

ESTUDO MORFOMÉTRICO DA BACIA DO RIACHO AÇAIZAL – MA/BRASIL

Rodrigo Lima Santos

Graduado em Geografia/Licenciatura pela Universidade Estadual do Maranhão/ UEMA/CESI.
E-mail: rlimasantos3@gmail.com

Danilo Saraiva de Brito

Mestrando em Geografia pela UFT, Bolsista CAPES. Profº. de Geografia da rede municipal de Imperatriz
- MA. E-mail: britosada@gmail.com

Ronaldo dos Santos Barbosa

Professor assistente do Depart. de História e Geografia - CESI/UEMA. Doutorando do programa de pós
graduação em Geografia pela UFPE.

RESUMO: Os estudos de morfometria em bacias hidrográficas configuram-se como instrumentos importantes para o conhecimento da dinâmica local, bem como para implementação de ações de gestão ambiental e dos recursos hídricos. Este estudo objetiva expor caminhos, para realização de análises morfométricas em bacias, com a utilização de SIG, apresentando como exemplo o estudo morfométrico da bacia hidrográfica do riacho Açaizal - MA. Utiliza-se dessa maneira, métodos de análise e obtenção de parâmetros no ArcMap versão 10.1, além de, dados oriundos do projeto TOPODATA/INPE. Dentre os resultados apresentados, destacam-se, os referentes à hierarquização da bacia, os índices obtidos que compõem a análise areal, a análise linear e a análise hipsométrica, que permitem conhecer, dentre outros aspectos as dimensões da bacia, sua forma, a curva hipsométrica do rio principal e densidade hidrográfica. Conclui-se que os estudos apoiados por ferramentas de análise em SIG fornecem grande potencial ao pesquisador em curto espaço de tempo. No entanto, é indispensável o conhecimento de campo da área em estudo.

Palavras-chave: Análise Areal; Hierarquia Fluvial; Análise Hipsométrica.

MORPHOMETRIC STUDY AÇAIZAL CREEK BASIN - MA / BRAZIL

ABSTRACT: Morphometry studies in hydrographic basin are characterized as important for understanding the local dynamics instruments, and to implement initiatives for environmental management and water resources. This study aims to expose paths to perform morphometric

analyzes in basins, with the use of GIS, presenting as an example the morphometric study of the basin of the creek Açaizal - MA. It is used this way, methods of analysis and obtaining parameters in ArcMap version 10.1, besides, data from the TOPODATA/INPE project. Among the results presented, stand out, referring to the hierarchy of the basin, the obtained indices comprising the areal analysis, linear analysis and hypsometric analysis, allowing us to know, among other aspects, the dimensions of the basin, its form, the hypsometric curve the main river and river density. It is concluded that the studies supported by GIS analysis tools provide great potential to search in short time. However, it is essential to have knowledge of the field study area.

Keywords: Areal Analysis; Hierarchy River; Analysis Hypsometric.

INTRODUÇÃO

A análise morfométrica é parte dos instrumentos de análise do quadro ambiental e geomorfológico em bacias hidrográficas, e se concretiza a partir de modelos matemáticos que traduzem uma simplificação concreta, explicativa, essencial e precisa das características geomorfológicas. Os modelos aplicados na obtenção dos parâmetros morfométricos podem ser aplicados nos diagnósticos de qualquer bacia hidrográfica.

Na análise das redes hidrográficas destacam os efeitos erosivos dos cursos d'água nos processos morfogenéticos que resulta na esculturação das paisagens terrestres. As características morfométricas das redes de drenagem são referências concretas da situação geomorfológica em uma bacia hidrográfica. Indicam em linhas gerais a dinâmica das vertentes que refletem no comportamento do canal no que se refere ao transporte e deposição de sedimentos.

Os estudos morfométricos são importantes, pois permitem avaliar e caracterizar as formas e as dinâmicas atuantes no relevo. Usa-se destas informações para auxiliar nos desenvolvimento de outros parâmetros ou indicadores que geralmente são utilizados em atividades de planejamento ambiental. Os parâmetros morfométricos são responsáveis pela caracterização hidrológica e do relevo, auxiliar na explicação da dinâmica pedológica, na gestão dos recursos hídricos, nos processos de uso e ocupação da terra, sobre as estruturas geológicas, nos diferentes substratos vegetativos e outros.

Neste caso, a estrutura e composição dos relevos das bacias hidrográficas tem grande influência sobre os fatores meteorológicos, pois a declividade afeta diretamente a velocidade do

escoamento superficial, e a altitude influencia a temperatura, precipitação e a evaporação (VILLELA e MATTOS, 1975 apud MORAIS e FERNANDES, 2007).

Vale ressaltar que a morfometria é uma fase de caracterização do ambiente geomorfológico de forma gráfica, a partir de dados indiretos (fotografias aéreas e/ou imagens de satélites) e estáticos, refletindo a realidade de um dado momento. Moraes e Fernandes (2007) destacam a ampla aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG's, na obtenção de parâmetros geomorfológico e hidrológicos, visto que há uma facilidade de organização e geração de dados espaciais, mesmo de dados complexos como os subsistemas analisado pelos parâmetros morfométricos.

Em se tratando da utilização da bacia hidrográfica enquanto unidade de estudo, é importante defini-la. Segundo Cunha (1988) trata-se de uma área de captação natural das precipitações das chuvas, que fazem convergir o escoamento d'água no interior de uma bacia, para um único ponto de saída. Para Christofolletti (1974) a bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto que está constantemente realizando trocas de energia e matéria entre os elementos climáticos dominantes e a estrutura em que se dá o escoamento, resultando em equilíbrio dinâmico

A importância preliminar deste estudo caracteriza um aspecto importante da análise hidrográfica ou ambiental de bacias, que tem como premissa, compreender as inúmeras questões relacionadas com a dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al. 2006).

