

ANÁLISE MORFOMÉTRICA E AMBIENTAL DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO SÃO JOSÉ – CRATO/CE

Kassius Vinissius de Moraes Costa¹; Artenio Cabral Barreto¹; Mário Renan de Oliveira Romão²; Thayslan Renato Anchieta de Carvalho³; Wendell de Melo Massaraduba³; Rafael Bezerra Tavares Vasques Landim⁴; Sávio de Brito Fontenele⁵; Luiz Alberto Ribeiro Mendonça⁶

Resumo – A representação temática dos agentes erosivos e a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica permite o desenvolvimento de práticas conservacionistas para cada unidade de área da bacia. Nesse contexto, este estudo determinou os parâmetros morfométricos e os tipos de uso e ocupação do solo da Microbacia Hidrográfica do São José – MHSJ, utilizando dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e de imagens multitemporais pré-processadas do satélite Landsat 5. A baixa capacidade de drenagem associada ao elevado coeficiente de compactidade, ao baixo fator de forma, a baixa declividade média e a baixa razão de bifurcação indicam que a bacia é pouco susceptível a enchentes, em condições normais de precipitação. Atualmente, a MHSJ apresenta uso e ocupação do solo adequado a classificação do coeficiente de rugosidade, pois em mais de 80% da área predomina vegetação rasteira e em algumas localidades é utilizada como pastagem, e florestas dos tipos caatinga, mata úmida e cerrado. O uso e ocupação do solo mostrou-se diversificado, destacando-se: a caatinga, com parte degradada e substituída por vegetação rasteira, o solo exposto e as áreas urbanas e agrícolas, na zona de pediplano; a floresta úmida pouco modificada na zona de encosta; e o cerrado conservado na zona de chapada.

Palavras-Chave – Uso e ocupação do solo, Conservação de água e solo, SIG.

MORPHOMETRIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF SÃO JOSÉ WATERSHED

Abstract – The thematic representation of erosive agents and morphometric characterization of the basin allows the development of conservation practices for each unit area of the basin. In this context, this study determined the morphometric parameters and types of use and occupation of the Sao José Watershed - MHSJ, using data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) and multitemporal images preprocessed Landsat 5. The low drainage capacity combined with a high coefficient of compactness, low form factor, low average slope and the low bifurcation ratio indicates that the watershed is unlikely to flooding in normal precipitation. Currently, MHSJ presents use and occupation of land suitable for classification of roughness coefficient, since over 80% of the predominant creeping vegetation and in some localities is used as pasture, and forest types of savanna, humid forest and savannah. The use and land cover showed diverse, including: the caatinga, with some degraded and replaced by creeping vegetation, the soil exposed and urban and agricultural areas in the zone pediplano; slightly modified the rainforest zone of slopes, and the savannah zone maintained at plateau.

Keywords – Use and land cover, Soil and water conservation, GIS.

¹ Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. kassius.morais@gmail.com, art_barreto@hotmail.com

² Engenheiro Civil, Universidade Federal do Ceará – Campus Cariri. mariorenanbr@hotmail.com

³ Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Ceará – Campus Cariri. t_sren@hotmail.com, wendell.massaraduba@hotmail.com

⁴ Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. rafaelbtvl@hotmail.com

⁵ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará. savio.fontenele@hotmail.com

⁶ Professor Doutor da Universidade Federal do Ceará – Campus Cariri. larm@ufc.br

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas hidrosedimentológicas revelam que as maiores perdas de solo e água, no contexto agrícola, são associadas a sistemas de manejo convencionais, caracterizados pela aplicação intensiva de mecanização e plantio em solo descoberto (Pugliesi et al., 2011). A dinâmica da erosão é afetada diretamente por vários agentes erosivos ativos (água, temperatura e a ação humana) e passivos (solo, topografia, gravidade e cobertura vegetal) do meio físico (Carvalho, 2008).

