

## Morfometria e uso e ocupação da bacia hidrográfica do Carão, Estado do Ceará, Brasil

Josefa Marciana Barbosa de França<sup>1</sup>  
Rafael Reis Alencar Oliveira<sup>1</sup>  
Walt Disney Paulino<sup>1</sup>  
José Alves Carneiro Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos – COGERH. Rua Adualdo Batista 1550,  
60824-140 Fortaleza, Brasil.  
marciana.barbosa@cogerh.com.br  
rafael.oliveira@cogerh.com.br  
wdisneyp@gmail.com.br  
alves.neto@cogerh.com.br

**ABSTRACT** - The aim of this work was to analyze the morphometry and the type of use and occupancy of the basin Carão reservoir, located in the municipality of Tamboril - Ceará, seeking to understand the natural and anthropogenic processes acting in this environment, favoring thus the development of conservation plans and natural resources management. The relief's morphometric characteristics and the basin's ways to use and occupation were obtained by the software ArcGIS 9.3<sup>®</sup>, from techniques of remote sensing and GIS. The basin is considered small, with estimated area of 309.55 km<sup>2</sup> and 103.16 km perimeter. Among other things, an elongated and narrow shape was verified, with low drainage density and flat terrain and slightly wavy, whose slopes are presented below 20%, configuring thus so little disposition to flooding in the basin. It was observed a relationship of use and occupation targeted by the lower slope of the terrain and hydrographic presence, determining a bigger pressure by human activities in these areas, representing a potential modifier of the water quality of the reservoir Carão. Relationship was observed for use and occupation targeted by the lower slope of the terrain and the presence basin, causing increased pressure in these areas by human activities, representing a potential modifier of the water quality of the Carão reservoir.

**Palavras-chave:** Morphometric analysis. Remote sensing. Hydrology.

## INTRODUÇÃO

Na década de 1980, o desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica – SIG e implementação do sensoriamento remoto possibilitou a realização de pesquisas relacionadas à análise do relevo em bacias hidrográficas por meio de ferramentas computacionais mais simples, contribuindo para a caracterização e identificação da dinâmica destes importantes ecossistemas. De acordo com Dinesh (2008), as características morfométricas indicam as relações entre a rede de drenagem e a respectiva área drenada, permitindo relacionar a manifestação dos processos de formação e degradação da superfície com a fisiografia e dinâmica fluvial, motivo pelo qual a análise morfométrica é muito utilizada em programas de monitoramento e avaliação de impacto ambiental.

Este trabalho apresenta um estudo dos parâmetros morfométricos que caracterizam o relevo e a rede de drenagem da área que se situa o reservatório Carão, município de Tamboril/Ceará, bem como avalia o uso e ocupação da região como agente modificador na dinâmica desta paisagem. A área foi escolhida por representar bem a realidade semiárida cearense e por apresentar interferências antrópicas no seu entorno, bem como ao longo de sua bacia de drenagem.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região em estudo compreende a bacia hidrográfica do açude Carão (Figura 1), com 301,16 km<sup>2</sup> de área de drenagem, englobando partes dos municípios de Tamboril e Monsenhor Tabosa, totalizando uma população de aproximadamente 26.000 mil habitantes, conforme Censo Demográfico de 2000 (IPECE, 2011).

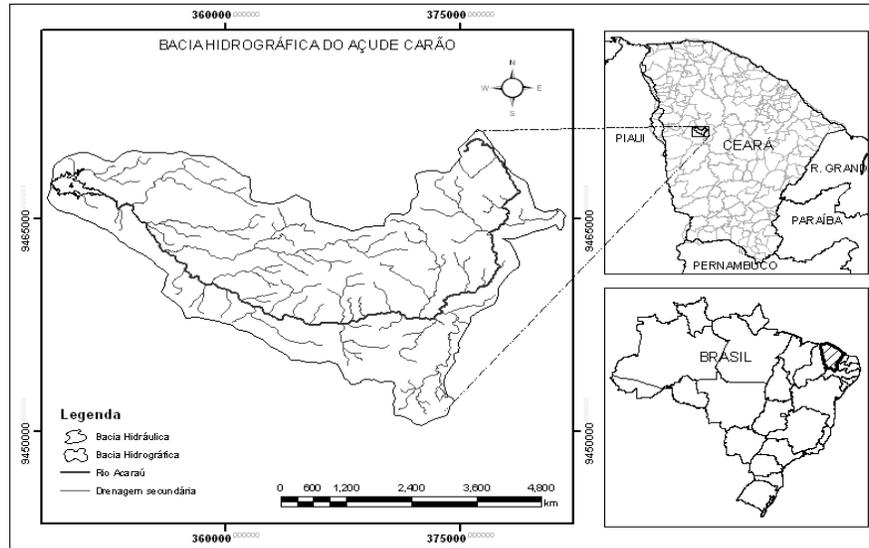


Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do açude Carão – Ce.