O presente artigo tem como objetivo realizar um estudo morfométrico da bacia hidrográfica do riacho Açaizal, a partir de índices, tais como: hierarquia fluvial, análise areal: área da bacia, perímetro, fator de forma (K_f), coeficiente de compacidade (K_c), índice de circularidade (I_c), densidade hidrográfica (D_h), densidade de drenagem (D_d); análise linear: índice de sinuosidades (I_s), comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial e relação entre o comprimento dos canais de cada ordem; análise hipsométrica: perfil longitudinal, declividade, altitude e amplitude altimétrica, oferecendo potencialmente, o caminho, para o desenvolvimento de estudos morfométricos em outras bacias hidrográficas.

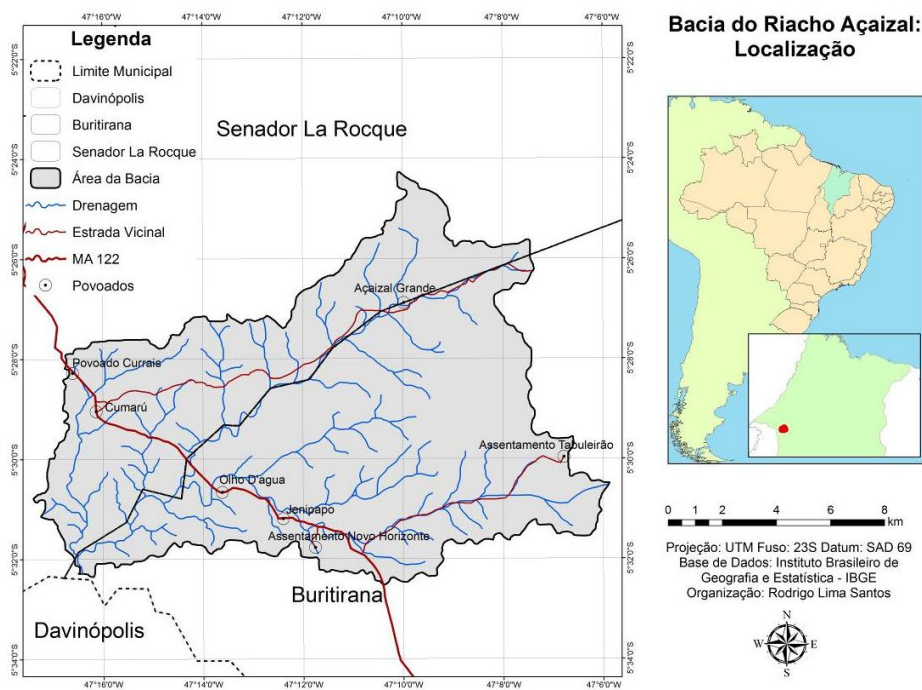
Para tanto, apresenta-se uma leitura particular de alguns parâmetros estabelecidos na bacia hidrográfica do riacho Açaizal-MA. Como forma de melhor compreensão do artigo parte-se da caracterização da área de estudo, seguida da descrição dos produtos cartográficos elaborados e

dos parâmetros morfométricos utilizados, para daí então apresentar os resultados. A discussão obedece quatro eixos principais. Iniciando com a hierarquia fluvial, depois fala-se da análise areal, análise linear, análise hipsométrica e por fim as conclusões obtidas.

ÁREA DE ESTUDO

A área delimitada para estudo é de 179,5 km², localizando-se nos municípios de Senador La Rocque e Buritirana - MA. Fazendo parte da Mesorregião Oeste Maranhense e Microrregião de Imperatriz. Porém, é no município de Buritirana que a bacia do riacho Açaizal apresenta maior concentração (63 % da área), tornando-se extremamente importante para a população local, a bacia conta com cinco povoados e dois assentamentos são eles: Açaizal Grande, Cumaru, Jenipapo, Olho D'água, Lagoa dos Currais, Assentamento Tabuleirão e Assentamento Novo Horizonte, conforme demonstrado na *Figura 1*.

Figura 1 - Localização da bacia do riacho Açaizal - MA.



Elaborado: Pelos autores.

MATERIAIS E MÉTODOS

ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Como forma de auxiliar os estudos e adquirir maior precisão de dados, foi imprescindível a utilização de ferramentas de geoprocessamento (imagens de satélite, SIG, GPS). Neste artigo, considerou-se necessário a geração dos seguintes produtos cartográficos: mapa de localização da bacia, mapa de hierarquia fluvial dos riachos, mapa de análise geométrica da bacia, mapa de perfil longitudinal do riacho Açaizal e por fim, o mapa de hipsometria da bacia.

A seguir apresentam-se os procedimentos realizados em SIG de maneira individual, enfatizando cada mapa:

- *Mapa de Localização da Bacia:* O mapa de localização da Bacia foi desenvolvido a partir de Shapefiles (Arquivos de desenho/formato vetorial aceitos pelo SIG ArcMap 10.1) do Brasil, Maranhão e municípios do Maranhão, obtidos no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Sendo a delimitação da bacia e rede de drenagem, respectivamente, feita através de processo de vetorização e georreferenciamento manual em SIG.
- *Mapa de Hierarquia Fluvial:* A hierarquia da bacia foi desenvolvida com base na rede de drenagem vetorizada de trabalhos anteriores (BARBOSA, 2010). Utilizou-se para a classificação dos canais a metodologia de Straller (1975 apud CHRISTOFOLETTI, 1969), que ordena-os segundo grupos (ordem) distintas pela sua interação com o canal principal, podendo estes, classificarem-se como de primeira ordem, segunda, terceira e assim sucessivamente, determinando a grandeza da bacia. Para identificação dos canais e determinação da ordem da bacia, atribuiu-se número de ordem para cada canal da bacia (figura 2).
- *Mapa de Análise Geométrica da bacia:* O mapa de análise geométrica foi desenvolvido com base nas delimitações da bacia e comparação com três formatos geométricos (triangular, retangular e quadrado). Neste, buscou-se a forma geométrica, que mais se aproxima do formato da bacia.

