



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Susceptíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o Estudo de Caso da Bacia do Rio Pajeú/PE

Ailton Feitosa¹, Bruno dos Santos², Maria do Socorro Bezerra de Araújo³

¹Professor Assistente da UNEAL e Doutorando do PPGEIO da UFPE

²Aluno de graduação do curso de Geografia da UFPE e bolsista do Cnpq

³Professora Adjunto do Departamento de Ciências Geográficas - UFPE

Artigo recebido em 25/09/2011 e aceito em 01/12/2011

RESUMO

A análise de como os elementos da paisagem interage no meio, pode levar a tomada de decisões sobre o uso e a distribuição de determinadas atividades antrópicas sobre os recursos naturais. Para tanto, é necessário a combinação de diversos dados, a exemplo dos parâmetros morfométricos que de certa forma, permitem a classificação física e a diferenciação de áreas susceptíveis à erosão dentro de uma bacia hidrográfica. Nesse sentido, o uso da análise linear e areal têm como objetivo neste estudo, a identificação das áreas de maior fragilidade à erosão na bacia hidrográfica do Rio Pajeú. As informações produzidas revelam que o Rio Pajeú possui canais de até 7ª ordem, densidade de drenagem (Dd) de 0,753 (baixa), forma alongada com índice de circularidade (Ic) igual a 0,189, declividade média (3,41%), índice de sinuosidade alto (1,5) e um grau de dissecação baixo com 0,611 canal/km². A partir desses resultados e de outros que foram calculados, bem como utilizando o NDVI que foi calculado para toda a área da bacia e os dados de declividade, foi feito o cruzamento com as diferentes classes de solos localizados na bacia, buscando-se identificar as áreas de maior susceptibilidade à erosão.

Palavras-Chaves: bacia hidrográfica; solos, semi-árido; Pernambuco, erosão, solos.

Morphometric Characterization and Identification of Areas Susceptible to Erosion on the Pajeú River Watershed

ABSTRACT

The analysis of how the elements interact in the environment, can lead to making decisions about the use and distribution of certain human activities on natural resources. To do so, you need a combination of various data, such as morphometric parameters that somehow allow the physical classification and differentiation of areas susceptible to erosion within a watershed. In this sense, the use of linear and areal aim of this study, identifying areas of greater vulnerability to erosion in the river basin Pajeú. The information produced Pajeú reveal that the river channels has up to 7th order, drainage density (Dd) of 0.753 (low), elongated shape with an index of circularity (Ci) equal to 0.189, average slope (3.41%), index of high sinuosity (1.5) and a low degree of dissection with canal/km² 0.611. From these and other results were calculated as well as using the NDVI was calculated for the whole basin area and slope data, the crossing was made with the different classes of land located in the basin, seeking to identify the areas of greatest susceptibility to erosion.

Keywords: basin; soil; Pajeú, semi-arid; Pernambuco, erosion, soils, ground.

1. Introdução

A dinâmica ambiental de uma área pode ser entendida pela caracterização da sua paisagem e de seus elementos, podendo até mesmo, ser representada por uma série de

parâmetros físicos, que possam em seu conjunto, demonstrar uma condição natural num dado momento e sob uma dada situação ecossistêmica.

Nesse sentido, a importância dos parâmetros morfométricos nos estudos sobre

*E-mail para correspondência: a.feitosa@bol.com.br (Feitosa, A.).

vulnerabilidade ambiental em uma bacia hidrográfica pode ser vista, a partir da análise dos processos envolvidos na dinâmica ambiental e no transcorrer do ciclo hidrológico, que influencia, dentre outros, a infiltração, o escoamento e a disponibilidade de água na bacia.

Esses parâmetros morfométricos podem ser obtidos a partir dos dados físicos de uma bacia, os quais segundo Tonello (2005) podem ser divididos em: geométricos, geomorfológicos e hidrográficos. Nesse sentido, esses dados possuem uma forte relação com a morfologia, o clima e a pedoforma, demonstrando determinadas classes de informações e diferenças essenciais entre as distintas paisagens na bacia, que é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica ambiental de um sistema, como relatam estudos desenvolvidos por Horton (1945), Strahler (1957) e Christofolletti (1978).

Para uma análise morfométrica (linear e areal), a ordenação de canais é o primeiro passo na caracterização das bacias hidrográficas, cuja finalidade é identificar os diferentes padrões geométricos. Os inúmeros canais identificados serão ordenados de forma sequencial em primeira, segunda ou ordens superiores, que variam dentro da área drenada por cada bacia. Assim, como a área, o perímetro, a extensão e os dados altimétricos. Segundo Christofolletti (1980), com estes dados pode ser feita uma primeira análise da rede de drenagem e, por extensão caracterizar

ambientalmente a situação física da bacia. De modo geral, uma bacia hidrográfica pode ser definida como sendo uma área drenada por um determinado rio, ou por uma rede fluvial, que estará constituída por um conjunto de canais de escoamento interligados e confinados numa determinada área delimitada pela topografia.

A cobertura vegetal, o tipo de solo, a litologia e a declividade na bacia hidrográfica, exercem um importante papel no escoamento, bem como a disposição dos rios, que é controlada, em grande parte, pela estrutura geológica, influenciando o padrão de drenagem e na classificação do relevo. A área drenada por esse sistema natural será definida como sendo uma bacia de drenagem constituída por diversos tributários e um rio principal. Estes canais drenam terras desde suas nascentes (onde estão os terrenos mais elevados), até a foz, cuja rede de drenagem, não só depende do total e do regime das precipitações, como também das perdas por evapotranspiração e infiltração (Cunha *et al.*, 2007).

Assim, a caracterização da dinâmica ambiental observada numa bacia hidrográfica pode revelar quais são os tipos de processos naturais ou antrópicos, que tendem a ser mais intensos na região da bacia, bem como qual deles possuem uma ação mais erosiva. Para tanto, é necessário que se tenha informações físicas sobre a bacia, que podem ser obtidas a partir dos dados morfométricos, onde a densidade de drenagem, o índice de

rugosidade e o índice de pendência, podem demonstrar que com o aumento da vazão também aumenta a situação de fragilidade das áreas drenadas na bacia, cujos valores mais elevados estarão situados de forma crescentes próximos à foz do rio principal (Carvalho, 2007).

Nesse sentido, muitos estudos como os de Cunha e Guerra (1996), Sthaller (1957) e Horton (1945), têm demonstrado que os dados físicos de uma bacia hidrográfica, podem ser utilizados para compreender o tipo de escoamento (superficial ou sub-superficial), os mecanismos erosivo-deposicionais mais preponderantes e as áreas mais susceptíveis às mudanças, que são resultantes da interação de diversos fatores na paisagem, com o clima, os aspectos geológicos, os solos, o relevo, a cobertura vegetal e as diversas formas de uso e ocupação da terra. Estas informações explicitam os indicadores físicos da bacia, caracterizando suas homogeneidades, diferenças e áreas de fragilidades naturais.