O referido açude barra o rio Acaraú inserido no município de Tamboril e é localizado pelas coordenadas E: 576.906, N: 9.438.009. O mesmo foi construído em 1980, pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs), compõem-se de uma barragem de terra, tipo homogêneo e tapete impermeabilizante, e é monitorada desde 1992 pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh). A bacia hidráulica do açude é de 647,17 ha, com capacidade de armazenamento de 26.230.000 m<sup>3</sup> e tempo de detenção hidráulica estimado em 1,27 anos.

A região apresenta clima tropical quente semiárido, relevo de depressão sertaneja e maciços residuais, com índice pluviométrico médio de 685,7 mm e temperatura média variando entre 26 a 28° C. Os principais grupos de solos predominantes são luvisolo crômico órtico, neossolos litólicos, planossolo solódico e luvisolo vermelho-amarelo (IPECE, 2011). Os índices pluviométricos reduzidos podem também ser expressos através do volume armazenado do corpo hídrico, que desde sua construção em 1980 só atingiu a cota máxima de sangria em quatro anos: 1996, 2004, 2008 e 2009 (Figura 2).

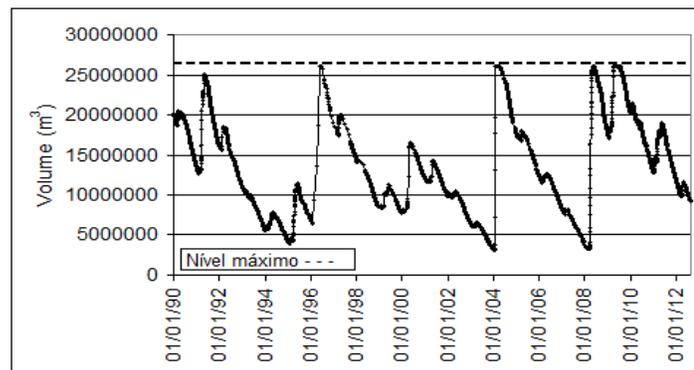


Figura 2 - Histórico do volume armazenado (1990 – 2010) do açude Carão – CE

## METODOLOGIA

A delimitação da microbacia teve como base cartográfica as cartas produzidas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), em escala de 1:100.000, e as estimativas foram calculadas pelo *software* ArcGIS 9.3<sup>®</sup>.

A bacia hidrográfica do açude Carão foi analisada em quatro aspectos fundamentais: rede de drenagem, parâmetros morfométricos, características de relevo e uso e ocupação do solo. A ordem de drenagem, a densidade da drenagem ( $D_d$ ) e o índice de sinuosidade ( $I_s$ ) foram estabelecidas de acordo com Strahler (1957) e Christofolletti (1980). A classificação da densidade de drenagem seguiu a Tabela 1.

Tabela 1 - Características da rede drenagem avaliadas para a bacia hidrográfica do açude Carão.

Parâmetro	Fórmula do Cálculo	Classificação da $D_d$	Valores (km/km <sup>2</sup> )
Densidade de Drenagem	$D_d = L/A$	Baixa	5
	(Equação I)	Média	5,00 - 13,52
Índice de Sinuosidade	$I_s = L_m/D_v$	Alta	13,52 - 155,5
	(Equação II)	Muito Alta	> 155,5

A: área da bacia; L: comprimento do eixo da bacia

Foram analisados os indicadores morfométricos listados na Tabela 2 (CARDOSO *et al.*, 2006; VILLELA; MATOS, 1975).

Tabela 2 - Aspectos morfométricos analisados para o estudo da bacia hidrográfica do açude Carão.

