilibrada distribuição de suas freqüências, denotando a sinuosidade do canal cuja tendência maior se encontra nos sentidos NE-E, NW-N e E-SE, no qual NW-N, NE-E e E-SE são seqüência, quando se dirige a Sul.

Em M5 a situação da maior freqüência incide no sentido NE-E, com 86 segmentos, porém, observa-se que a diferença entre a maior freqüência para a segunda, neste canal, é de 32 segmentos, diante das demais microbacias. Para os demais canais a diferença entre a maior freqüência observada e a segunda é de 3, 0, 14, 7, 3 e 10 segmentos respectivamente para M1, M2, M3, M4, M6 e M7. Vários fatores incidem sobre essa diferença elevada, porém, um dos fatores determinantes pode estar relacionado à energia do canal. O canal de M4 possui uma extensão de 1176,51m e um gradiente altimétrico de 42,73m; o canal de M5 possui 835,01 e gradiente altimétrico de 32,80m. Ao se comparar M4, que tem o maior gradiente altimétrico, com M5, que possui o segundo maior gradiente em relação às demais microbacias a partir do comprimento/gradiente, M4 tem uma relação de queda de 1 metro no gradiente a cada 27,533 metros de curso. Já em M5 essa relação é de 25,45 metros, ou seja, uma diferença de 2,07 metros no comprimento para o desnível de 1 metro no gradiente, resultando numa diferença de 341,50 metros entre M4 e M5 no curso do canal, isto é, o canal de M5 é mais curto que o canal de M4, porém se aproxima de M4 em termos de gradiente, que é o maior.

Já em M6 e M7 há uma proporção na freqüência dos sentidos, denotando também que os canais não tendem a retilinearidade. Em M6 a maior freqüência se encontra no sentido SE-S e em M7 no sentido NE-E.

As maiores freqüências observadas são NE-E, cinco vezes, SW-W, uma vez; SE-S, uma vez. A microbacia M1 está diametralmente oposta às demais, logo, na vertente esquerda do canal principal, representado pela linha mais escura na Figura 2, direção à jusante. A microbacia M6 apresenta-se com uma tendência de sentido Sudeste/Sul (SE-S), mas tem como segunda freqüência de sentido NE-E.

A vertente esquerda do curso principal vista aqui como determinante, tem seu início no canal denominado de 1a da sub-bacia S2, e que proporcionou ao canal de M1 um curso mais retilíneo, no entanto, para os canais de M2 a M7, os cursos são mais sinuosos.

O fato do canal M1 se apresentar mais retilíneo que os demais, e isolado, enquanto microbacia na vertente esquerda do canal determinante denota que neste flanco a regressão da encosta pode estar sendo potencializada, pois na vertente direita a água é vertida para microbacias, e não como na esquerda, em que M1 está entre S2, S3 e S4, concorrendo com sub-bacias. Analiticamente, cada canal de ordem 1 de cada sub-bacia é uma microbacia, e observando os canais mais a jusante nas sub-bacias pode-se verificar que a intensidade do trabalho fornecida ao sistema, a partir das enxurradas conduzidas pelos canais precedentes, mais a montante, aumenta no momento que há o deságüe no canal principal.

No caso da vertente esquerda, em que S2, S3 e S4 se encontram, há 13 microbacias contra 10 microbacias da vertente direita. Uma relação próxima, se o canal determinante recebesse uma contribuição elevada, a partir das enxurradas oriundas da vertente esquerda. Na vertente direita há muitos canais, porém isolados em microbacias, não como no complexo da vertente esquerda, em que as sub-bacias determinam o fluxo.

A vertente esquerda denota uma concentração de maior energia potencial que a vertente direita, sendo verificado nas cotas em que os canais, desse lado, começam a estabelecer-se enquanto resultante da cinética das águas torrenciais. Na Tabela 4 podem ser vistas as cotas em que esses canais se iniciam, ou seja, o ponto em que a energia potencial, ao transformar-se em cinética, modifica os microcanais ou ravinas em um leito concentrador das águas pluviais. Na Tabela 5 pode-se ver a cota de início dos canais de ordem 1 da vertente direita do canal determinante, isto é, da sub-bacia S1 e S5.