A representação temática dos agentes erosivos ativos e passivos e a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica permite o desenvolvimento de práticas conservacionistas para cada unidade de área da bacia. O sensoriamento remoto atrelado ao geoprocessamento permite a aquisição de informações e a obtenção dos fatores físicos de uma bacia hidrográfica (topografia, uso e ocupação do solo e parâmetros morfométricos). O processamento dessas informações representa um importante instrumento para a compreensão dos impactos sobre o meio ambiente.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo determinar os parâmetros morfométricos e delimitar os tipos de uso e ocupação da superfície do solo da Microbacia Hidrográfica do São José – MHSJ, região metropolitana do Cariri cearense, utilizando dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) e de imagens multitemporais pré-processadas do satélite Landsat 5.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido na MHSJ, sub-bacia do rio Salgado, localizada na faixa de conurbação entre os municípios de Juazeiro do Norte e Crato, sul do Ceará (Figura 1).

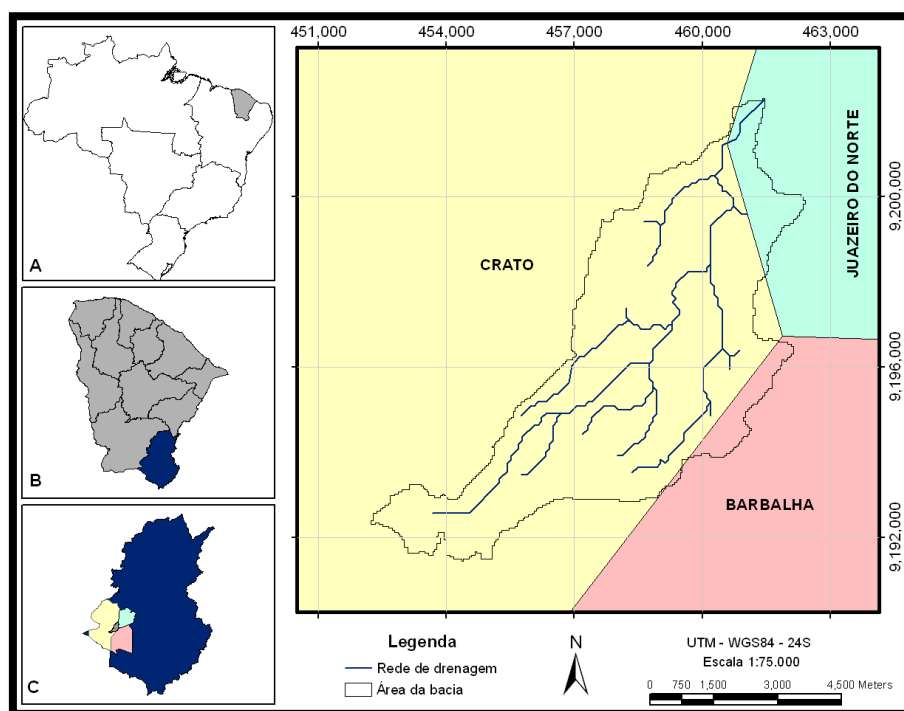


Figura 1 – Localização da microbacia hidrográfica do São José. Em “A”, o Estado do Ceará destacado no mapa do Brasil; em “B”, o Ceará dividido em sub-bacias, destacando-se a bacia do rio Salgado, a sudeste, e em “C”, a bacia do rio Salgado com destaque para a MHSJ inserida no território dos municípios de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha.

2.2. Determinação das características morfométricas da MHSJ

Os dados de elevação da MHSJ foram obtidos pela carta SRTM com resolução espacial de 90 metros, que disponibiliza o Modelo Digital de Elevação (MDE) da América do Sul gratuitamente através do site: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/South_America/.

Para a melhoria da qualidade do MDE, os dados originais SRTM foram interpolados para uma resolução espacial de 45 metros. A utilização desse MDE por meio do SIG possibilitou o levantamento de variáveis que caracterizaram a MHSJ, conforme as categorias: análise linear da rede de drenagem (Tabela 1), areal (Tabela 2) e hipsométrica (Tabela 3).

2.3. Definição da classificação de uso e ocupação do solo da MHSJ

Para a classificação dos usos e ocupação do solo foi utilizada uma imagem do satélite Landsat 5 sensor TM (*Thematic Mapper*), obtida gratuitamente pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>, com quantidade mínima de nuvens e, registro do dia 29 de setembro de 2011. Esta imagem é composta de sete bandas, com resolução espacial de 30 m nas bandas 1 a 5 e 7, e de 120 m na banda 6.