Segundo Carvalho *et. al.* (1990), Sthahler (1957) desenvolveu um método de análise dimensional e de semelhança geométrica, através de medidas de tamanho e de parâmetros geométricos lineares, para agrupar bacias hidrográficas e sistemas de drenagem de maior similaridade geométrica. Esse método tem sido utilizado para auxiliar no processo de amostragem de bacias hidrográficas, que tenham comportamento hidrológico e características morfométricas semelhantes. A dimensão de sua paisagem, e

a inferência antrópica sobre elas, pode ser mensurada e analisada com seus prováveis efeitos na dinâmica dos sistemas naturais, estabelecendo-se as estimativas e as respostas das características físicas de um rio e da bacia, necessárias ao levantamento e entendimento dos recursos naturais.

Para tanto, essas informações precisam ser detalhadas e quantificadas a partir de um sistema de informação geográfica, que possa ao final, demonstrar através de um mapeamento suas ocorrências espaciais, ou que pelo menos, especialize suas possíveis relações e similaridades. Nesse sentido, hoje se faz uso de ferramentas computacionais para obtenção e processamento desses dados com utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), principalmente em estudos de natureza distintas ou correlacionadas, como a morfometria e a geomorfologia, cujos resultados têm mostrado a necessidade de análise comparativa entre produtos cartográficos gerados pela técnica dos SIG's e aqueles produzidos por métodos convencionais, em função dos recursos e da eficiência oferecida (Castro, 1993).

Análise semelhante pode-se observar em Valeriano (2007), quando afirma que as técnicas cartográficas tradicionais são muito limitadas, principalmente por serem baseadas na utilização de mapas impressos. O que justifica sua substituição pela tecnologia da computação gráfica e o emprego de análise numérica realizada com o uso de software avançados. Este fato, tem se dado a partir da

facilidade de acesso ao computador. Atualmente, é demandado que a cartografia temática moderna forneça dados cada vez mais rápidos para auxiliarem na tomada de decisões e no gerenciamento dos recursos naturais.

Assim, os dados morfométricos e a caracterização do sistema ambiental de uma bacia hidrográfica, constituem uma importante fonte de informações para a compreensão física de uma bacia e a dinâmica das terras drenadas por ela, principalmente quando o ambiente em questão está sofrendo alterações em parte de seu curso d'água. Facilitando, por extensão, à tomada de decisões num planejamento do uso e ocupação do solo.

Neste trabalho é apresentado o estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, localizada na região do semi-árido pernambucano para que se conheça suas condições morfométricas com vistas o

entendimento da sua dinâmica ambiental. Os dados gerados podem contribuir para futuras ações de gerenciamento, conservação e recuperação da sua paisagem.

2. Material e Métodos

A área de análise e estudo morfométrico, corresponde à chamada Microrregião do Vale do Rio Pajeú, situada na porção Centro-Oeste do Estado de Pernambuco, localizada nas coordenadas geográficas 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul, e 36° 59' 00" e 38° 57' 45" de longitude oeste, que forma a Unidade de Planejamento Hídrico UP-9, com 355 km extensão da sua nascente até sua foz no Lago de Itaparica no Rio São Francisco, com uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área do Estado (Figura 1). O relevo é muito movimentado, variando entre suave, ondulado e íngreme, com declives de 7,5% a 90,7%.

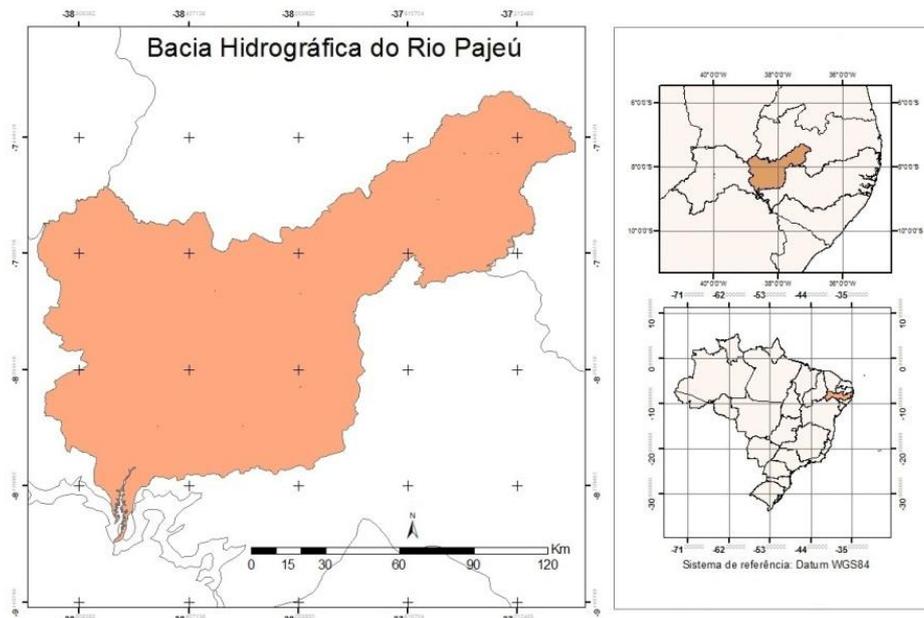


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú/PE

2.1 Materiais

Neste trabalho, foram utilizados a função SIG ArcMap do software ArcGis9.3 (ESRI, 2008), o modelo digital de elevação (MDE) da bacia do rio Pajeú, e os dados altimétricos com 10 metros de resolução espacial. Para a geração do MDE da

bacia do Rio Pajeú (Figura 2) foram utilizadas curvas de nível vetorizadas a partir das imagens do SRTM cartas SB-24-Z-C; SB-24-Z-D; SC-24-X-A; e SC-24-X-B da EMBRAPA (2006) com resolução espacial de 90 x 90 m.