Tabela 4 – Cota de inícios dos canais em metros em relação ao nível do mar na vertente esquerda do canal determinante de ordem 1, por sub-bacias e da microbacia M1

S2						S3				S4		M1
(1a)	(1b)	(1c)	(1d)	(1e)	(1f)	(1a)	(1b)	(1c)	(1d)	(1a)	(1b)	(1a)
524,3	510,5	508,6	507	496,7	519,9	519,9	483	483	518	479,3	479,9	486,99

Organização: os autores, 2005

Tabela 5 – Cota de inícios dos canais em metros em relação ao nível do mar para sub-bacias S1 e S5

S1		S5	
(1a)	(1b)	(1a)	(1b)
519,97	506,96	467,08	475,39

Organização: os autores, 2005

O canal 1a da sub-bacia S2 é o que se inicia na maior cota, com 524,25 metros, mas em termos do comprimento do canal, em relação aos demais, 1a de S2 é o menor, com 437,92m, enquanto que o maior, que é o 1f, também de S2, tem 1428,11m de comprimento, e inicia-se na cota de 519,85m. Apesar de 1a de S2 ser o canal mais curto, sua cota elevada exprime a energia potencial mais elevada quando os canais de ordem 1 são comparados e S2 é a única sub-bacia que apresenta um canal de ordem 3.

A energia cinética que modela a forma geométrica do canal, a partir do aspecto das frequências de sentido na orientação do fluxo, apresenta uma elevada abrasão lateral nos leitos cuja sinuosidade resulta na alta concentração do trabalho erosivo. As condições da localidade em voga, cujos solos são rasos e com afloramentos rochosos do cristalino, permitem o refluxo da enxurrada em movimentos turbulentos incidindo na concentração sinuosa do fluxo no leito.

A distribuição da sinuosidade média dos canais das sub-bacias S2, S3 e S4 pode ser vistas na Tabela 6, cujo histograma é apresentado na Figura 4.

Tabela 6 – Freqüência média do sentido dos canais de S2, S3, S4

Sentido	Freqüência	Classe
N-NE	285	1
NE-E	605	2
E-SE	701	3
SE-S	1199	4
S-SW	1232	5
SW-W	1055	6
W-NW	1028	7
NW-N	458	8

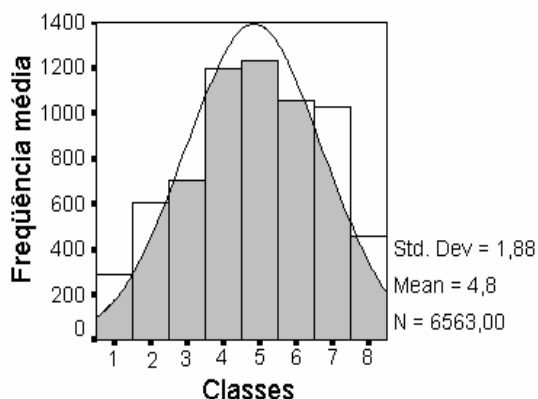


Figura 4 – Histograma com a curva de normalidade dos dados apresentados na Tabela 6

Organização: os autores, 2005

De acordo com os resultados apresentados há uma distribuição próxima a normal das freqüências com pico máximo nos sentidos SE-S e S-SW, indicando que o fluxo segue na direção sul com uma certa sinuosidade. Este resultado se for comparado com os obtidos para as microbacias que estão na margem direita do canal determinante, mostram-se similares diferindo apenas em relação aos resultados obtidos para M1, cuja tendência retilínea é mais acentuada. Uma explicação para essa diferença, notada apenas em M1, pode estar em função do tempo de trabalho que a água vem aplicando nesta área cujo canal é efêmero, porém mais proeminente que os ravinamentos ou fluxos que circulam na microtopografia.

As condições ambientais na proximidade do canal M1 denotam que ele está se desenvolvendo em uma área de planura. Uma análise da declividade do perfil do canal (Tabela 7), mostra que em seus 797,02m de comprimento, apenas nos primeiros 50m há uma variação angular elevada.

Tabela 7 – Estatística descritiva da declividade em graus do canal de M1

Parte do canal	Amostras	Amplitude	Min.	Max.	Média	Desv. M.	Var.
Até 50m	14	39	2	41	16	13	178
de 50 até 797,02m	206	10	1	11	3	1	2

Organização: os autores, 2005

Nos primeiros 50 metros do canal de M1, como mostra a Tabela 7 há uma elevada energia potencial e cinética em relação ao restante do canal, pois a média angular dessa seção é 16°, enquanto que nos 747,02 metros restantes, a média angular do declive é 3°. Associando esses valores ao aspecto de planura obtido através dos transectos P1, P2 e P3, corrobora-se a idéia de que este leito é mais recente que os demais devido às condições ambientais, ligadas ao substrato que permite um desenvolvimento energético que serviu como 'gatilho' para que o canal venha se formando, daí então sua característica diferenciada dos demais canais em termos de sinuosidade do leito.