A determinação do uso e ocupação foi realizada em três etapas distintas e subsequentes: na primeira foi feito o pré-processamento da imagem orbital; na segunda, o reconhecimento em campo das feições de cada uso do solo; e na terceira, o mapeamento das classes de uso e ocupação. Antes de se iniciar a classificação das imagens, foram feitos os registros das mesmas através das coordenadas geográficas de pontos conhecidos. Esses registros eliminam distorções geométricas existentes na imagem, causadas no processo de formação da mesma, através do sistema de sensores e por imprecisão dos dados de posicionamento do satélite.

A imagem foi segmentada utilizando-se o software Spring 5.1, adotando-se os parâmetros similaridade e área de respectivamente 15 e 20 m, conforme Quevedo et al. (2009). Essa segmentação divide a imagem em múltiplas regiões (conjunto de pixels de similar propriedade computacional (cor, intensidade e textura)), com o objetivo de simplificá-la para facilitar a análise. Após essa segmentação atribuiu-se o uso real do solo com base na visita de campo. Após esses procedimentos as imagens de satélite foram classificadas usando-se o algoritmo Ioseg, considerando-se um limiar de aceitação de 99% e cinco iterações. Nessa classificação, as regiões segmentadas homogêneas foram agrupadas em classes temáticas.

Tabela 1 – Variáveis da análise linear da rede de drenagem

Variável morfométrica	Símbolo	Descrição	Fórmula	Referência
Comprimento do rio principal	Lcp	Extensão total do maior rio da bacia.	-----	Horton (1945)
Comprimento dos canais	Lct	Soma dos comprimentos dos rios.	-----	Horton (1945)
Número de cursos d'água	Nc	Quantidade de cursos d'água da bacia.	-----	-----
Declividade média do curso d'água principal	SmR	Razão entre a diferença de altitude do início do rio principal e do exutório e o comprimento do canal principal.	$SmR = \frac{Ai - Ae}{Lcp}$	-----
Razão de bifurcação	B	Relação entre o número de canais de determinada ordem e de ordem superior.	$B = \frac{Nu}{Nu + 1}$	Horton (1945)
Confluências	Cf	Número de encontros entre cursos d'água.	-----	-----

Tabela 2 – Variáveis da análise areal da bacia hidrográfica

Variável morfométrica	Símbolo	Descrição	Fórmula	Referência
Área da bacia	A	Extensão territorial da bacia.	-----	-----
Perímetro da bacia	P	Perímetro da bacia.	-----	-----
Declividade mínima	Dmín.	Declividade mínima na bacia.	-----	-----
Declividade máxima	Dmáx.	Declividade máxima na bacia.	-----	-----
Declividade média	Dm	Relação do produto da soma dos comprimentos e distância entre as curvas de nível pela área da bacia.	$Dm = \frac{Lcn \cdot 0,02}{A}$	Wisler; Brater (1964)
Densidade de drenagem	Dd	Relação entre o comprimento total da rede de drenagem e a área da bacia.	$Dd = \frac{Lct}{A}$	Horton (1945)
Fator de forma	Kf	É a relação morfométrica entre a forma da bacia com a de um retângulo.	$Kf = \frac{A}{Lcp^2}$	Horton (1932)
Coefficiente de compacidade	Kc	É a relação morfométrica entre a forma da bacia com a de um círculo.	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Gravelius (1914)

Tabela 3 – Variáveis da análise hipsométrica da bacia hidrográfica.