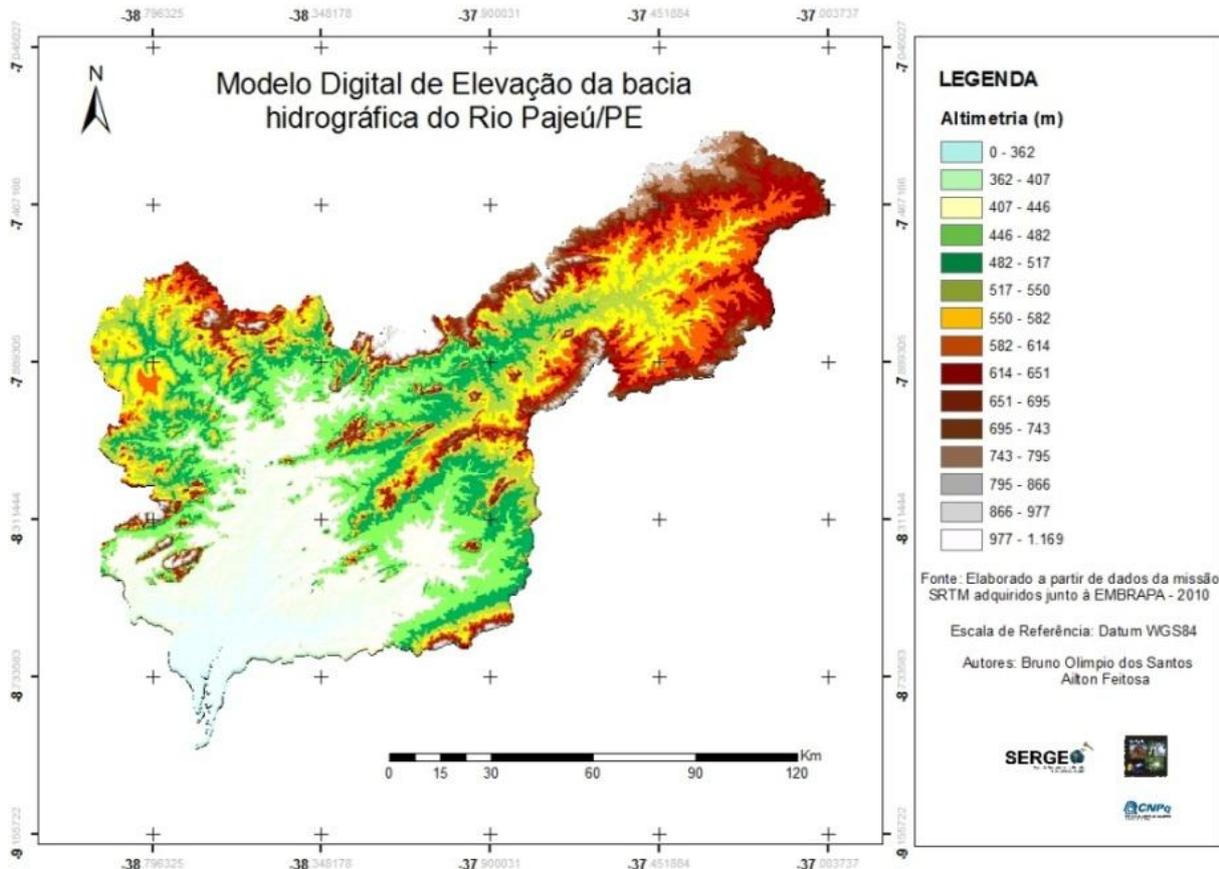


Figura 2. Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica do Rio Pajeú/PE, semiárido de Pernambuco

Dentre os dados gerados foram utilizados também os arquivos vetoriais para geração da rede de drenagem e hidrografia (Figura 3) da área em estudo, ambos na escala 1:50.000, limites da bacia, exutórios e nascentes.

O mapeamento das classes de cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, foi realizado com base nas informações

obtidas pelo emprego do método de extração do Índice de Vegetação Realçado (EVI), com as imagens do Mapeador Temático do satélite Landsat5, datadas do dia 06.10.2010, órbitas 215 e 216 e pontos 65 e 66 cada uma, com resolução espacial de 90 x 90 m adquiridas através do banco de dados público do instituto nacional de pesquisas espaciais (INPE).

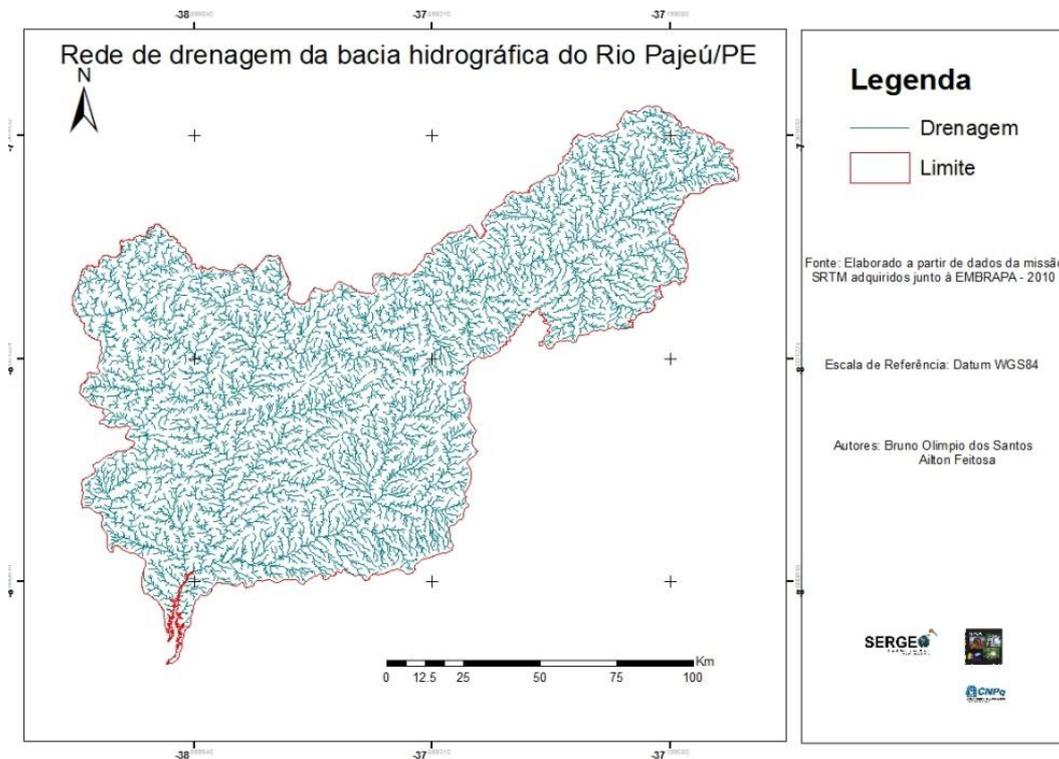


Figura 3. Rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Pajeú

As informações e os dados relativos às classes de solos (Figuras 4) e as unidades físicas geoambientais (geologia e geomorfologia) da área em estudo (Figuras 5 e 6), foram obtidos do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE

(2001) na escala de 1:100.000 compatível com a resolução espacial de 90 x 90 m. As classes de solo identificadas foram comparadas com as do levantamento da EMBRAPA (2006) na mesma escala para o Estado de Pernambuco.