Parâmetros Morfométricos	Fórmula do Cálculo	Referência
Fator de Forma ( $K_f$ )	$K_f = A/L^2$	Equação III
Coefficiente de Compacidade ( $K_c$ )	$K_c = 0,28P/\sqrt{A}$	Equação IV
Índice de Circularidade (IC)	$IC = 12,27 \times A/P^2$	Equação V
Densidade Hidrográfica ( $D_h$ )	$D_h = N/A$	Equação VI

P: perímetro da bacia;  $D_v$ : distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal; N: número de rios ou cursos d'água;  $L_m$ : comprimento do canal principal

Para a caracterização do relevo se utilizou a declividade (velocidade de escoamento superficial), altitude e amplitude altimétrica. Foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (DEM) gerado através do SRTM (*Shuttle RADAR Topography Mission*), referente aos pontos altimétricos da bacia hidrográfica do açude Carão, sendo a resolução de 90m e curvas de nível equidistantes 20m.

As formas de uso e ocupação da área de drenagem foram classificadas e delimitadas através da imagem Landsat 5 TM (*Thematic Mapper*) órbita/ponto 218/63, em formato digital, correspondentes ao período de 22 de junho de 2007, disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2012)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A rede de drenagem apresentou comprimento total de 242,1 km, distribuídos em 112 canais de escoamento, com predominância do rio Acaraú que possui 29,6 km. Machado *et al.* (2011) relata que rios com extenso canal principal estão mais susceptíveis a alterações ambientais, uma vez que estes percorrem diversos ambientes e estão mais sujeitos as pressões antrópicas.

Os resultados para os parâmetros morfométricos da área e rede de drenagem do açude Carão foram resumidos na Tabela 3. Observa-se que a área drenada pelo sistema pluvial para o açude possui 309,5 km<sup>2</sup>, perímetro de 103,16 km e comprimento do eixo da bacia 28,9 km, valores representativos de pequenas bacias.

Tabela 3 - Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do açude Carão – CE.

Parâmetros	Unidades	Valores
Área de drenagem	km <sup>2</sup>	309,55
Perímetro	km	103,16
Comprimento do eixo da bacia	km	28,9
Comprimento do rio principal	km	54,41
Comprimento 1ª ordem	km	122,3
Comprimento 2ª ordem	km	63,3
Comprimento 3ª ordem	km	26,9
Comprimento 4ª ordem	km	29,6
Comprimento total	km	242,1
Número de canais da 1ª ordem	-	90
Número de canais da 2ª ordem	-	17
Número de canais da 3ª ordem	-	4
Número de canais da 4ª ordem	-	1
Extensão do curso do eixo principal	km	29,17
Densidade de drenagem	km/km <sup>2</sup>	0,78
Densidade hidrográfica	canais/km <sup>2</sup>	0,36
Índice de Sinuosidade do rio principal	-	1,86

A densidade da rede de drenagem ( $D_d = 0,78$  km/km<sup>2</sup>) caracteriza a área de estudo como uma região de baixa capacidade de drenagem, o que equivale a um menor grau de ramificação da rede hídrica e, portanto, menor eficiência do sistema de escoamento superficial. Segundo Villela e Mattos (1975), em bacias com drenagem pobre esse índice pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup> a 3,5 km/km<sup>2</sup>.

O índice de sinuosidade calculado e a análise visual caracterizam os canais da bacia do Carão como meândricos (IS = 1,86). Antoneli e Thomaz (2007), afirmam que valores de IS entre 1 e 2 indicam formas transicionais, regulares e irregulares, mas quanto mais próximo de 2 os canais tendem a ser tortuosos. Este padrão confere estabilidade ao canal e menor transporte de sedimentos, embora possa sofrer alterações em ocorrência de distúrbios regionais, tais como: práticas agrícolas em áreas próximas aos meandros, erosão ou deposição de material, retificação do canal e extração de cascalhos, remoção da vegetação, construção de prédios e urbanização.

A bacia do Carão apresenta noventa canais de primeira ordem (80,4%), evidenciando a presença de nascentes em grande parte dos canais contribuintes do rio Acaraú, exigindo maior atenção nas práticas de manejo e conservação de mata ciliar destas regiões sensíveis e importantes.

De acordo com a hierarquia de Strahler (1957) e Christofolletti (1980), o sistema de drenagem da bacia em estudo possui ramificação de quarta ordem, o que significa pouca ramificação para a escala do mapa utilizado (Figura 3). A densidade hidrográfica reforça esta premissa, tendo em vista que aponta menos de um canal por quilômetro quadrado de área da bacia contribuinte ( $D_h = 0,36$  canais/km<sup>2</sup>).