Variável morfométrica	Símbolo	Descrição	Fórmula	Referência
Cota mínima	Hmin.	Menor altitude, localizada no exutório da bacia.	-----	-----
Cota máxima	Hmáx.	Maior altitude da bacia.	-----	-----
Cota média	Hméd.	Calculado pela curva hipsométrica, onde a é a área entre curvas e h é a altitude media entre duas curvas de nível consecutivas e A é a área da bacia.	$E = \frac{\sum a \cdot h}{A}$	Wisler; Brater (1964)
Amplitude topográfica	ΔH	Diferença de altitudes entre o ponto mais baixo da bacia (exutório) e o ponto de maior altitude.	$\Delta H = Hmáx - Hmin.$	Strahler (1952)
Coefficiente de rugosidade	RN	Produto entre a densidade de drenagem e a declividade média da bacia.	$RN = Dd \times Dm$	Sicco Smith (1978)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características morfométricas da MHSJ

O coeficiente de compacidade de 2,15 e o fator de forma de 0,17 indicam a forma alongada da MHSJ e menor possibilidade de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda sua extensão.

A MHSJ possui grande variação de altitude (Figura 2), mas áreas com cotas menores que a média correspondem a 80,55% da bacia. Essas características, associadas à razão de bifurcação menor que 2, definem a bacia como de relevo colinoso (Castro; Carvalho, 2009). A declividade média da MHSJ (Figura 3) de 7,9% é baixa quando comparada a da bacia vizinha, Saco Lobo, e a do Batateiras, ambas no município de Crato (Lima Neto et al., 2008). A declividade máxima é de 54% na zona de encosta e a mínima é de 0%, na zona de chapada e pediplano. As áreas com declividades menores que a média correspondem a 62,47% da bacia. Essa característica indica que a MHSJ apresenta escoamento superficial lento e tempo de concentração elevado. Nesse caso, os tributários conduzirão água para o rio principal de forma mais lenta, com maior tempo de concentração, contribuindo com maior infiltração e evaporação. Nesse contexto, o conhecimento da declividade é importante no planejamento do uso e ocupação do solo (Tonello et al., 2006).

A declividade média do curso d'água principal de 3,77% indica que o mesmo deve conduzir água com maior velocidade que as bacias circunvizinhas. Mas, como há uma lenta contribuição dos tributários, esse efeito deve ser minimizado.