- *Mapa de Perfil Longitudinal do riacho Açaizal:* O perfil longitudinal deste riacho foi desenvolvido com o SIG ArcMap 10.1. O primeiro passo foi gerar o *TIN (Triangular Irregular Network* ou em português Rede Triangular Irregular), para toda área da bacia. Posteriormente, traçou-se a linha desejada, com a ferramenta *Interpolate Line*, seguindo fielmente o desenho da drenagem do riacho escolhido no sentido (montante - jusante). Após utilização da ferramenta *Profile Graph* disponível na barra de ferramentas *3D Analyst*, para gerar o gráfico do perfil.
- *Mapa de Hipsometria:* O mapa de hipsometria foi elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), originário do projeto TOPODATA/INPE. Resolução espacial de 30m. Elaborou-se o modelo de hipsometria, com a ferramenta *Hillshade*, no caminho *ArToolbox/Spatial Analyst Tools/Surface/Hillshade*. Foram identificadas 7 (sete) classes de intervalos hipsométricos, de acordo com recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA.

OBTENÇÃO DE PARÂMETROS PARA ANÁLISE EM SIG

A análise realizada pautou-se nos seguintes parâmetros: Fator forma de Villela e Mattos (1975 apud TEODORO et al. 2006), Coeficiente de compacidade de Villela e Mattos (1975 apud TEODORIO et al. 2006), Índice de Circularidade de Christofolletti (1980), Densidade Hidrográfica de Horton (1945 apud CHRISTOFOLETTI, 1980), Densidade de Drenagem de Horton (1945 apud CHRISTOFOLETTI 1980), Índice de Sinuosidade de Teodoro et al. (2006), Perfil longitudinal do canal coletor, Relação entre comprimento dos canais de cada ordem, Comprimento do rio principal, Extensão do percurso superficial, todos obtidos com o auxílio do SIG Arcmap 10.1 da ESRI. O quadro 1 apresenta os parâmetros envolvidos nas fórmulas, bem como a metodologia de obtenção no Arcmap 10.1, a fim de auxiliar a realização de outros estudos.

Quadro 1 – Detalhamento da forma de obtenção dos parâmetros usados no artigo em SIG.

Parâmetros	Metodologia de obtenção
Área da bacia	Em <i>open attribute table</i> do <i>shape</i> a que se refere à bacia, cria-se uma coluna, atribui-se um nome a esta, logo após, utiliza-se a opção <i>calculate geometry</i> , alterna-se entre as opções “área ou perímetro”, em seguida seleciona-se a unidade de medida e esta aparecerá na coluna que foi criada.
Perímetro da bacia	
Comprimento total dos rios	São parâmetros obtidos a partir da tabela de atributos (<i>Open attribute table</i>) de cada <i>shape</i> , podendo ser alteradas as unidade de medida da obtenção do dado: <i>km</i> , <i>m</i> e etc.. na opção <i>calculate geometry</i> . Pode haver a necessidade de unir (<i>merge</i>) vários canais da mesma ordem, para obter o comprimento total dos canais, no caminho, barra de ferramentas <i>editor/editor/start edit/merge</i> .
Extensão do rio principal	
Distância vetorial da nascente à foz do rio principal	Obtem-se traçando uma linha reta, da nascente até a foz do riacho considerado, depois para proceder ao cálculo, utiliza-se um clique duplo na reta, na janela <i>properties</i> , escolha a guia <i>length</i> , e pronto. Caso necessário, é possível alterar a unidade de medida considerada para o cálculo.
Ordem da bacia	Identifica-se através de análise visual, atribuindo com o SIG o número da ordem a que pertencem os canais, em menu <i>insert/text</i> .
Número de cursos d’água	Pode ser obtido para toda a bacia, ou individualizado, de acordo com a ordem a ser considerada. Usa-se a identificação visual, que pode ser melhorada a partir da

	ferramenta <i>zoom in</i> ou <i>zoom out</i> .
Soma dos canais da ordem analisada	Junta-se todos os canais de determinada ordem, utilizando a opção <i>merge</i> , na barra de ferramentas <i>editor</i> , acionando a opção <i>start editing</i> , em seguida, obtém-se o comprimento dos canais, a partir da opção <i>calculate geometry</i> .

Fonte: Dados organizados pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

HIERARQUIA FLUVIAL

É na análise da bacia do riacho Açaizal que os estudos morfométricos foram de fato implantados, com o objetivo de caracterizar as leis, que levaram ao desenvolvimento da forma em que se encontra a morfologia fluvial do riacho Açaizal, assim como possibilitará a descrição do grau de vulnerabilidade existente na região e a sua morfodinâmica fluvial.

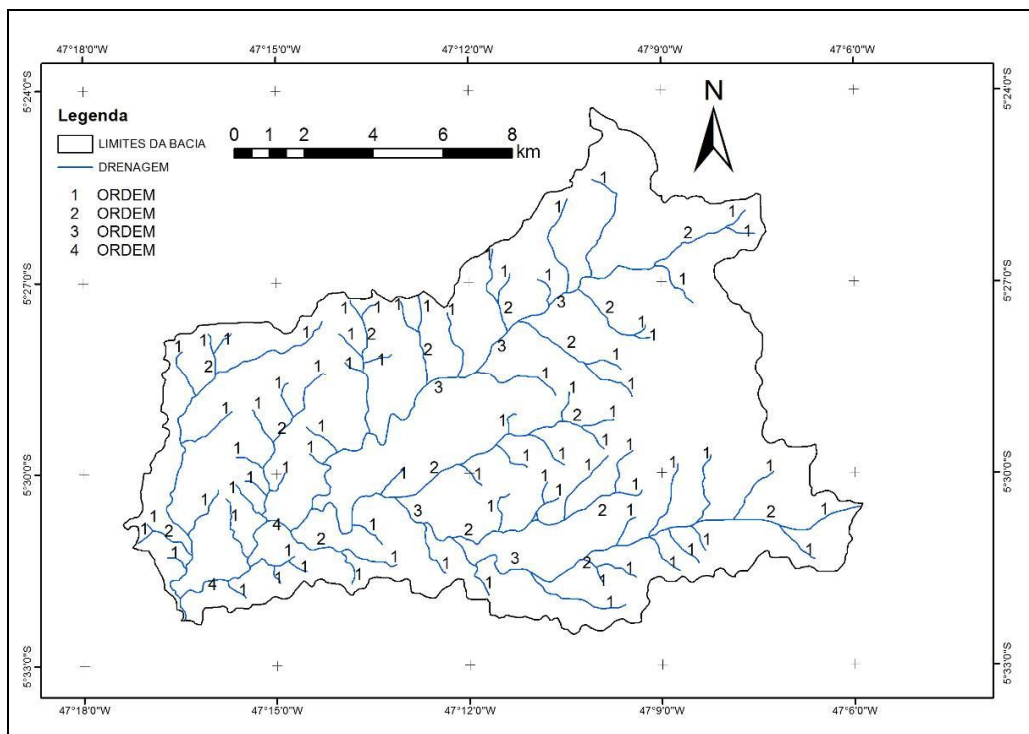
A bacia do riacho Açaizal apresenta um modelo de drenagem, em que o escoamento global de seus canais desemboca em um segundo rio (rio Cacau), segundo Christofolletti (1980), este tipo de escoamento é denominado de *endorréica*. O padrão da drenagem apresentado pela bacia do riacho Açaizal é o *paralelo*, pois os seus cursos d'água, em sua grande maioria, escoam paralelamente uns aos outros.

