

Caracterização hidromorfológica da Bacia do Igarapé do Educandos e a correlação com registros de ocorrências da Defesa Civil

Edileuza de Melo Nogueira¹

Tahisa Neitzel Kuck¹

Marcelo Parise¹

¹ Sistema de Proteção da Amazônia – Centro Regional de Manaus SIPAM/CR-MN
Av. Turismo s/n – 69000-000 - Manaus - AM, Brasil
edileuza.melo@sipam.gov.br

Abstract. The morphometric characterization of Educandos Stream is possible by the use of geotechnologies that reveal the physiography behavior. The objective of this research is to study the morphological parameters that affect the hydrological activity of Educandos Stream basin. With MDE delimited from there cut was possible the investigation of parameters such as linearity, area, length, and finally establish the hypsometric of Mundaú River basin. The hypsometric analysis of this basin revealed the values of the Atimetry Amplitude basin, 94 meters, the Relation of Relief, equivalent to $13,84.10^{-3}$ and the Index of Rugosity of the basin, corresponding to 4,33. It was concluded that Educandos Stream basin has considerable variation in its area, provided by the linearity and the hypsometric factors of the basin, which contributes to the occurrence of floods in various parts of the basin.

Palavras-chave: morfometria, geotecnologias, bacias urbanas, hidrologia.

1. Introdução

A análise hidromorfológica de bacias hidrográficas é a análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial, de um conjunto de vertentes e canais que compõem o relevo, sendo os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos (Christofolletti, 1980). Assim, a análise morfométrica estabelece as relações entre os parâmetros mensuráveis de uma bacia hidrográfica e os seus condicionantes.

Segundo Christofolletti (1980), as características fundamentais estudadas na análise hidromorfológica são: área, comprimento da drenagem e declividade.

A análise hidromorfológica de bacias hidrográficas por meio de Modelo Digital de Elevação - MDE, tanto de dados ASTER quanto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission / Missão Topográfica do Radar Shuttle), é uma prática que vem sendo amplamente difundida no meio acadêmico, principalmente por sua confiabilidade e praticidade na obtenção de resultados (Cardoso et.al., 2010).

No que se refere à inundação causada pela urbanização ou pela drenagem urbana, ela pode ser entendida com base na análise da ocupação e, conseqüentemente, da impermeabilização. Na medida em que a população impermeabiliza o solo e acelera o escoamento por meio de condutos e canais, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era mais permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural (Tucci, 2007).

No município de Manaus/AM, destacam-se quatro bacias hidrográficas urbanizadas que, de acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMMAS (Manaus, 2007) são: Bacias Hidrográficas do Tarumã e do Puraquequara, que estão parcialmente inseridas na malha urbana manauara, e Bacias do São Raimundo e do Educandos que se encontram integralmente no perímetro urbano de Manaus.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é caracterizar a hidromorfologia da bacia do Igarapé do Educandos visando quantificar os parâmetros físicos e morfológicos que

interferem no seu comportamento hidrológico e correlacionar com os eventos registrados pela Defesa Civil no período de 2006 a 2014.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 A Bacia do Igarapé do Educandos

A bacia hidrográfica do Igarapé do Educandos possui área total de 46,14 km² e perímetro de 48,11 km (Figura 1). Ela está localizada na área urbana do município de Manaus/AM, e corresponde a 10,22% do total do perímetro urbano. A área de drenagem da bacia envolve 22 bairros, dos quais 14 estão totalmente inseridos na bacia.

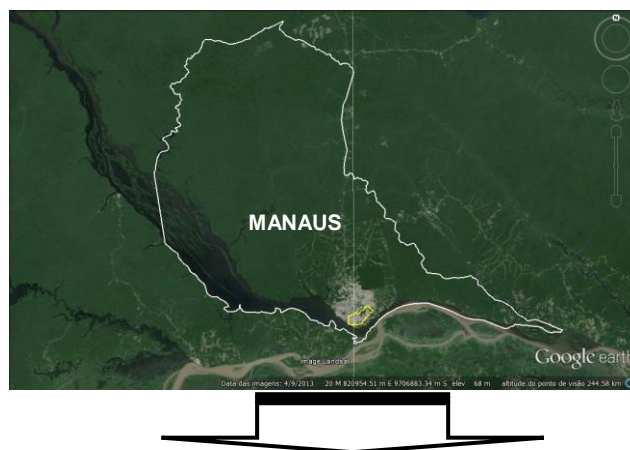


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Igarapé do Educandos na área urbana de Manaus/AM. (Fonte: Google Earth).