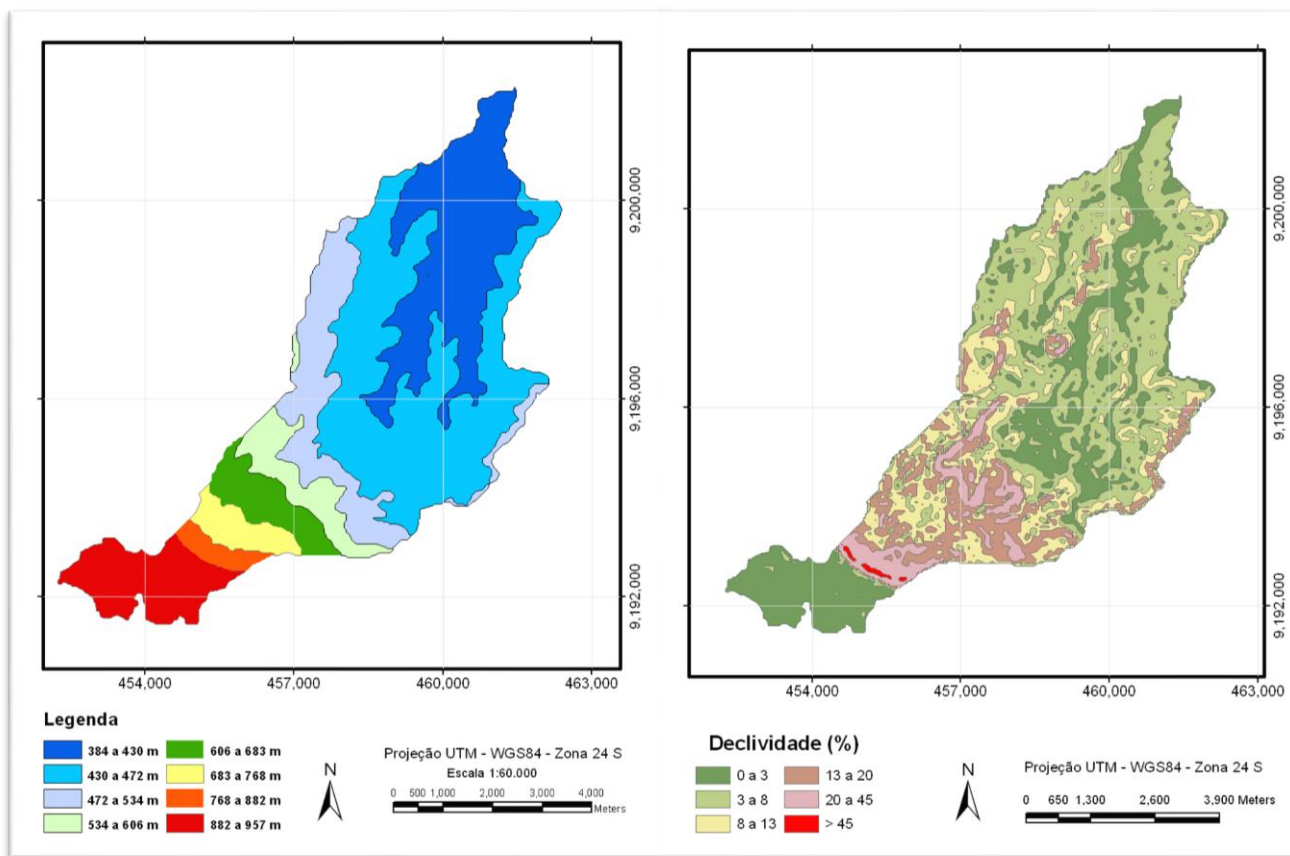


Figura 2 – Faixas de altitude da MHSJ.

Figura 3 – Faixas de declividade da MHSJ.

A densidade de drenagem é um parâmetro importante no entendimento do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, subsidiando o planejamento do manejo hídrico-ambiental da bacia (Cardoso et al, 2006). A MHSJ possui densidade de drenagem de $0,96 \text{ km km}^{-2}$ e é classificada, segundo Villela e Mattos (1975), como de capacidade de drenagem regular, que pode estar associada às suas características geomorfopedológicas, as quais propiciam uma baixa razão deflúvio/infiltração. Isso ocorre devido a MHSJ ser constituída por rochas sedimentares e em grande parte por solos permeáveis de topografia suave. Esse resultado corrobora com achados de Hiruma e Ponçano (1994), na região do alto rio Pardo, entre São Paulo e Minas Gerais, onde observaram uma tendência de redução de drenagem em áreas de rochas sedimentares e, em termos pedológicos, uma tendência de aumento nos solos Argissolos e de redução nos Latossolos.

A razão de bifurcação de 1,72 indica que a rede de drenagem da bacia é pouco ramificada. O coeficiente de rugosidade é importante no planejamento do uso e ocupação do solo, pois indica o quanto uma área é susceptível à erosão. Assim, esse índice pode direcionar o uso potencial da terra, pois quanto maior a rugosidade, dependendo do uso e ocupação adotados, maior será a susceptibilidade à erosão da área (Silva et al., 2010). A MHSJ possui coeficiente de rugosidade de 7,62, classificado, segundo Sicco e Smith (1978), como de categoria C, indicando que a área deverá ser ocupada por florestas ou consorciações de pastagens com florestas.

Segundo classificação de Ramalho Filho e Beek (1995), cerca de 26,91% da área da MHSJ apresenta relevo plano (com declividades entre 0 e 3%); 38,20%, relevo suavemente ondulado (3 e 8%); 17,49%, relevo moderadamente ondulado (8 e 13%); 11,52%, relevo ondulado (13 e 20%); 5,61% relevo fortemente ondulado (20 e 45%) e apenas 0,25% relevo montanhoso (45 e 54%).

3.2. Classificação do uso e ocupação do solo da MHSJ

A MHSJ apresentou diversidade em tipos de vegetação, destacando-se a caatinga, a floresta úmida e o cerrado. A distinção do tipo de vegetação utilizada no mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizada através de uma abordagem fisionômica, caracterizada em campo (Figura 4).

A classe agricultura é representada pelas culturas de milho, feijão, mandioca e banana aproximadamente 7,88% da área da bacia (Figura 4). As atividades agrícolas praticadas na bacia são desenvolvidas para o abastecimento dos centros urbanos locais e para subsistência de famílias.