Conforme exposto em Christofolletti (1980), o padrão de drenagem trata-se dos arranjos espaciais dos cursos fluviais, que podem ter sido influenciados pelas atividades morfogenéticas e sobrepostas nas camadas rochosas, pela resistência litológica variável ou pelas diferenças de declividades e pela evolução geomorfológica da região.

A Hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a “classificação de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence), no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra” (CHRISTOFOLETTI, 1980 p. 106). O estudo da hierarquia hidrográfica possibilita fazer uma análise de reconhecimento completa, inclusive podendo ser

usado para a compartimentação dos canais da bacia para estudos de detalhe, como potencial erosivo ou de carga de sedimentos dos riachos de determinadas ordens.

Figura 2 - Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do riacho Açaizal.



Elaboração: Produzido pelos autores.

Neste contexto a bacia hidrográfica do riacho Açaizal, com base na classificação de hierarquia fluvial proposta por Sthraler (1952 apud CHRISTOFOLETTI, 1980), apresenta segundo a *figura 2*, 75 afluentes de primeira ordem, o que mostra que é uma bacia rica em nascentes; 16 afluentes de segunda ordem; 5 de terceira ordem e 1 de quarta ordem, essa relação está melhor expressa pela tabela 1:

Tabela 1 – Relação do número de canais expressos por ordem.

Ordem	Número de canais
1 ^a	75
2 ^a	16
3 ^a	5
4 ^a	1

Fonte: Mapa de hierarquia fluvial.
Dados organizados pelos autores.

A bacia pertence à quarta ordem. A maior parte dos canais são de 1^a ordem, sendo que estes são geralmente efêmeros, servindo apenas para transportar água das chuvas. E no período de estiagem não apresentam contribuições significativas no regime do canal coletor (Riacho Açaizal).

ANÁLISE AREAL

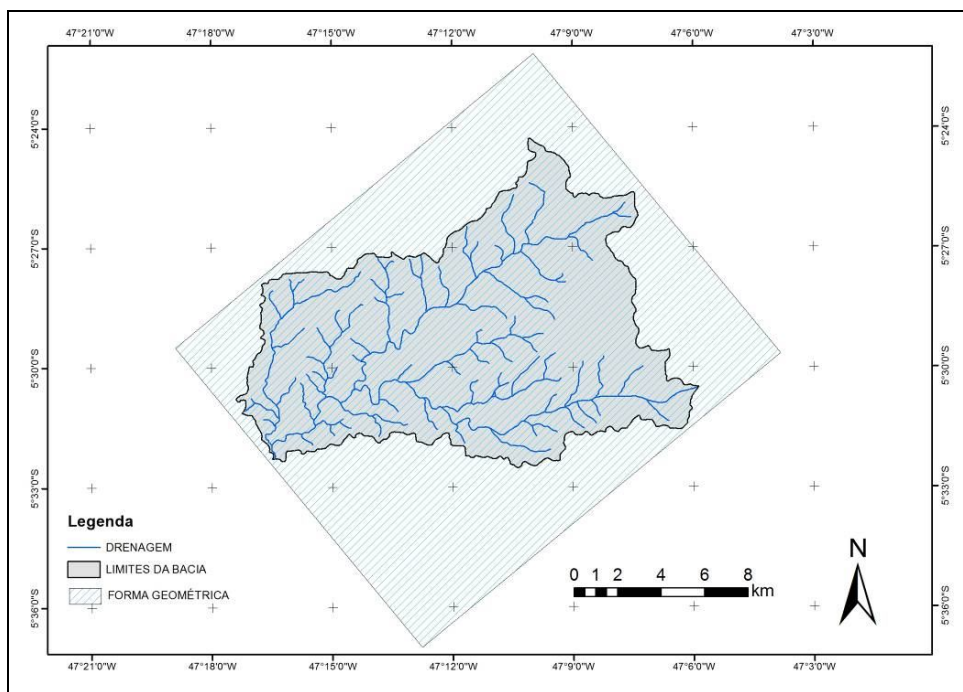
A área da bacia corresponde a toda porção do território que faz parte da drenagem pluvial em uma projeção horizontal, tendo como limite os divisores topográficos (TONELLO, 2006). Conforme os cálculos obtidos automaticamente através de técnicas de geoprocessamento, a bacia possui uma área de 179,5 km². Tendo como perímetro, extensão da linha limítrofe entre bacias (TONELLO, 2006) o valor da ordem de 77,04 km de extensão.

O fator forma da bacia do riacho Açaizal é de 0,38 e apresenta à forma geométrica de um quadrado, expressa pela *Figura 3*, cujo comprimento axial da foz até ao ponto mais longe do espigão segundo Villela e Mattos (1975 apud TEODORO et al., 2006) é de 21,55 km e a largura média é de 17,84 Km. A seguir, apresenta-se a fórmula empregada para reconhecimento da forma da bacia, que se faz indispensável para a interpretação da forma e do processo de alargamento da bacia.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \therefore \quad K_f = 0,38$$

Em que: K_f = fator de forma; A = área de drenagem e L = comprimento do eixo da bacia.