A partir dos dados expostos e da sua análise, salienta-se que há na área a regressão das encostas e dos processos erosivos e que, na vertente esquerda do canal determinante existe uma propensão maior ao desgaste, ainda mais se considerar M1 como sendo o início de um novo comportamento erosivo, pois numa área cuja declividade média em que o canal evolui, está por volta dos 3°, o desvio médio de 1°.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados do tamanho da área das classes de cobertura vegetal por microbacia com as respectivas áreas de exposição.

Tabela 8 – Área aproximada das classes do grau de cobertura vegetal e direção das encostas por microbacia em Km²

Cobertura vegetal	Grau de cobertura vegetal por microbacia						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
Água ou Solo exposto e úmido	0,014	0,042	0,020	0,035	0,044	0,013	0,046
Solo exposto	0,031	0,040	0,011	0,038	0,039	0,014	0,010
Vegetação aberta	0,122	0,005	0,028	0,191	0,056	0,022	0,025
Vegetação densa	0,108	0,025	0,045	0,103	0,061	0,079	0,123
Vegetação rala	0,120	0,022	0,011	0,098	0,250	0,075	0,093

Organização: os autores, 2005

Na Tabela 9 podem ser vistos os resultados do tamanho da área das classes de cobertura vegetal por sub-bacia com as respectivas áreas de exposição

Tabela 9 – Áreas aproximadas das classes do grau de cobertura vegetal por sub-bacia em Km² obtidos da classificação supervisionada

Cobertura Vegetal	S1	S2	S3	S4	S5
Água ou Solo exposto e úmido	0,181	0,134	0,068	0,066	0,062
Solo exposto	0,193	0,230	0,193	0,182	0,182
Veg aberta	0,152	0,340	0,657	0,297	0,080
Veg densa	0,655	2,497	1,123	0,200	0,060
Veg rala	0,695	0,750	1,330	0,337	0,106

Organização: os autores, 2005

O resultado comparativo para o grau de cobertura nas microbacias pode ser visualizado na Figura 5.

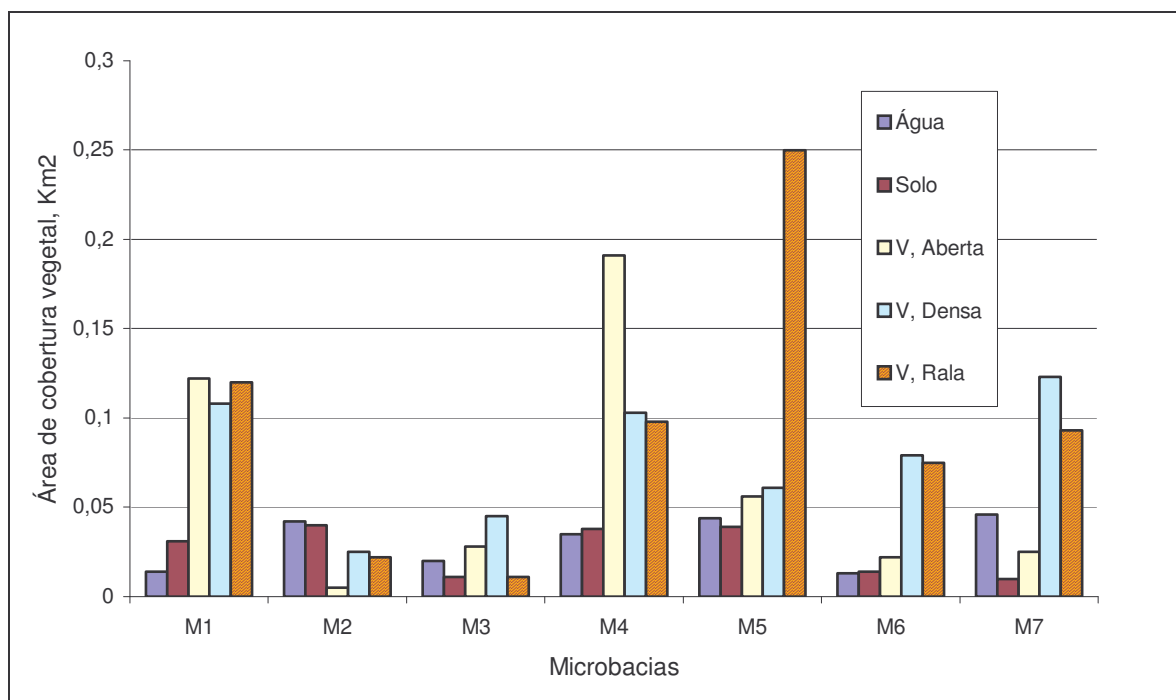


Figura 5 – Comparação entre as classes do grau de cobertura do solo por microbacias em Km² em 27/12/2003. Fonte: imagem CBERS 2, bandas 2,3 e 4