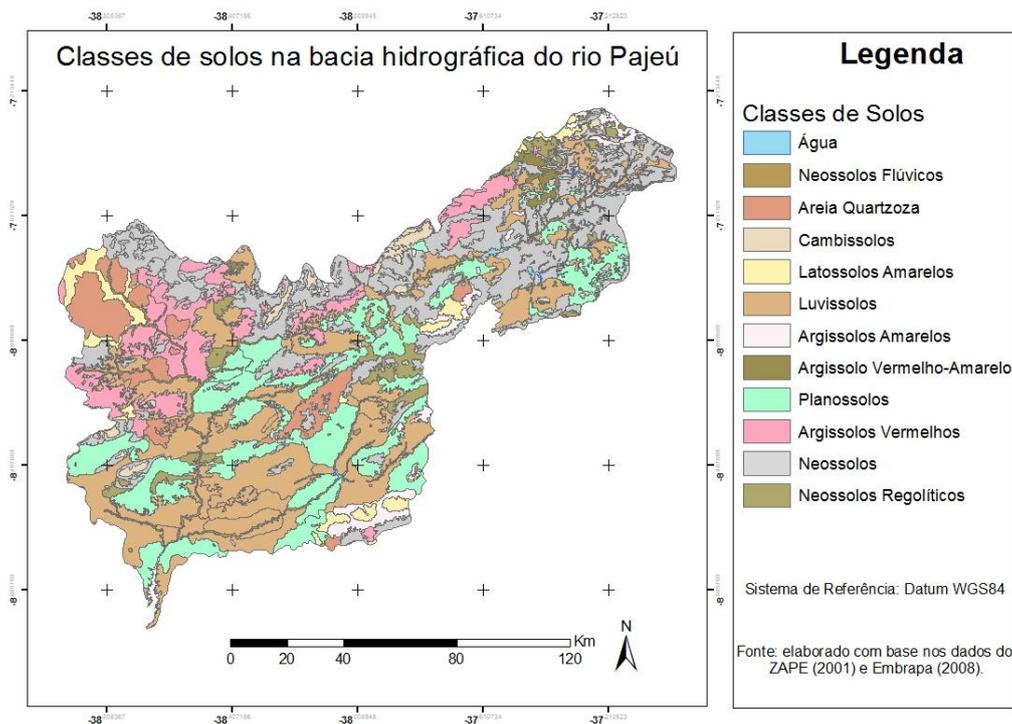


Figura 4. Classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Pajeú, semiárido de Pernambuco

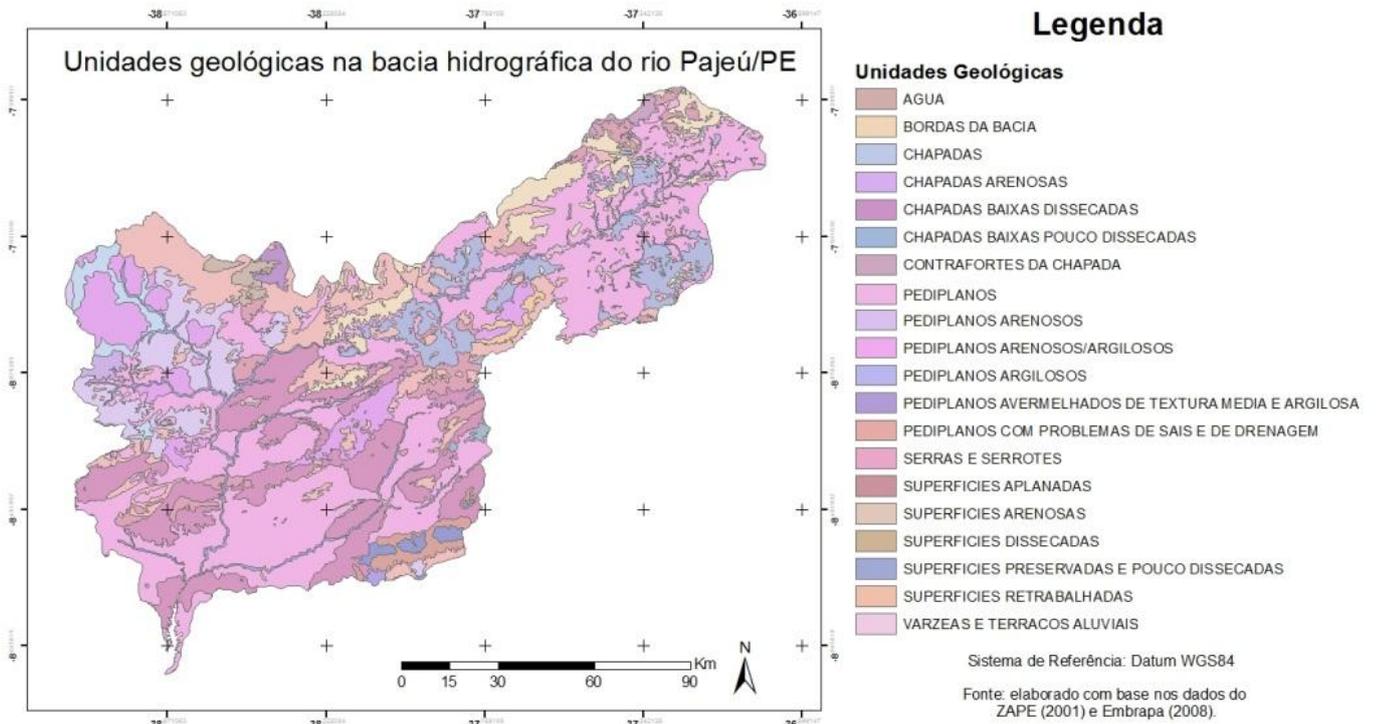


Figura 5. Unidades geológicas da bacia hidrográfica do Rio Pajeú/PE, semiárido de Pernambuco

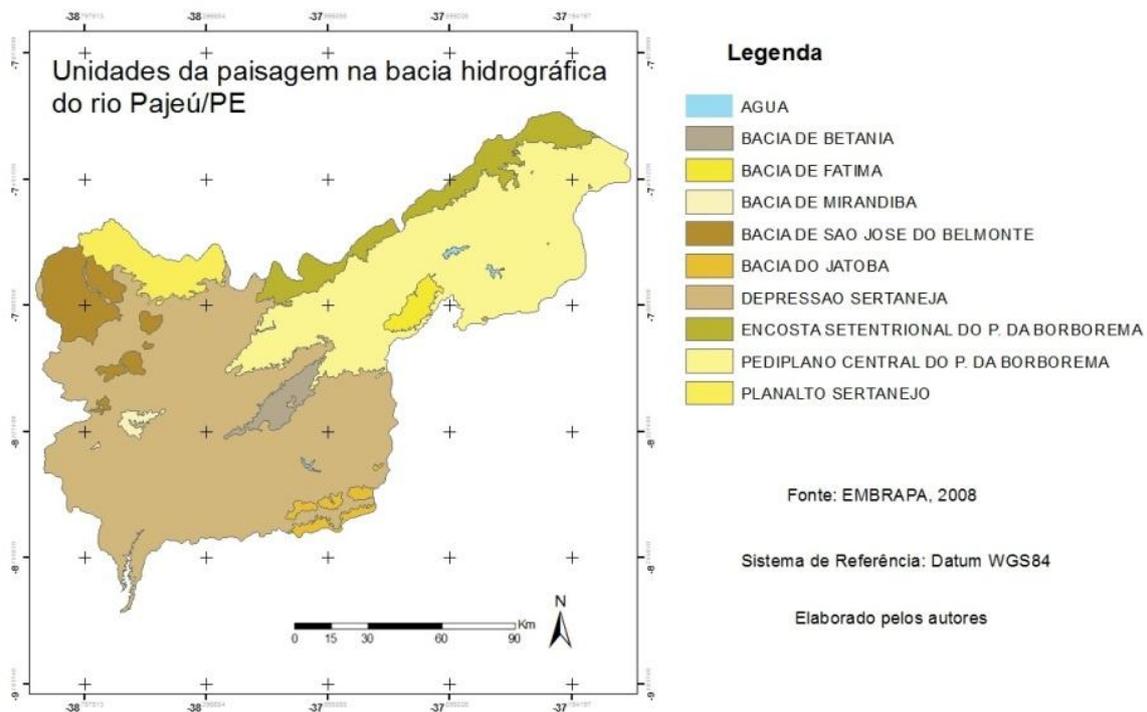


Figura 6. Unidades da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Pajeú/PE