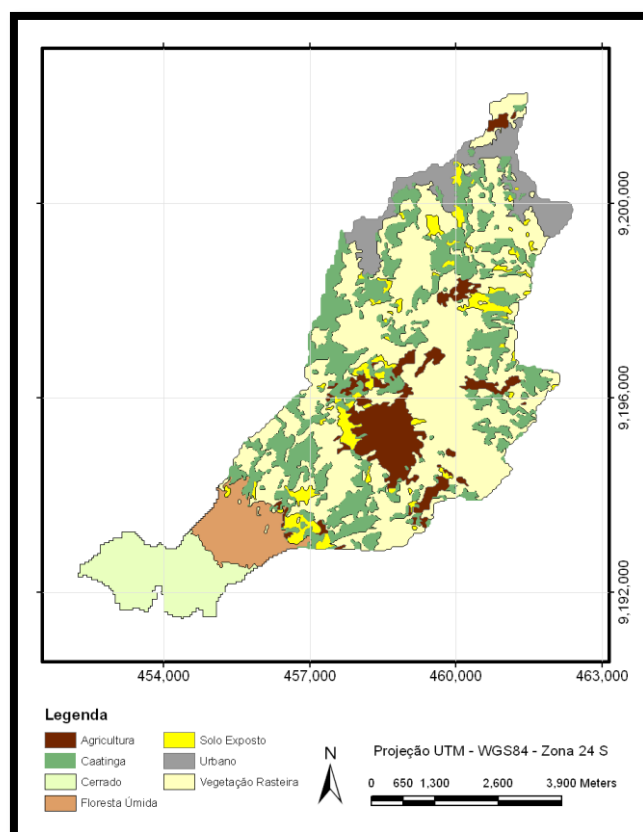


Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo da MHSJ.

A classe caatinga (22,70% da área da bacia) representa área de vegetação com características arbustiva e arbórea. A caatinga arbórea é a unidade de vegetação mais estabilizada que predominou na zona de pediplano da bacia em décadas passadas. Com a antropização da área, essa vegetação vem sendo transformada em caatinga arbustiva (Figura 4).

O cerrado representa 8,97% da área da bacia e é caracterizado por vegetação arbórea conservada com características de florestas e constituído de densa camada de serrapilheira. A serrapilheira desenvolve um importante papel no controle da erosão, pois é composta por uma camada formada pela deposição e acúmulo de folhas e galhos e frutos em diferentes estágios de decomposição que protege a superfície do solo, evitando o selamento e permitindo elevadas taxas de infiltração de água no solo. (Coelho Neto apud Cardoso et al., 2006).

Floresta úmida (5,51% da área da bacia) apresenta a superfície do solo protegida por vegetação arbórea com caules retílineos e espessos, alcançando aproximadamente 30 metros de altura. Esse tipo de vegetação recobre as vertentes superiores dos planaltos sedimentares e também

é conhecida por floresta subperenifólia plúvio-nebular. Encontrada na zona de encosta, onde se verifica elevada precipitação devido a ocorrência de chuvas orográficas.

A classe solo exposto (4,66% da área da bacia) representa áreas cuja superfície do solo é desprotegida de vegetação. Áreas submetidas a exploração (atividades agrícolas, pecuária ou construção de habitações) e áreas de comunidades rurais estabilizadas.

A classe temática Urbano (6,65% da área da bacia) são áreas que representam os perímetros urbanos do município de Juazeiro do Norte (nordeste da bacia) e de Crato à Noroeste, (Figura 4).

A Vegetação rasteira (43,63% da área da bacia) representa áreas cobertas por uma camada vegetal inferior a 0,5 m de altura (plantas herbáceas e gramíneas), que surgiram após o desmatamento da vegetação nativa para o desenvolvimento de atividade agropecuária ou extrativista. A vegetação rasteira contribui para o controle da erosão, pois a grande densidade das folhas tendem a maximizar a superfície da planta exposta à chuva, protegendo o solo contra o impacto das gotas das chuvas. Além do mais, as raízes dessa vegetação, que são dos tipos fasciculadas ou ramificadas, dificultam o arraste de partículas do solo pela enxurrada.