A classe solo, que representa solo exposto às intempéries, é menor em praticamente todas as microbacias, estando apenas em M2 com valor aproximado da área de água ou solo exposto e úmido, isto devido ao fato dessa microbacia estar bem próxima à cota de cheia do Açude Público Namorado. Nas demais microbacias é marcante a presença da vegetação, porém pouco adensada, existindo apenas em M4 uma área de elevada proporção com vegetação aberta. O canal M4 é bastante sinuoso, esta sinuosidade pode ser consequência da área com pouca vegetação, resultando baixa proteção do solo, deixando-o exposto à ação erosiva nas laterais do canal, pois qualquer obstáculo que se interpõe à frente da descarga hídrica é capaz de desviar a direção do fluxo para as bordas, mais sensíveis à erosão.

A água no solo em M2 e M5 tem seu resultado semelhante a M7 que praticamente fica com grande parte de sua extensão imersa quando há cheia no açude.

Há uma proporcionalidade entre as classes, com discrepâncias apenas na vegetação rala de M5. Em M5 (ver Figura 5 e Tabela 3) a sinuosidade do canal é menor que M4, porém maior que os canais das demais microbacias, corroborando a idéia de que a sinuosidade pode ser resultado do grau em que se encontra a ocupação pertinente à cobertura vegetal.

A sinuosidade do canal como dependente do grau de cobertura, pode ser explicada através da teoria Ecodinâmica, posto que, se a cobertura vegetal não está distribuída adequadamente a proteger o solo, a tendência é que o meio se torne instável, permitindo que a morfogênese supere a pedogênese.

Em M1, cujo canal corre com certa linearidade, há proximidade entre os valores dos graus de cobertura. Tanto a vegetação rala quanto aberta se encontram em grau similar, com uma variação inferior para vegetação densa, porém permitindo que as intempéries, principalmente as resultantes da pluviosidade sejam absorvidas com menos impacto no sistema.

No que diz respeito às sub-bacias, as classes “Água ou Solo exposto e úmido”; “Solo exposto” e “Vegetação aberta” foram menores que as classes “Vegetação densa” e “Vegetação rala”, com exceção da classe “Vegetação densa” em S4 (0,201Km²) e “Vegetação densa e rala” em S5 (0,060 e 0,106 Km², respectivamente), quando comparados aos valores obtidos para as outras classes. Associando esses resultados às observações obtidas para regressão das encostas, a partir do ponto de vista das frequências dos sentidos dos canais, percebe-se que nas sub-bacias ainda há uma maior superfície com vegetação rala ou densa, e também há um elevado processo de morfogênese. A própria hierarquia dos canais nas sub-bacias é um indicativo desse fenômeno. Em S2, que possui a hierarquia mais complexa, chegando a ordem 3a, inesperadamente tem-se a maior presença da vegetação densa (2,497Km²).

A teoria Ecodinâmica admite que quando há cobertura vegetal com maiores proporções de adensamento dos indivíduos numa área, esta torna propícia a tendência de que a pedogênese seja mais elevada que a morfogênese, dando assim condições para que o solo seja formado e acumulado sobre a litologia imediatamente abaixo.

Neste estudo foram detectadas áreas com grandes vazios de vegetação, logo, com solo exposto e também a existência de algumas áreas com densidade vegetal que poderiam vir a favorecer a pedogênese, no entanto, nestes núcleos com densidade vegetal em que a pedogênese deveria ser mais intensa que a morfogênese, há uma propensão maior à alteração do relevo do que à formação de solo em si. Essa situação é explicada devido à elevada intensidade das chuvas que, agindo sobre o solo e sobre o substrato cristalino localizado muito próximo à superfície do relevo, tem favorecido a formação das enxurradas na cumeada, e que por captação tem seu caudal aumentado, erodindo a camada de solo incipiente na direção a jusante. Ou seja, embora existam áreas com densidade vegetal, as quais poderiam favorecer a formação de solo

(pedogênese), estas não promovem uma proteção efetiva ao solo da ação das águas da chuva, que quando concentradas nos topos das encostas formam as fortes enxurradas.