Para o desenvolvimento desse estudo foram usados parâmetros constantes nas literaturas que tratam do assunto e, depois foi feita adaptações através da aplicação de técnicas de geoprocessamento envolvendo

sistemas de informações geográficas (SIGs) e modelagem digital de elevação. Nesse processo da geração do modelo digital de elevação (MDE), foi necessário fazer o mosaico das imagens SRTM através do

software ERDAS Imagine 9.3 (ESRI, 2008) para se adequar as informações à área de delimitação política da bacia. O objetivo desse procedimento foi limitar o tempo do

processamento computacional na geração das informações em *raster* necessárias para o MDE, para a declividade do terreno (Figura 7) e para a rede de drenagem.

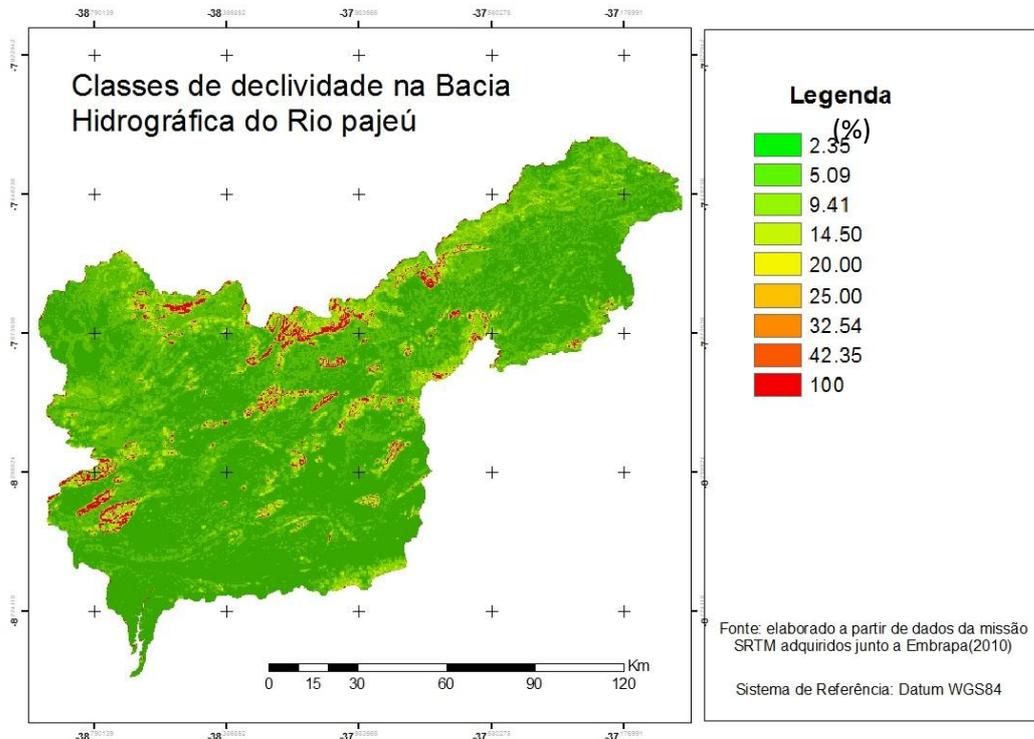


Figura 7. Classes de declividade na bacia hidrográfica do Rio Pajeú/PE, semiárido de Pernambuco

Neste trabalho, foram utilizadas curvas de nível de 10 em 10 metros. A partir dos dados gerados das curvas de nível no formato digital, elas foram inseridas no módulo *ArcMap* do software *ArcGis9.3* (ESRI, 2008) para a interpolação e geração do modelo digital de elevação com células (pixels) de 10 metros de resolução espacial, compatível com a escala de 1:100.000. As classes de declividades foram geradas automaticamente pelo módulo *ArcMap* do mesmo software utilizando-se a função *Slope* da ferramenta 3D Analyst.

Depois do processamento anterior, foi feito o refinamento dos dados, que consistiu

basicamente na eliminação de eventuais *sinks*, as quais podem ser relatadas no arquivo de *sinks* gerado durante a interpolação das curvas de nível e são indesejáveis no estudo do escoamento superficial.

Para a classificação dos diferentes tipos de cobertura do solo, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat-5 TM, datadas de 06.10.2010, referentes ao período seco na área de estudo. O primeiro passo foi o registro das imagens para processamento digital e, posteriormente, com a função *modelmaker* da ferramenta *Modeler* do software ERDAS 9.3 a geração dos dados de *radiância* e *reflectância*, a fim de que se pudesse realizar

a aplicação do índice de vegetação (EVI) e se obtivesse a geração das imagens com os valores desse índice para cada pixel, compatível com a escala de 1:100.000. Esses dados foram necessários no processo de classificação dos tipos de cobertura do solo. As imagens *EVI* foram convertidas para o formato geo-tiff para tratamento no software ArcGIS 9.3.

Após a classificação automática realizada pelo sistema, confrontando o resultado com a imagem bruta, foi constatada a necessidade de se re-classificar algumas áreas. A classificação final ficou da seguinte

forma: optou-se pelos seguintes tipos: *água, vegetação rala, vegetação esparsa, vegetação densa, solo exposto e áreas de cultivos.*

O levantamento da rede de drenagem foi efetuado através da interpretação da imagem de satélite, considerando todos os canais de drenagens existentes, a fim de hierarquizá-los com o emprego da metodologia sugerida por Horton (1945) e Strahler (1964). A partir da hierarquização dos canais de drenagens, foram calculados os parâmetros morfométricos para a bacia do Rio Pajeú, levando-se em consideração os dados do modelo digital de elevação (*MDE*).

Tabela 1. Parâmetros morfométricos relativos à drenagem e ao relevo na determinação das características físicas e classificação ponderada na bacia do Rio Pajeú, no semi-árido de Pernambuco.