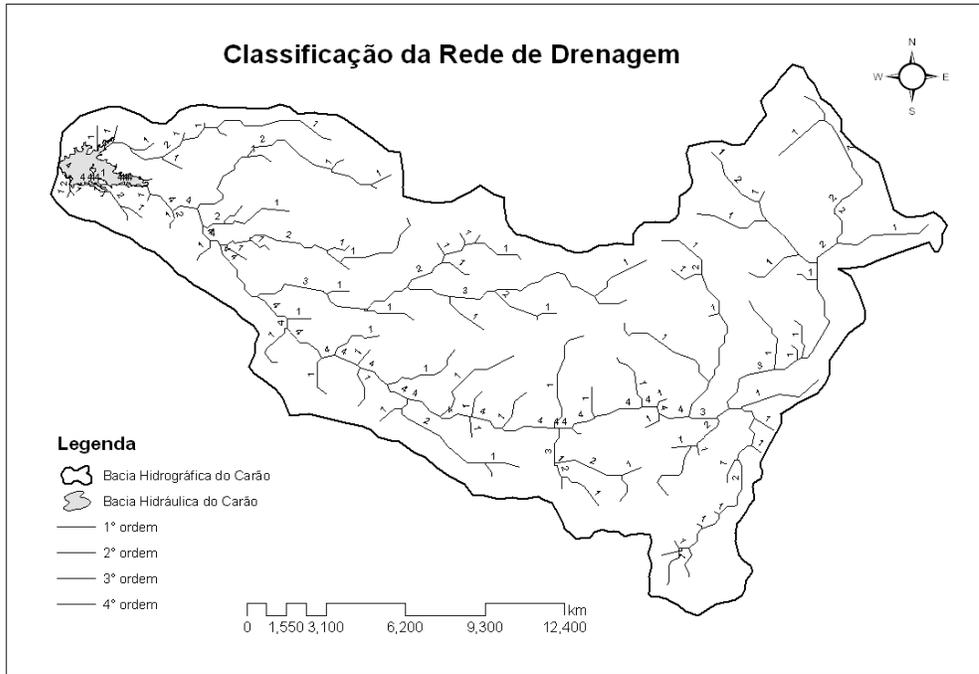


Figura 3 - Classificação da rede drenagem da bacia hidrográfica do açude Carão, Ceará.

Carvalho e Neto (2012) encontrou padrão similar para o sistema de drenagem da bacia do Córrego Humaitá, MG, onde foram encontrados 83 canais de 1ª ordem, 20 canais de 2ª ordem, 7 canais de 3ª ordem, e o canal principal, de 4ª ordem, com maior extensão.

O fator de forma resultante ( $K_f = 0,37$ ) e o índice de circularidade ( $IC = 0,36$ ) indicam que a microbacia hidrográfica é estreita e alongada, facilitando o escoamento da água na região hidrográfica, portanto, menor aptidão para enchentes, inclusive se considerarmos os baixos índices de ocorrência de chuvas intensas da região. Cardoso *et al.* (2006), estudando a bacia hidrográfica do rio Debossan (RJ), encontrou mesma tendência alongada para índices de circularidade e fator de forma baixos, respectivamente, 0,4 e 0,33.

Considerando os parâmetros morfométricos, a rede de drenagem e as condições climatológicas da bacia hidrográfica torna-se fácil inferir que a dinâmica hidrológica do açude Carão está diretamente ligada a estes aspectos, que se expressam através do histórico de baixos volumes armazenados e as poucas vezes que o espelho d'água atingiu a cota de sangria.

O mapa de declividade para a bacia hidrográfica do açude Carão (Figura 4), gerado pelos pontos altimétricos no Modelo Digital de Elevação (DEM), identificou predominância de áreas inseridas em relevo plano (39,55%), seguido de relevos ondulados (23,14%) e suavemente ondulados (16,97%).