Figura 3 - Mapa de análise geométrica da bacia hidrográfica do riacho Açaizal



Elaboração: Autores.

A forma da bacia pode ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. O escoamento direto de uma dada chuva numa bacia mais alongada não se concentra tão rapidamente como em uma bacia mais circular, além do fato de que bacias longas e estreitas são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas (SCHWAB et al., 1966). Comparativamente, bacias de fator de forma maior têm maiores chances de sofrer inundações do que bacias de fator de forma menor. Isto significa dizer que, a bacia do Açaizal tem um número significativo de tributários atingindo o rio principal, tornando-a susceptível ao escoamento mais rápido e comprovando a análise feita para o coeficiente de compacidade.

O coeficiente de Compacidade trata-se da relação entre o perímetro da bacia e o círculo da área igual a da bacia. Este coeficiente é um número que varia, conforme a forma da bacia, sem depender de seu tamanho. Portanto, quanto mais irregular a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. A equação utilizada na obtenção do Coeficiente de Compacidade é de Villela e Mattos (1975 apud TEODORO et al., 2006):

$$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \therefore K_c = 1,61$$

Em que: K_c = coeficiente de compacidade; P = perímetro e A = área de drenagem.

Um coeficiente igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e como a tendência à enchente de uma bacia será tanto maior quanto mais próximo da unidade for este coeficiente, constata-se, em relação ao K_c , que a bacia do Açaizal, demonstra ser susceptível ao escoamento por ser mais alongada. Segundo Garcez et al., (1988), desde que outros fatores não interfiram, valores menores do índice de compacidade indicam maior potencialidade de produção de picos de enchentes elevados.

O índice de Circularidade é um índice que mede a proximidade da forma da bacia de um círculo. O valor máximo a ser obtido é igual a um, e quanto maior o valor, mais próximo da forma circular será a bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980). A fórmula expressa para o Índice de Circularidade é descrita como (CHRISTOFOLETTI, 1980):

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2} \therefore IC = 0,38$$

Em que: I_c = índice de circularidade; A = área de drenagem e P = perímetro.

A densidade hidrográfica ou densidade de rios é a relação existente entre a quantidade de cursos d'água e a área da bacia hidrográfica. Este índice tem como finalidade comparar a frequência ou a quantidade de cursos d'água existentes em uma área de tamanho padrão, como o quilômetro quadrado (CHRISTOFOLETTI, 1980). A equação é definida por Horton (1945 apud CHRISTOFOLETTI, 1980):

$$Dh = \frac{N}{A} \therefore Dh = 0,42 \text{ canais/km}^2$$

Em que: D_h = densidade hidrográfica; N = número de curso d'água e A = área de drenagem.

A densidade de drenagem é o comprimento total dos canais ou rios de escoamentos relacionados com a área da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1969, 1980). A densidade de drenagem das bacias hidrográficas pode ser classificada segundo Vilella e Mattos (1975 apud TEODORO et al., 2006), em 0,5 Km/Km², para bacias com densidade de drenagem baixa, e 3,5 Km/Km² ou mais, para bacias com alta densidade de drenagem.

A densidade de drenagem reflete a propriedade de capacidade de infiltração do terreno e, conseqüentemente, a susceptibilidade e a erosão. A fórmula abaixo expressa a densidade de drenagem, em função dos parâmetros de comprimento dos rios e área de drenagem.

$$Dd = \frac{L}{A} \therefore Dd = 0,99 \text{ km/km}^2$$

Em que: Dd = densidade de drenagem; L = comprimentos dos rios ou canais e A =área de drenagem.

A densidade de drenagem é um índice importante, na determinação da capacidade de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Este parâmetro, fornece o nível de eficiência da drenagem da bacia, sendo a soma dos comprimentos de todos os canais da rede de drenagem, relacionados com a área total das bacias. Este tipo de expressão é válida para todos os tipos de drenagem, independentemente de sua natureza que segundo Antoneli e Thomaz (2007) podem classificar-se em: perene, temporários e efêmeros.

A bacia estudada tem baixa densidade de drenagem, isto quer dizer que, a mesma apresenta um terreno com pouca declividade, com rampas longas. O fator de forma (K_f) da bacia é de 0,38, o índice de circularidade (I_c) de 0,38 e o coeficiente de compacidade (K_c) igual a 1,61.

ANÁLISE LINEAR

A relação entre comprimento dos canais de cada ordem é expressa pela soma dos comprimentos de todos os canais encontrados em uma ordem e pelo número de seguimentos

fluviais indicados na respectiva ordem. Conforme Christofolletti (1980) é apresentada a equação utilizada para obtenção dessa relação.

$$L_m = \frac{Lu}{Nu}$$

Em que: L_m = comprimento médio dos seguimentos fluviais; Lu = soma dos canais da ordem analisada e Nu = número de seguimentos encontrados na respectiva ordem.

Na bacia do riacho Açaizal, chegou-se ao seguinte resultado, exposto na *Tabela 2*:

Tabela 2 – Comprimento Médio dos Canais da Bacia do Riacho Açaizal

Ordem	Comprimento (m)
1ª ordem	1299,27
2ª ordem	3283,19
3ª ordem	5777,23
4ª ordem	3999,31

Fonte: Mapa de hierarquia fluvial.
Elaborado: Pelos autores.

O comprimento do rio principal segundo Christofolletti (1980) é a distância que se estende ao longo do curso de água, desde a desembocadura até a nascente. Na bacia em questão, o principal riacho é o Açaizal. Este apresenta extensão superficial de 25,15 km. Seguida pelo índice de sinuosidade que segundo Teodoro et al. (2006) é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial, entre os extremos do canal expressa pela seguinte fórmula.

$$Is = \frac{L}{Dv} \therefore Is = 1,25$$

Em que: I_s = índice de sinuosidade; L = comprimento do canal principal e D_v = distância vetorial do canal principal.