Características Físicas	Classificação Ponderada	Parâmetros Empregados
Área de drenagem (Km ²)	Tamanho	ArgGis 9.2
Perímetro (Km)	Traçado	ArgGis 9.2
Comprimento do canal principal (Km)	Tamanho	$L_c = \Sigma(l_{nu})$ (Horton, 1945)
Comprimento total da rede de drenagem (Km)	Tamanho	$L_r = \Sigma(l_{nu, nu+1})$ (Horton, 1945)
Ordem do canal principal	Ordem da Bacia	Método de Strahler (1952)
Declividade média (%)	Rampa	$D_m = (I_p - D_{min}) \cdot 100$ (Strahler, 1958)
Densidade de drenagem (Km/Km ²)	Tipo de Drenagem	$D_d = L_r / A$ (Horton, 1945)
Densidade de rios (Dr)	Capacidade de gerar novos cursos	$D_r = N / A$ (Christofoletti, 1980)
Fator forma (F)	Áreas sujeitas a enchentes	$F = A / L^2$

continuação

Coeficiente de compacidade (Kc)	Forma geométrica	$Kc = \{(0,282.P)/\sqrt{A}\}$
Índice de circularidade (IC)	Forma geométrica e tipo de escoamento	$Ic = \{(12,57.A)/P^2\}$
Relação de bifurcação (Rb)	Tipo de dissecação e forma de canal	$R_b = (N_u/N_{u+1})$ (Horton, 1945)
Índice de rugosidade (Ir)	Tipo	$I_r = D_d/H_m$ (Strahler, 1958)
Índice de sinuosidade (Km)	tipo	$I_s = L/dv$ (Schumm (1956)
Coeficiente de Massividade (Cm)	Baixo/Médio/Alto	$C_m = H_m/A$
Coeficiente de manutenção (Cmt)	Tipo de canal	$C_{mt} = \{(1/D_d).1000\}$ (Schumm, 1956)

Os parâmetros morfométricos calculados foram relativos à drenagem da bacia: comprimento da rede de drenagem (Km), área da bacia (Km²), perímetro da bacia (Km), número de segmentos de rios (N), densidade de drenagem (km/km²), densidade de rios (nº/km²), fator forma (F), bifurcação entre canais (nº/km²), extensão de percurso superficial (m) e coeficiente de manutenção (Cm); e relativos ao relevo da bacia: menor altitude (m), maior altitude (m), declividade (%), índice de sinuosidade (m) e coeficiente de rugosidade (R).

As informações obtidas foram cruzadas, relacionando-seas classes de cobertura do solo e a declividade, com os dados morfométricos da bacia. Os dados gerados permitiram identificar e classificar as áreas onde há uma forte relação entre a susceptibilidade natural à erosão e as classes

de cobertura do solo.

3. Resultados e Discursões

A bacia hidrográfica do Rio Pajeú foi considerada ser de 7ª ordem, após a análise do mapa de drenagem pelo critério de Strahler. Sua ramificação abrange uma área de 16.335,69 km² e perímetro de 1.041,74 km. O comprimento do canal principal é de 343,21km com uma rede de drenagem total de 12.303,41 km e um grau dedissecaçãobaixo com 0,611canal/1m², ou seja, menos de 1 canal/km².

A análise feita entre a relação da bifurcação com o comprimento médio dos canais (L_m), a partir das suas diferentes ordens (Tabela 2), demonstraram que há uma forte presença de canais a cada 1,9 Km de extensão ao longo de cada ordem de canal de ordem superior. Por extensão, foi possível obter

partir desse resultado, o grau de dissecação na forte, obtendo-se um valor de 87,9 %.
 área drenada pela bacia, que foi considerado

Tabela 2. Classificação da relação entre a bifurcação e o comprimento médio dos canais na bacia do Rio Pajeú/PE

Ordens	N_u	N_{u+1}	R_b	R_{lm}	R_b/R_{lm}	Classificação
1 e 2	5.047	2.323	2,172	0,899	2,418	muito forte
2 e 3	2.323	1.292	1,797	1,076	1,671	Forte
3 e 4	1.292	683	1,891	1,198	1,579	Forte
4 e 5	683	306	2,232	1,060	2,107	muito forte
5 e 6	306	245	1,248	0,898	1,391	Forte
6 e 7	245	87	2,816	1,210	2,328	muito forte

A partir da forte relação entre os canais de drenagem, foi possível compreender a baixa densidade de drenagem, cujo valor foi de 0,753 km/km². Esse resultado vem a confirma a forte dissecação, indicando que a bacia possui uma baixa capacidade de drenagem, principalmente quando se

observou os resultados por ordem de canais, ou no seu resultado global (Tabela 3). Percebe-se também, que conforme a ordem crescente do canal a densidade de drenagem apresenta uma redução proporcional, que no seu todo, caracteriza a área como sendo proporcionalmente mal drenada.

Tabela 3. Classificação da densidade de drenagem na bacia hidrográfica do Rio Pajeú/PE

Canais	Comprimento _(Km)	$Dd_{(canais/Km^2)}$	Classificação
1 ^a	6.151,85	0,377	baixa
2 ^a	3.150,74	0,193	baixa
3 ^a	1.628,22	0,100	baixa
4 ^a	718,42	0,044	baixa
5 ^a	303,79	0,019	baixa
6 ^a	270,88	0,017	baixa
7 ^a	79,51	0,005	baixa
Total	12.303,41	0,753	baixa

A partir da densidade de drenagem, pode-se dizer que a bacia do Rio Pajeú possui um baixo desenvolvimento do sistema de

drenagem. Esse fato, pode estar relacionado às características naturais do clima na região do semi-árido, com baixos índices de

pluviosidade ao longo do ano e chuvas concentradas num curto período, bem como, a sua situação geomorfológica dominada por áreas de altitudes modestas e pouco acidentadas e ao pequeno comprimento da maioria dos canais. Segundo Antoneli e Thomaz (2007), este índice fornece uma boa indicação da eficiência da drenagem de uma bacia, independente dos canais serem perenes, intermitentes ou temporários.

A densidade de rios é outro índice que se pode levar em consideração na análise física de uma bacia, principalmente para se conhecer a capacidade da bacia na geração de

um curso perene. O resultado obtido na bacia da área de estudo foi de 0,611 canais/km², ou seja, baixo, com menos de 1 canal por km². Esse resultado está diretamente relacionado ao número de canais que existem dentro da bacia (Tabela 4), demonstrando que a área é muito dissecada e possui uma grande capacidade na geração de novos cursos d'água. Segundo Christofolletti (1969), valores menores que 7,0 canais/km², correspondem a áreas cuja densidade hidrográfica é baixa, correspondendo, por extensão a um tipo de relevo que já muito trabalhado do ponto de vista morfológico.

Tabela 4. Classificação da densidade de rios na bacia do Rio Pajeú/PE

Ordem	N	A	<i>Dr</i>	Classificação
1 ^a	5.047	16.335,69	0,309	baixa
2 ^a	2.323	16.335,69	0,142	baixa
3 ^a	1.292	16.335,69	0,079	baixa
4 ^a	683	16.335,69	0,042	baixa
5 ^a	306	16.335,69	0,019	baixa
6 ^a	245	16.335,69	0,015	baixa
7 ^a	87	16.335,69	0,005	baixa
Total	9.983	16.335,69	0,611	baixa

Já o Coeficiente de Manutenção na bacia foi de 1.327,7 m²/m, indicando que a bacia do Rio Pajeú tem uma área muito grande para manutenção de seus canais, embora, sendo este valor dentro de uma média, principalmente se comparado com todas as ordens de canais analisados. Este coeficiente segundo Cristofolletti (1969) é um dos mais importantes para a caracterização do

sistema de drenagem de uma bacia, onde o valor obtido representa a área mínima para um canal de primeira ordem, o que posteriormente dá origem às demais ordens de canais.