Em medições exploratórias com trado holandês, chegou-se na rocha em cinco sondagens, num perfil transversal ao canal, ou seja, do divisor de águas até o talvegue, no leito seco. Essas sondagens permitiram verificar as seguintes profundidades de lâmina edáfica 0,28m, 0,46m, 0,66m e 0,53m e apenas no leito, onde foi tratada a superfície na profundidade de 1,00m, não se atingiu a rocha. Essas profundidades obtidas corroboram para a rápida formação de enxurradas decorrentes das chuvas intensas, pois na vertente o solo é raso, vindo a ser mais profundo no leito devido ao acúmulo de sedimentos.

Em relação à elevada concentração das precipitações existem meses com ausência de chuvas, cuja estiagem normalmente ocorre entre junho e setembro. Entretanto, no dia 19 de janeiro de 2003 (de acordo com dados pluviométricos da Rede Hidrométrica do Nordeste; Posto da Bacia Escola – São João do Cariri/PB), praticamente em um dia totalizaram-se mais de 90% no que se refere à precipitação do que foi acumulado no período mensal, do mesmo modo ocorreu no dia 1º e no dia 13, de fevereiro desse mesmo ano, totalizando, respectivamente, 8,70mm e 12,00mm. Nesses dois dias de fevereiro de 2003 foram totalizados 72% do total mensal. Nos meses de março, abril e maio existe concentração da precipitação em poucos dias também denotando a intensidade da chuva precipitada no ambiente e nesse período. Esses valores elevados de carga pluviométrica indicam alta magnitude para o complexo de bacias estudadas, cujo relevo contém uma camada rasa de solo com presença intensa de regolitos.

Pelo fato de estar sobre o cristalino, o escoamento superficial torna-se bem drenado em decorrência da impermeabilidade da rocha, pois o movimento vertical da água passa a se dar no sentido do substrato, formando assim os canais torrenciais que decorrem do trabalho das enxurradas, e estas vão dando novas feições ao modelado das vertentes nas bacias estudadas.

Considerações Finais

Pode-se afirmar que há erosão regressiva nos canais de escoamento em decorrência das chuvas de alta intensidade e que a ausência de vegetação em determinados pontos da bacia torna o ambiente mais vulnerável à ação das enxurradas oriundas das chuvas. Entretanto, o ambiente pesquisado mantém-se estável, no que se refere à classificação ecodinâmica, por volta de sete meses ao ano, pois a vegetação existente, juntamente com a baixa pluviosidade no período de estiagem, é ponto-chave para que haja pedogênese.

Esse ambiente, apesar da estabilidade observada num determinado período sazonal, torna-se vulnerável, como visto, quando o agente intempérico relativo às chuvas de alta intensidade fluem. Nesse caso o manejo adequado para a captação e drenagem dessas intensas cargas pluviais e utilização, também adequada da distribuição da vegetação é uma alternativa viável para a utilização da bacia sem tencioná-la ambientalmente.

Referências

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; VASCONCELOS, A. C. F.; SILVA, A. P. P. **Salinidade das águas superficiais e suas relações com a natureza dos solos na bacia escola do açude namorado**: diagnóstico do uso e degradação das terras. Campina Grande: BNB, UFPB, FINEP, 2002. Relatório Técnico.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1980.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. São Paulo: DIFEL, 1986.

NÓBREGA, M. F. **Áreas propícias à proteção ambiental no município de São João do Cariri – PB: o caso do sítio Barra de Figueira**. 2002. 83 p. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Desprendimento e arraste do solo pelo escoamento superficial. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 423-429, 2003.

PISSARRA, T. C. T., POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 297-305, 2004.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. Discretização espacial de bacias hidrográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 485-492. Repositório da URLib disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.18.19.11/doc/0485.492.275.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2007.

SANTOS, C. A. G.; SUZUKI, K.; WATANABE, M.; SRINIVASAN, V. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 92-96, 2000.

SILVA, A. P. P.; CHAVES, I. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude namorado no cariri oriental paraibano. **Rev. Agropec. Téc.**, João Pessoa, v. 1, n. 24, p. 47-59, 2003.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: SUPREN, IBGE, 1977.