O índice de sinuosidade (I_s) da bacia, não está próximo de 1,0 (canais com tendência a serem retilíneos) e nem de 1,5 (canais com tendência a serem meândricos) (CHRISTOFOLETTI, 1980). Como o valor do índice de sinuosidade é de 1,25, os canais tendem a um padrão intermediário entre retilíneo e sinuoso. Portanto, a bacia do riacho Açaizal apresenta valor médio, sendo o rio principal, um canal regular. Neste tipo de canal o transporte de sedimento não chega a ser considerável.

A extensão do percurso superficial é representada pela distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente, correspondendo a uma das variáveis independentes mais importantes “que afeta tanto o desenvolvimento hidrológico, como o fisiográfico das bacias de drenagem” (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 111), este valor é de 0,5 para a bacia em questão.

$$Eps = \frac{1}{2Dd} \quad \therefore \quad Eps = 0,5$$

Em que: Eps = extensão do percurso superficial; Dd = densidade de drenagem.

ANÁLISE HIPSOMÉTRICA

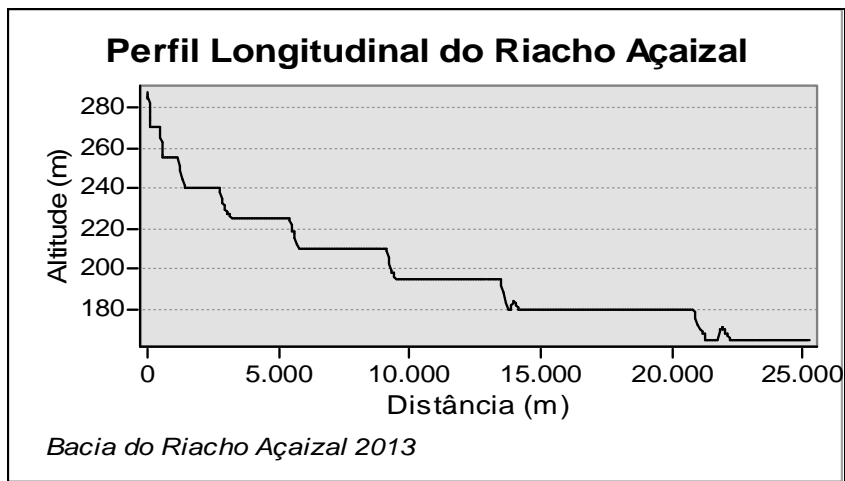
O perfil longitudinal de um rio apresenta uma relação existente entre a variação de altitude e o comprimento do mesmo, desde a nascente até a foz. Neste sentido, Knighton 1998 (apud NERY, 2010) coloca que o perfil longitudinal de um rio consiste num método simples e eficaz, que basicamente, utiliza-se de dados de altitude e extensão do canal.

Em termos de definição, a construção do perfil longitudinal é normalmente feita através do estudo de cartas topográficas, utilizando as cotas em diversos pontos ao longo do canal do rio. No entanto, a tecnologia tem contribuído significativamente, para realização de pesquisas nesse campo. É possível trabalhar com as ferramentas de análise 3D no ArcMap 10.1.

Conforme Santos e Segantine 2006 (apud SILVA e NAZARENO 2009, p. 1), os recursos tecnológicos disponíveis, como os SIG's tem viabilizado avanços consideravelmente importantes, através, principalmente, dos softwares que permitem velocidade na obtenção de dados e processamento de informações espaciais e em sofisticadas análises dos fenômenos.

A representação longitudinal de um canal pode ser uma ferramenta muito importante, quando aliada a estudos geomorfológicos e/ou morfométricos, por facilitar a compreensão dos condicionantes que equilibram ou desequilibram o sistema fluvial e também, para entender fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica. Sendo assim, apresenta-se o perfil longitudinal do curso principal da bacia do riacho Açaizal (*Figura 4*), utilizando o ArcMap 10.1 e para análise e detecção de trechos anômalos, buscando dessa forma, contribuir com a gestão ambiental da bacia hidrográfica em alusão.

Figura 4 – Gráfico do perfil longitudinal do riacho Açaizal.



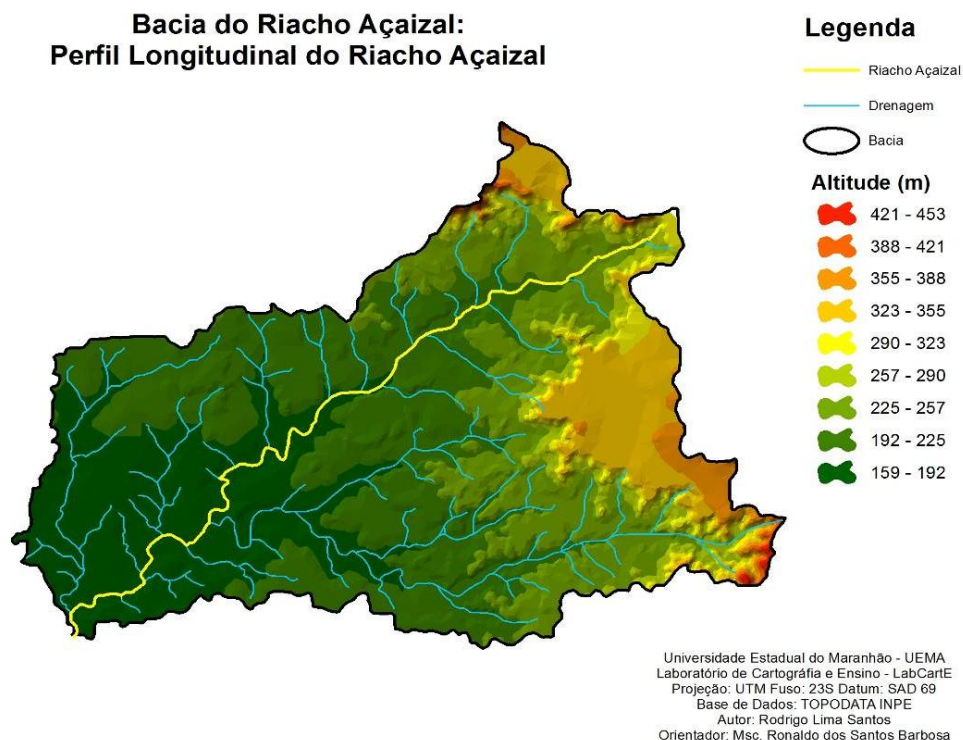
Elaborado: Pelos autores.