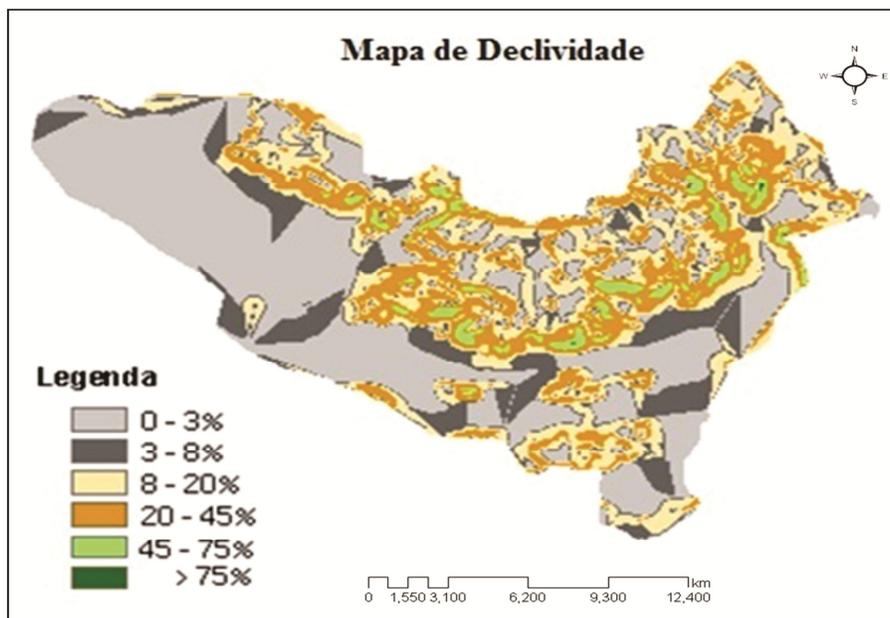


Figura 4 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Açude Carão - CE.

Os resultados morfométricos indicam que aproximadamente 80% da área tem altitudes menores que 20% de declividade (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação da declividade do relevo da bacia hidrográfica do açude Carão.

Declividade (%)	Relevo	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
0 - 3	Relevo plano	119,12	39,55
3 - 8	Relevo suave ondulado	51,11	16,97
8 - 20	Relevo ondulado	69,69	23,14
20 - 45	Relevo forte ondulado	54,35	18,05
45 - 75	Relevo montanhoso	6,85	2,27
> 75	Relevo forte montanhoso	0,04	0,01
Total		301,16	100

As características do relevo apontam reduzida ação erosiva do escoamento superficial, portanto menor transporte de sedimentos ao longo da bacia do Carão. Dinesh (2008) reforça que quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido deverá ser o escoamento superficial e maiores as perspectivas de picos de enchentes, principalmente, se associada à cobertura vegetal, o tipo de solo e o tipo de uso da terra inadequadas.

O mapa de declividade também evidencia que as características e padrão de drenagem refletiram no processo morfogenético do terreno que, de acordo com Christofolletti (1980) esculpem a paisagem, revelando para a bacia do Carão maior frequência ou quantidade de cursos de água nas partes mais elevadas.

Os resultados da composição das bandas (R)5 (G)4 (B)3, referentes à imagem de satélite *Landsat* do dia 22/06/2007 e posterior classificação pelo método não supervisionado para área de estudo, identificaram 5 (cinco) classes de vegetação: Mata Seca (Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial), Caatinga Arbustiva Fechada, Caatinga Arbustiva Aberta, Caatinga Herbácea, Áreas cultivadas (Plantação), e três feições: Solo Exposto, Hidrografia e Núcleo urbano (Figura 5).