Manaus tem população de 1.802.525 hab. e encontra-se a 03°08' S e 60°00' W à altitude de 21 m acima do nível do mar à margem esquerda do rio Negro, próximo de sua confluência com o rio Solimões. Está situada sobre a Formação Alter do Chão, de idade cretácea. O

holoceno está representado por depósitos aluvionares ao longo dos rios e igarapés (Silva, 1999; IBGE, 2010).

Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo quente úmido. A temperatura média anual é de 25,6°C e o índice pluviométrico médio anual é de 2.300 mm. A umidade do ar é alta e os meses com maior (inverno) e menor (verão) intensidade pluviométrica são de novembro a abril e junho a outubro, respectivamente (Prance & Lovejoy, 1985).

A cidade é recortada por uma densa malha de igarapés que formam o sistema fundamental das bacias de drenagem (Figura 1). A precariedade das moradias nas margens desses igarapés, despejando parte do lixo e esgotos sanitários nessas águas, e o lançamento de despejos de origem industrial, provocam impactos ambientais, verificados através das análises físico-químicas destas águas (Silva, 1996; Elias & Silva, 2001).

2.2 Delimitação da bacia e aquisição de dados

O mapa de elevação do terreno pode ser obtido por meio dos modelos digitais de elevação (MDE), que são representações matriciais do terreno com valores de altimetria para cada elemento de área (Lima, 2011).

Neste trabalho o MDE foi gerado no software ArcGIS® a partir das ferramentas “Topo to Raster” para a geração do modelo de grade regular, e “Create Tin From Features”, na extensão 3D Analyst, para a geração do TIN, adotando-se o método de interpolação de Delaunay utilizando grade irregular triangular – TIN.

O dado de entrada utilizado para criar o modelo foram as curvas de nível com equidistância de 1 metro, obtidas no levantamento realizado para o Plano Diretor da cidade de Manaus.

O MDE da área de estudo, a partir das curvas de nível, pode ser observado na Figura 2.

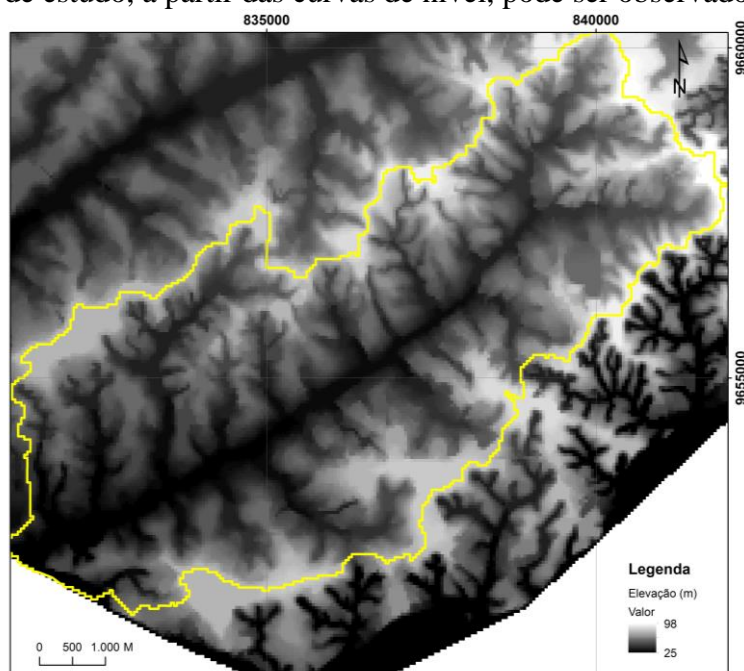


Figura 2. Modelo digital de elevação da área de estudo.

A extração da drenagem foi feita com o aplicativo TerraViewHidro, utilizando o acúmulo das feições do MDE, as regiões mais baixas e/ou para onde se direciona o fluxo hipsométrico. O contorno do “acúmulo” representa a hidrografia, ou seja, o curso do rio.

A rede hidrográfica da área de estudo gerada automaticamente passou por um processo de edição manual, com base em imagens do Satélite IKONOS-2 disponíveis no banco de imagens do Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM).