Análise do perfil em questão mostra a concentração de trechos anômalos, principalmente no alto curso da bacia, onde predominam as áreas de altitudes elevadas, acima de 200 metros. Observa-se ainda, uma mudança no padrão de apresentação dos trechos anômalos, estes que no alto curso são curtos e estão em maior número; já no baixo curso, se apresentam de forma alargada, estando em menor número.

Segundo Cunha (1988), o perfil longitudinal de um rio sofre contínuas alterações, devido às variações no fluxo de escoamento e na carga sólida, o que acarreta algumas irregularidades no seu leito, como as corredeiras e as depressões. Ao longo do canal, o rio tenta eliminar essas irregularidades, na tentativa de adquirir um perfil longitudinal côncavo e liso, com declividade suficiente para transportar a sua carga.

Outros fatores influenciam no perfil longitudinal, tais como a confluência de tributários, as variações na resistência à erosão do substrato rochoso, a erosão remontante por mudança brusca, em nível de base à jusante. A *Figura 5* apresenta tanto a localização do riacho Açaizal denominado por Santana (2004 apud TEODORO et al., 2006) de canal coletor por ser aquele que recolhe a contribuição de todos os demais riachos e a concentra numa linha de escoamento, ele serve de divisa natural entre os municípios banhados pela bacia do riacho Açaizal.

Figura 5 - Perfil longitudinal do riacho Açaizal.

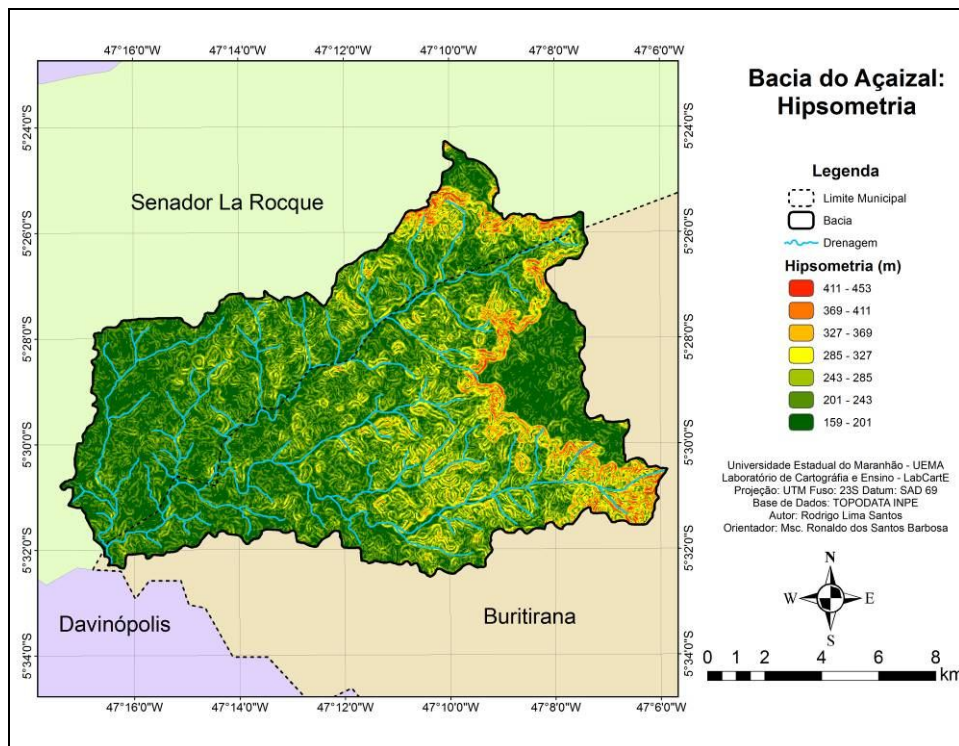


Elaboração: Pelos autores.

Em meio às características do relevo, vale destacar, para estudo de morfometria de bacias, as características de altitude e amplitude altimétrica. A declividade é o fator principal, que determina a velocidade em que se apresenta o escoamento superficial, passando a afetar o tempo de concentração d'água da chuva, nos leitos fluviais da rede de drenagem, sendo que os picos de enchentes, infiltração e susceptibilidade para a erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento da bacia Villela e Mattos (1975 apud TEODORO et al., 2006).

As diferentes altitudes interferem, diretamente, na precipitação, evaporação e transpiração, assim como no interflúvio médio. A presença de grandes variações de altitudes nas bacias desenvolvem diferentes situações na temperatura média, provocando variações na evapotranspiração. Porém, são as variações de precipitação anual as mais influenciadas pela elevação do terreno. A Figura 6 expressa às classes de altitude, identificadas na bacia do riacho Açaizal.

Figura 6 - Carta de hipsometria da bacia do riacho Açaizal, MA.



Elaborado: Pelos autores.

A bacia do riacho Açaizal tem como amplitude 294 m, e sua altitude média é de 384,5 m. A variação do relevo possibilita que as diferentes regiões da bacia recebam iluminação solar diferentes, influenciando a evapotranspiração, temperatura e precipitação. Dentro deste raciocínio nas regiões com maior altitude, menor será a quantidade de energia solar recebida pelo ambiente, conseqüentemente a energia disponível será reduzida.

A tabela 3 apresenta os dados morfométricos completos da bacia do riacho Açaizal, a fim de reunir os parâmetros observados neste estudo.

Tabela 3 - Parâmetros Morfométricos da Bacia do Riacho Açaizal – MA.