Na bacia do Pajeú, o fator de forma é de 0,139 e o índice de circularidade de 0,189, indicando que a bacia tem uma forma muito alongada, favorecendo os processos de

escoamento rápido e inundação (com cheias rápidas), pois há maiores possibilidades das águas das chuvas se concentra em maior volume no canal principal.

O índice de declividade médio foi de 3,41%, valor considerado baixo, indicando que a bacia do Rio Pajeú possui uma área de relevo suavizado pela topografia, principalmente em relação a sua nascente e foz. Esse resultado vem a corroborar com o valor obtido para a extensão do percurso superficial do escoamento para a bacia, que foi de 108,6 m. Valor este considerado alto, uma vez que a bacia foi considerada bem drenada, porém satisfatório, quando se leva em consideração a baixa densidade da drenagem observada para a bacia e a declividade média. Segundo Cunha e Guerra (1995), a maior parte dessas observações comprova a influência do escoamento superficial que está relacionada à cobertura vegetal. Isso, então, coloca um peso muito grande na cobertura vegetal, como fator controlador do escoamento superficial.

Outro parâmetro analisado para a bacia do Rio Pajeú, foi o índice de sinuosidade, o qual mostra a influência do escoamento na carga de sedimentos, principalmente em função da litológica, estrutura geológica e declividade dos canais. O valor encontrado foi 1,58Km, indicando um índice de sinuosidade alto. Segundo Riccominiet *al* (2000), valor maior que 1,5 indica a presença de um alto padrão de sinuosidade; e valor menor que 1,5 baixo

padrão. Por extensão, pode-se inferir, segundo Cunha & Guerra (1996), que as diferentes sinuosidades dos canais são determinadas muito mais pelo tipo de carga detrítica do que pelo escoamento e descarga fluvial. Assim, os canais meândricos relacionam-se aos elevados teores de silte e argila, e os canais anastomosados a uma carga mais arenosa.

O Índice de sinuosidade próximo ao valor **1** indica que os canais tendem a serem retilíneos, já os valores superiores a **2,0**, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Dessa forma, os canais de drenagem da bacia do rio Pajeú podem variar muito, desde retilíneos, até tortuosos favorecendo de modos diferenciados o transporte de sedimentos.

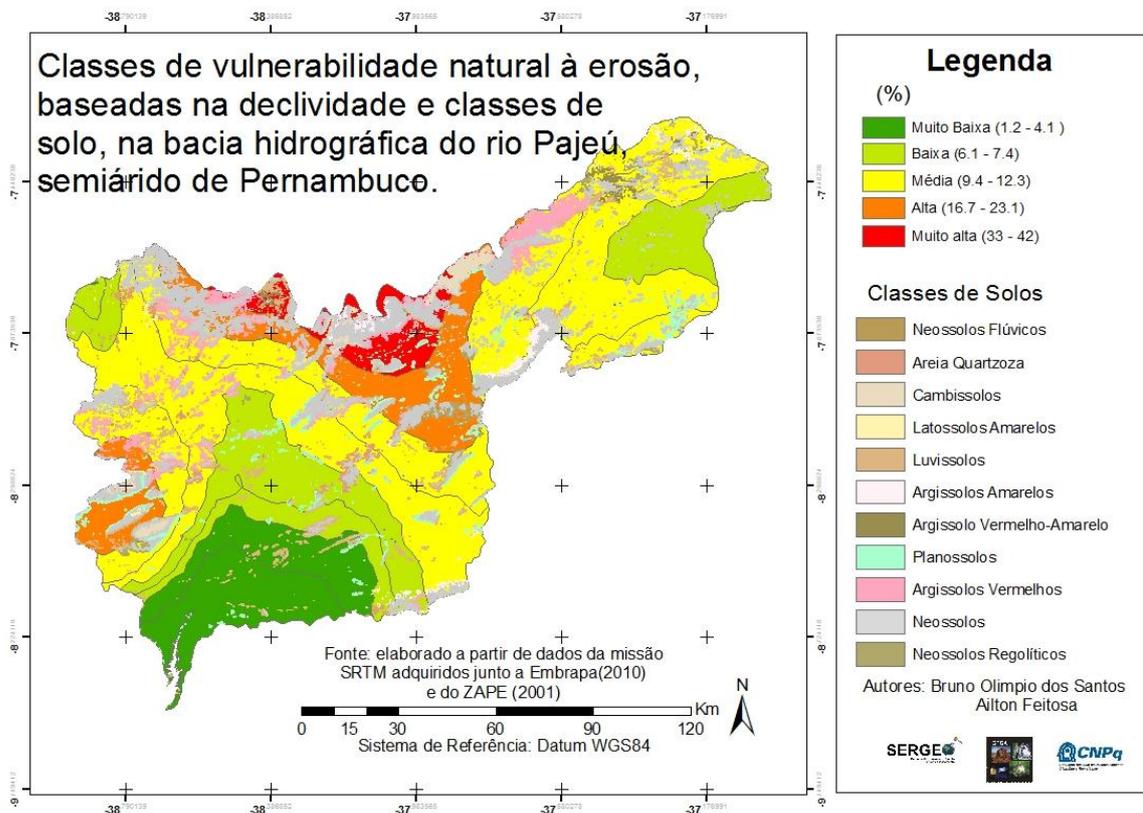
Quando comparado o resultado do Índice de sinuosidade com a forte dissecação do relevo é possível compreender o padrão da rugosidade da área, que no caso da área em estudo, foi considerado baixo cujo valor foi de 1,85, indicando uma baixa concentração de formas côncavas em função do relevo muito dissecado e um índice de declividade muito baixo.

Sabendo que os solos do semiárido tendem a ser rasos, uma maior ou menor vulnerabilidade das áreas pode ser mensurada em função das variações topográficas do terreno. As áreas mais regulares topograficamente como a depressão sertaneja tendem a apresentar um baixo potencial erosivo mesmo com solos rasos. Em

contrapartida, uma mesma classe de solo encontrada em áreas de declividade acentuada como a Encosta Setentrional do Planalto da Borborema e o Planalto Sertanejo tende a apresentar um maior potencial erosivo, portanto está em maior vulnerabilidade ambiental. Nesse sentido, na área de estudo que está dentro da depressão sertaneja pode-se constatar pelos resultados obtidos com o

cruzamento dos dados que na porção noroeste da bacia os solos apresentam-se com um grau de fragilidade muito alta em função da declividade, enquanto que na porção centro-sul da bacia não se verificou tal situação, encontrando-se a mesma com uma vulnerabilidade ambiental muito baixa (Figura 8).