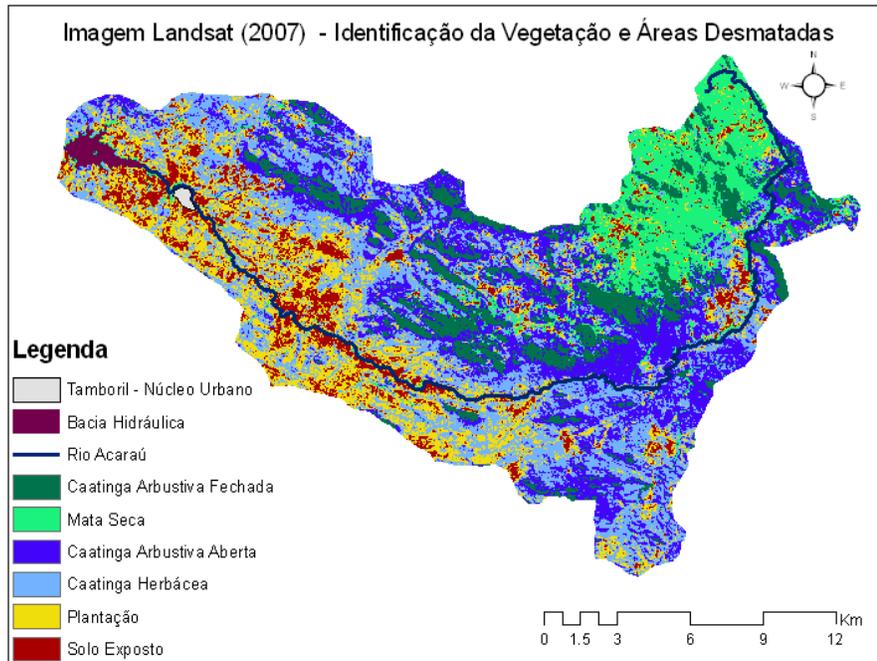


Figura 5 - Resultado da classificação da imagem *Landsat* da área da bacia hidrográfica do açude Carão.

O processamento digital da imagem delimitou aproximadamente 25,77 km<sup>2</sup> (8,32%) de solo exposto e 55,08 km<sup>2</sup> (17,79%) de plantação, localizadas principalmente no entorno do rio Acaraú e reservatório Carão. Desta forma, foi possível observar que cerca de 26,11% (80,85 km<sup>2</sup>) da área da bacia hidrográfica já foi desmatada ou afetada pela ação humana (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação do uso e ocupação da área de estudo pela imagem de satélite – Carão/CE.

Classes	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Mata Seca	30,69	9,91
Caatinga Arbustiva Fechada	39,26	12,68
Caatinga Arbustiva Aberta	70,53	22,78
Caatinga Herbácea	81,77	26,41
Plantação	55,08	17,79
Solo Exposto	25,77	8,32
Hidrografia	6,47	2,09
Total	309,56	100

A análise conjunta dos mapas elaborados para bacia hidrográfica do Carão permitem observar que grande parte da área desmatada ou afetada pela ação humana está localizada em regiões com relevo plano ou suavemente ondulado, demonstrando o aspecto morfométrico como um critério importante no uso e ocupação da região.

Importante ressaltar que a ação antrópica juntamente com os fatores adversos da reduzida precipitação e consequente elevado tempo de detenção hidráulica (1,27 anos), representam potencial agente modificador da qualidade das águas do reservatório Carão, que atualmente depende desta qualidade para abastecer a população local.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude Carão evidencia uma região de pequeno porte, com forma alongada, estreita e com baixa disposição à inundação, padrões bastante comuns às microbacias. A reduzida densidade de drenagem observada pode estar relacionada às baixas precipitações ocorridas na região semiárida, que dificultam a renovação das águas do reservatório, elevando, assim, o tempo de detenção hidráulica e condicionando efeitos negativos na capacidade de armazenamento do corpo hídrico.

O relevo predominante da região é composto por solos planos e pouco ondulados, cujas declividades se apresentam inferiores a 20%, possibilitando maior infiltração da água e reduzida ação erosiva. A classificação não supervisionada se mostrou eficiente na compartimentação da bacia hidrográfica estudada, permitindo identificação de áreas desmatadas ou afetadas pela ação humana, principalmente nas regiões de entorno dos cursos hídricos e nas regiões mais aplainadas.

## REFERÊNCIAS

- ANTONELI, V.; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.
- CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CARVALHO, K.F.; NETO, R.M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Córrego Humaitá (Juiz de Fora, MG) como subsídio à investigação de riscos a inundações: resultados preliminares. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p.138-149, 2012.
- CHRISTOFOLETT, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher / EDUSP, 1980. 150 p.
- DINESH, S. Computation and characterization of basic morphometric measures of catchments extracted from digital elevation models. **Journal of Applied Sciences Research**, v.11, n.4, p.1488-1495, 2008.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 10 abr. 2012.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal: Tamboril**. Fortaleza, 2006. Disponível em: [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/PBM\\_2006/Tamboril.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/PBM_2006/Tamboril.pdf). Acesso: 04.jul.2011.
- MACHADO, R.A.S.; LOBÃO, J.S.B., VALE, R.M.C., SOUZA, A.P.M.J. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição de indicadores para gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba, Brasil, **Anais...Paraná**., INPE, 2011. p.1441.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions of the American Geophysical Union**, v.38, n.6, p.913-20, 1957.
- VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.