Índices/Parâmetros	Valores e Unidades
Hierarquia Fluvial	
Ordem da bacia	4 ^a
Análise Areal	
Área da Bacia	179,50 km ²
Perímetro	77,04 km
Fator de Forma	0,31
Coefficiente de compacidade	1,61
Índice de circularidade	0,38
Densidade Hidrográfica	0,42 canais/km ²
Densidade de Drenagem	0,99 km/km ²
Análise Linear	
Comprimento do rio principal	25,15 km
Índice de sinuosidade	1,25
Extensão do percurso superficial	0,50

Elaboração: Dados Organizado pelos autores.

A tabela acima resume os dados morfométricos da bacia hidrográfica do Riacho Açaizal a fim de reunir os parâmetros observados neste estudo. Analisou-se a morfometria com base em quatro grandes grupos de análise; hierarquia fluvial, análise areal, linear e hipsométrica com destaque para o perfil longitudinal do Riacho Açaizal e o reconhecimento de trechos anômalos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste momento é importante ressaltar, a relevância dos estudos morfométricos, para auxiliar na compreensão da dinâmica dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica e que no ambiente se encontram interligados de maneira dinâmica. O presente artigo trouxe uma abordagem inovadora principalmente na metodologia onde procura-se disponibilizar parâmetros metodológicos para a realização de estudos morfométricos, em outras bacias hidrográficas, além do estudo de caso na bacia do riacho Açaizal-MA.

Destaca-se neste contexto, o inegável papel dos Sistemas de Informação Geográficos, como ferramenta indispensável as práticas dos profissionais licenciados ou bacharéis em Geografia para o desenvolvimento de suas análises não apenas morfométrias de bacias, como neste caso, mais em aplicações de naturezas diversas, já que estes SIG's têm demonstrado grande potencial de eficiência nos dados gerados. Assim, permitindo analisar grandes áreas, em intervalos de tempo relativamente curto.

Com relação à hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do riacho Açaizal, a ordem encontrada foi à quarta; com predominância de canais de primeira ordem, ou seja, efêmeros. Foram identificados 75 canais de primeira ordem, 16 canais de segunda ordem, 5 de terceira ordem e 1 pertencente à quarta ordem.

Quanto à análise e reconhecimento dos padrões de linearidade, a bacia do riacho Açaizal apresenta o comprimento do canal principal, com aproximadamente 25,15 km de extensão, este tendo como índice de sinuosidade o valor 1,25, o que mostra que este riacho, pode ser classificado como um canal regular tendendo a uniformidade e declaradamente é um riacho, em sua predominância, de baixas declividades.

Convém destacar na análise areal, a área da bacia com valor de 179,5 km² uma bacia relativamente pequena, bem como sua densidade de drenagem correspondente a 0,99 km/km² e densidade hidrográfica ou de rios com 0,42 canais/km² mostrando ser está uma bacia com baixo percentual de canais por quilômetro quadrado. Além das características do fator de forma (K_f) igual a 0,38, índice de circularidade (I_c) 0,38 e coeficiente de compacidade (K_c) igual a 1,61, da bacia que possibilitam melhor compreensão do formato desta.

Em se tratando de análise hipsométrica, a bacia do riacho Açaizal apresenta em seu perfil longitudinal (riacho Açaizal), trechos de instabilidade denominados anômalos (quebras naturais na hipsometria do terreno), presentes em toda a sua extensão. Isso associado aos índices de drenagem e sinuosidade dos canais, aponta para possíveis trechos de alagamento na bacia, principalmente, no médio e baixo curso, onde os canais são mais sinuosos, e os trechos anômalos são mais extensos e demonstra o potencial erosivo do riacho.

Portanto, a bacia do riacho Açaizal é uma bacia relativamente pequena, esse tipo de estudo torna-se pioneiro na Microrregião de Imperatriz. Este é um primeiro passo, numa tentativa de reconhecimento da área em questão, é importante lembrar que a área merece especial atenção da comunidade acadêmica local e este artigo contribui como uma ferramenta, que pode ser associada com outras variáveis do sistema ambiental, para entender sua dinâmica de funcionamento.

REFERÊNCIAS

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.

BARBOSA, Ronaldo dos Santos. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Riacho Açaizal em Senador La Rocque/MA**. 2010. 123f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfometria das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, Campinas. 9 (18): 35-64, dez 1969.

_____. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 2 ed. 1980.

CUNHA, S. B da. Bacias Hidrográficas. In: _____; GUERRA, A. J. T. (Org). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 229-272.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**, 2. ed. Revista e Atualizada, São Paulo: Editora Edgard Blucher. 1988.

MORAIS, A. C.; FERNANDES, T. C. Uso de sistema de informações geográficas na avaliação da influência antrópica na qualidade da água da bacia do rio Formate, ES. MORAIS, A. C.; SANTOS, A. R. (Org.). **Geomática e análise ambiental: aplicações práticas**. Vitória: EDUFES, 2007. p. 108-131.

NERY, C. V. M. Uso de Imagens do Satélite CBERS 2B para Detecção de Áreas Desmatadas no Norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO SIMGEO, 3., 2010, Recife. **Anais...**Recife: UFPE, 2010. p. 01-04.

SCHWAB, G.O.; A.K. FREVERT; T.W. EDMINSTER, K.K. BARNES, 1966. **Soil and Water Conservation Engineering**. John-Wiley & Sons. New York. 683 p.

SILVA, L.A.; NAZARENO, N.R.X.. Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como área de estudo a imagem da cidade de Goiânia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 1723-1730. <Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1079.pdf>> Acesso em: 10 Ago. 2013.

TEODORO, V. L. I; TEXEIRA, D; COSTA, D. J. L; FULLER, B. B. Conceitos de Bacias Hidrográficas e a Importância da Característica Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **REVISTA UNIARA**, n.20, p.137 -156. 2006.

TONELLO, K.C; DIAS, T.H.C; SOUSA, A.L; RIBEIRO, C. A.A.S; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cacheira das Pombas, Guanhões – MG. R. **Árvore**, Viçosa –MG, n. 5, p. 849-857, 2006.

Recebido: 23/02/2014

Aceito: 01/05/2014