Figura 8. Classes de Vulnerabilidade natural na relação solo-declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú/PE



Assim, como a declividade, a cobertura vegetal (Figura 9) é um fator complementar na análise da vulnerabilidade natural de uma área a se considerar, principalmente quando se trata de um recurso natural tão importante como os solos. De forma rápida e inter-relacionada como a paisagem, a cobertura vegetal pode funcionar

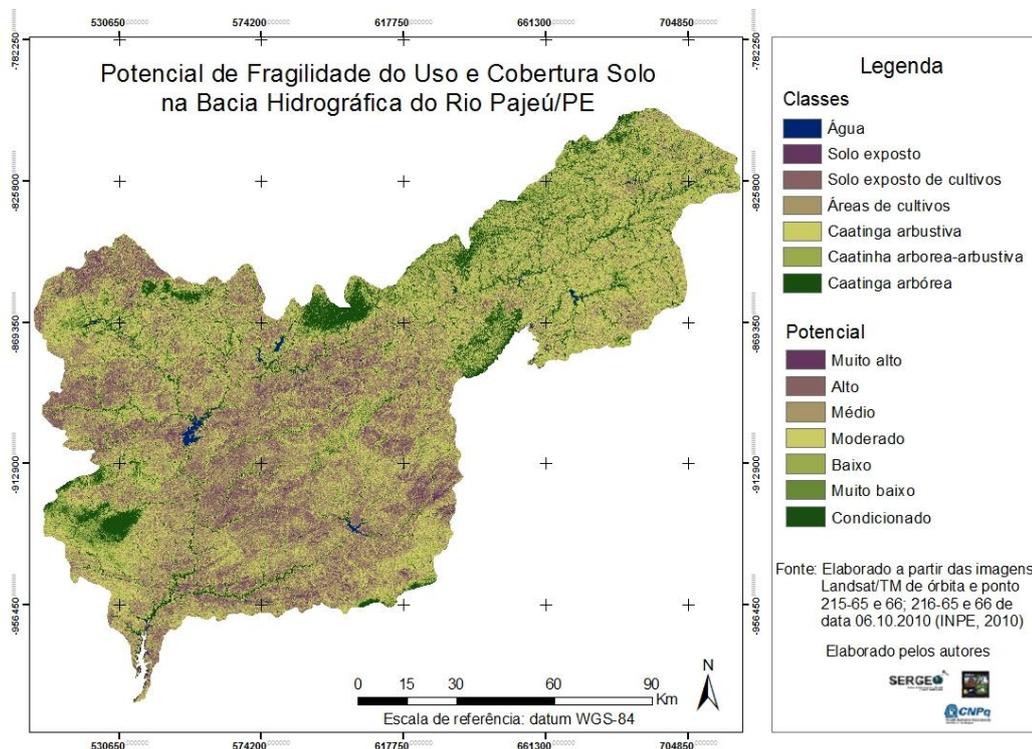
como um elemento de proteção natural dos solos, por suavizar o impacto das precipitações sobre os solos, e consequentemente diminui o potencial erosivo.

Na área de estudo, a vegetação encontra-se mais preservada nas áreas de altitudes mais elevadas em relação ao vale e

calha do rio principal, onde a declividade tem grande influência sobre o potencial erosivo. Esse problema é reduzido justamente pela maior cobertura vegetal, cujo crescimento é condicionado pela variabilidade das condições locais e dos fatores climáticos em decorrência

da altitude. Por outro lado, nas áreas de menor declividade a cobertura vegetal encontra-se praticamente inexistente, principalmente por conta do intenso uso da terra nos período das chuvas.

Figura 9. Potencial de fragilidade em função do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú/PE



4. Conclusão

A partir da análise morfométrica da bacia do Rio Pajeú, foi possível identificar e classificar as áreas mais susceptíveis à erosão dos solos, principalmente localizadas na porção Norte e Centro-Oeste da bacia. Os resultados revelam a importância das técnicas adotadas. Além disso, utilizando os dados de radar do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e as imagens do Landsat-5 TM, foi possível identificar as

áreas de maior e menor vulnerabilidade natural à erosão dos solos, principalmente em função da combinação dos fatores altitude, declividade e tipo de cobertura, preponderantes no processo de erosão.

A bacia do Rio Pajeú foi classificada como sendo de sétima ordem. Quando combinados o fator forma, cujo valor foi 0,139 e o índice de circularidade com 0,189, percebe-se que a bacia tem uma forma muito alongada. Por fim, as análises lineares

realizadas com os dados morfométricos, permitiram que através das características físicas da bacia, classificar sua situação natural, principalmente diante das extensões e quantidades de canais. A análise hipsométrica, permitiu que do ponto de vista geomorfológico pudesse revelar informações objetivas e importantes ligados à distribuição dos gradientes altimétricos da bacia e o seu grau de dissecação, que de forma direta influenciam no grau de vulnerabilidade do solo à erosão.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro a pesquisa e bolsa de estudo de PIBIC através dos projetos/processos: 558074/2009-0 e 145342/2009-3.

6. Referências

Antoneli, V.; Thomaz, E.L. (jun. 2007). Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. *Rev. Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v.8, n.21, p.46-58.

Cardoso, C.A. et al. (2006). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. *Árvore*, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248.

Carvalho, T.M. (2007). Métodos de sensoriamento remoto aplicados a geomorfologia. *Revista Geográfica Acadêmica*. 1:44-54.

Carvalho, W. A.; França, G. V. & Curi, P. R. (1990). Aplicação de Análise Multivariada na Discriminação de Unidades de Solo Mediante Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas, em Botucatu-SP. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas-SP, Vol, 14, p. 195-203.

Castro, J. F. M. (1993). Aplicação de um Sistema de Informação Geográfica na Temática da Morfodinâmica: o exemplo do estudo da Bacia do Rio Mogi-Cubatão/SP. Dissertação de Mestrado, FFLCH / USP.

Christofollet, A. (1980). *Geomorfologia*. São Paulo: Editora Edgard Blücher / EDUSP. 150 p.

Christofolletti, A. (1978). A morfologia de bacias de drenagem. *Notícias Geomorfológicas*, Campinas, v.18, n.36, p.130-2.

Christofolletti, A. (1969). Análise morfométrica de bacias hidrográficas. *Rev. Geomorfologia*, Campinas, v.18, n.9, p.35-64.

Cunha, S. B. (2007). *Geomorfologia Fluvial*. In: Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 211 – 252.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro. 306p.

ESRI.Geoprocessing in ArcGIS.Redlands: Environmental Systems Research Institute, (2008).

Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basin:Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geol. SocAmericaBulletin, v.3, n.56.

Lana, C.L.; Alves, J.M. de P.; Castro, P de T.A. (2001). Análise morfométrica da bacia do rio Tanque, MG-Brasil. Rev. Escola de Minas, Ouro Preto, v.54,n.2.

Martins, F.B. et al. (2005). Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria (RS). Estudo de caso. Cerne, Lavras, v.11,n.3, p.315-322, jul./set.

Riccomini, C.; Giannini, P. C. F. & Mancini,

F. (2000). Decifrando a Terra/ organizadores: Wilson Teixeira (et al). São Paulo: Oficina de Textos. 568 p

Strahler A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology.Trans Am Geophys Union n.38, p.913–920.

Tonello, K.C. (2005). Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

Valeriano, M.M.; Abdon, M.M. (2007). Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, v.59, n.1, p.63-71.

ZAPE – Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco, (2001).