Com a rede hidrográfica traçada, o polígono da bacia foi delimitado e também foram obtidas as informações referentes a área e perímetro da bacia, bem como o comprimento do curso d'água principal.

2.3 Metodologia para o estudo morfométrico da bacia do Igarapé do Educandos

Segundo Veiga (2011), o estudo morfométrico da bacia é dividido em 3 parâmetros: linear, zonal e hipsométrico. Os parâmetros lineares quantificam a rede de drenagem por meio de seus atributos (comprimento, número, hierarquia) e da relação entre eles, sendo dados por: hierarquia fluvial, relação de bifurcação, relação entre o comprimento dos canais de cada ordem, relação entre os gradientes dos canais e índice de sinuosidade do canal principal.

Os parâmetros zonais quantificam os atributos da bacia hidrográfica correlacionando-os a valores ideais e à rede de drenagem da mesma área de estudo, sendo dados por: densidade de drenagem, densidade hidrográfica, relação entre área de bacias e coeficiente de manutenção.

Os parâmetros hipsométricos correlacionam a variação altimétrica à área e a rede de drenagem de uma mesma bacia, sendo representados pela amplitude altimétrica e relação de relevo.

Na Tabela 1, estão relacionados os parâmetros morfométricos obtidos para área de estudo com as respectivas equações.

Tabela 1. Relação dos parâmetros morfométricos.

	Parâmetro	Definição	Equação
Análise linear	Hierarquia fluvial (H_f)	Ordenação dos canais fluviais dentro de uma bacia hidrográfica.	H_f
	Relação de bifurcação (R_b)	Razão entre o número total de canais de certa ordem e o número total de canais de ordem imediatamente superior.	$R_b = \frac{Nu}{Nu + 1}$
	Índice de sinuosidade do canal principal (I_s)	Relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante, medida em linha reta, e o comprimento do canal principal.	$I_s = \frac{100(L - eV)}{L}$
	Comprimento do canal principal (L)	Distância que se estende ao longo do curso d'água desde a nascente principal até a foz.	L
	Extensão do percurso superficial (Eps)	Distância média percorrida pelas enxurradas entre o interflúvio e o canal permanente.	$Eps = \frac{1}{2Dd}$
	Gradiente dos Canais (G_c)	Relação entre a diferença máxima de altitude entre o ponto de origem e o término com o comprimento do respectivo segmento fluvial	$G_c = Alt_{max} - Alt_{min}$
Análise areal	Área da Bacia (A)	Área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, projetada em plano horizontal.	A
	Comprimento da Bacia (C)	Distância medida, em linha reta, entre a foz e o mais alto ponto situado ao longo do perímetro.	C
	Relação entre o comprimento do rio principal e área da bacia	Calculado conforme a seguinte expressão (Christofolletti, 1980).	$L = 1,5A^{0,6}$
	Forma da bacia (I_f)	É obtida a partir de uma figura geométrica que possa cobrir da melhor forma possível a referida bacia.	$I_f = 1 \frac{(areaKnL)}{(areaKuL)}$
	Densidade dos rios (Dr)	É a relação existente entre o número de Rios ou cursos de água e a área da bacia.	$Dr = \frac{N}{A}$
	Densidade de drenagem (Dd)	Correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia.	$Dd = \frac{Lt}{A}$
	Coefficiente de Manutenção (Cm)	Fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento.	$Cm = \frac{1}{Dd} 1000$
Análise	Amplitude altimétrica (H_m)	Diferença altimétrica entre a altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica.	$H_m = P_1 - P_2$

Relação de relevo (Rr)	Relação entre a amplitude altimétrica máxima da bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem.	$Rr = \frac{Hm}{A^{0,5}}$
Índice de rugosidade (Ir)	Combina as qualidades da declividade e comprimento das vertentes com a densidade de drenagem.	$Ir = H Dd$

2.4 Ocorrências dos eventos registrados pela Defesa Civil no período de 2006 a 2014

Uma das fontes de dados utilizadas na identificação das ocorrências de alagamentos, deslizamentos e desabamentos, foram os registros disponibilizados pela Defesa Civil, cujas ocorrências são registradas após denúncia/reclamação dos habitantes e validadas após vistoria de um técnico do órgão. Elas referem-se aos anos de 2006 a 2014, e foram organizadas em planilhas com os seguintes campos: itens / data / ocorrência / tipo de ocorrência / bairro / complemento / endereço, conforme exemplo no Quadro 1.