4. CONCLUSÃO

A baixa capacidade de drenagem associada ao elevado coeficiente de compacidade, ao baixo fator de forma, a baixa declividade média e a baixa razão de bifurcação indicam que a MHSJ é pouco susceptível a enchentes, em condições normais de precipitação.

Atualmente, a MHSJ apresenta uso e ocupação do solo adequado a classificação do coeficiente de rugosidade, pois em mais de 80% da área predomina vegetação rasteira e em algumas localidades é utilizada como pastagem, e florestas dos tipos caatinga, mata úmida e cerrado que eventualmente são utilizadas na prática do extrativismo.

O uso e ocupação dos solos na MHSJ, delimitado e especializado na área através da classificação de imagens pré-processadas do satélite Landsat 5 sensor TM, mostrou-se diversificado, destacando-se: a caatinga, com parte degradada e substituída por sucessão de vegetação rasteira, o solo exposto e as áreas urbanas e agrícolas, na zona de pediplano; a floresta úmida pouco modificada na zona de encosta; e o cerrado conservado na zona de chapada. Na zona de pediplano, apesar da diversidade de uso e ocupação dos solos, não foram observadas adoções de práticas ou atividades conservacionistas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro (processo n° 483270/2010-5 e processo n° 486767/2012-4) e a UFC (Universidade Federal do Ceará – Campus Cariri) pelo apoio à realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfológica da Bacia Hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Rev. Árvore, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2 Ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2008.

- CASTRO, S.B.; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Scientia plena*, v.5, n.2. 2009
- GRAVELIUS, H. Grundriss der gesamten Gewässerkunde, Flusskunde. Goschen'sche Verlagshandlung, Berlin.1914.
- HIRUMA, S.T.; PONÇANO, W.L Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfológicos na área do alto Rio Pardo - SP e MG. *Rev. Instit. Geológico, São Paulo*, v.15, n.1, p.49-57, 1994.
- HORTON, R.E. Drainage-basin characteristics. *Trans. Am. Geophys. Union*, v.13, p. 350-361, 1932.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, v.56, pp. 275-370, 1945.
- LIMA NETO, R. T.; MENDONÇA, L. A. R.; PEREIRA, J. A.; SOUSA, C. A. V.; GONÇALVES, J. Y. B.; FRISCHKORN, H. Análise morfométrica e ambiental da microbacia hidrográfica do rio Granjeiro, Crato/CE. *Rev. Esc. Minas*. v. 61, n. 3, p. 365-369. 2008.
- PUGLIESI, A. C. V.; MARINHO, M. de A.; MARQUES, J. F.; LUCARELLI, J. R. F. Valoração econômica do efeito da erosão em sistemas de manejo do solo empregando o método custo de reposição. *Bragantia*.v.70, n.1, p. 113-121. 2011.
- QUEVEDO, E. R.; STEFANES, M.; PARANHOS FILHO, A. C.; QUEVEDO, J. R.; COPATTI, A. Aplicação da segmentação (SPRING) de imagens para avaliação ambiental multitemporal da bacia do Córrego Ceroula – MS, no período 1985 -2007. *Anais... Simpósio de Sensoriamento Remoto*, 14. 25-30 abr. 2009 Natal – RN. p. 1481-1488.
- RAMALHO FILHO, A., BEEK, K.J., 1995. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, Brazil, pp. 1–65.
- SICCO SMITH, G. SLAR for forest type-classification in a semi-deciduous tropical region. *ITC Journal*, n. 3, p. 385-401, 1978.
- SILVA, F. das G.; MINOTTI, F. T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. *Eng. Sanit. Ambient.* v.15, n.2, p. 141-148. 2010a.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin Geological Society of America*. 63: 1117-1142, 1952.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; ALVARES, C. A.; RIBEIRO, S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. *Revista Árvore*, v.30, n.5, p.849-857, 2006.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. Sao Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.
- WISLER, C.O.; BRATER, E.F. *Hidrologia*. Tradução e publicação de Missão Norte-Americana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A., 1964.