Quadro 1. Demonstração do arquivo fornecido pela Defesa Civil, com os registros de ocorrências.

ITENS	Data	Ocorrência	Tipo Ocorrência	Zona	Bairro	Complemento	Endereço
2763	15/12/2006	2006/02764	Alagação	Centro-sul	Adrianópolis	Adrianópolis	RUA EFIGÊNIO SALES, Nº95 (FUNDOS)
692	24/04/2006	2006/00690	Alagação	Leste	Armando Mendes	Armando Mendes	RUA VIEIRA DE BRITO N.23
1300	26/06/2006	2006/01298	Alagação	Leste	Armando Mendes	Armando Mendes	RUA CCE Nº190 COMUNIDADE CHARP
1765	19/08/2006	2006/01766	Alagação	Leste	Armando Mendes	Armando Mendes	AV. ITACOLOMY Nº 15 QD 58 A
1769	19/08/2006	2006/01770	Alagação	Leste	Armando Mendes	Armando Mendes	RUA ITACOLOMY, Nº 15, QUADRA 58 A

De posse desta base de dados, as informações das ocorrências foram integradas no SIG, considerando a localização do bairro, devido a ausência das coordenadas geográficas de cada registro.

3. Resultados e Discussão

A maior parte dos resultados foi obtida por meio de equações numéricas e, a outra parte, em um programa de Sistema de Informação Geográfica. A análise morfológica e os cálculos de perímetro e área foram obtidos através de ferramentas hidrológicas do software ArcGis® e TerraViewHidro. Os resultados foram, posteriormente, descritos e transpostos em documentos cartográficos e tabelas visando melhor compreensão do estudo realizado na bacia.

3.1 Hierarquia fluvial e ordem dos canais na bacia do Igarapé do Educandos

Segundo a classificação de Strahler (1952) o Igarapé do Educandos compreende um canal de 3ª ordem. A Tabela 2 descreve a quantidade de canais de 1ª, 2ª e 3ª, ordens e os seus respectivos comprimentos (km) e densidade.

Tabela 2. Ordem dos canais, quantidade de canais, comprimento linear e densidade de canais por ordem na bacia do Igarapé do Educandos.

	Ordem dos Canais			Total
	1	2	3	
Quantidade	88	46	29	163
Comprimento linear	44.939,04	19.994,85	12.419,92	77.353,81
Comprimento médio dos canais	510,67	434,67	428,27	1.373,61

3.2 Sumário hidromorfométrico da bacia do Igarapé do Educandos

Com relação aos parâmetros analisados à área de estudo, apresenta uma superfície de 46,14 km² e comprimento total da bacia é de 11,97 km, considerando a maior distância encontrada em linha reta até a foz do igarapé. Apresenta 88 canais de primeira ordem, evidenciando a presença de nascentes no equivalente a 53,9% de sua rede de drenagem.

A densidade de drenagem é de 1,68 km⁻¹, considerada baixa, demandando um coeficiente de manutenção de 59,5 m, evidenciando uma preocupação com a conservação das áreas de recarga e com as matas ciliares. A bacia apresenta amplitude altimétrica de 94 m, com declividade média de 5,92 graus, considerada baixa, de declive plano e suave, com escoamento superficial lento ou médio.

O coeficiente de rugosidade é de 4,33 (baixo). Tem uma relação importante com os parâmetros hidrológicos, tais como: maior infiltração da água, maior umidade do solo, regulação do tempo do escoamento superficial e baixa concentração da água das chuvas no canal principal. O Padrão de drenagem é do tipo dentrítico, característico de planícies de inundação, desenvolvido sobre estruturas sedimentares horizontais.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos no estudo hidromorfológico da bacia do Igarapé do Educandos.

Tabela 3. Sumário hidromorfométrico da bacia do Igarapé do Educandos.

Hidromorfologia da bacia do Igarapé do Educandos		Valores obtidos
Linear	Relação de bifurcação (<i>Rb</i>) – (média)	1,70
	Índice de sinuosidade do canal principal (<i>Is</i>)	12,39 %
	Comprimento do canal principal (<i>L</i>)	12.419,92 km
	Extensão do percurso superficial (<i>Eps</i>)	0,30 km
	Gradiente dos Canais (<i>Gc</i>)	50 m
Areal	Área da Bacia (<i>A</i>)	46,14 km ²
	Comprimento da Bacia (<i>C</i>)	11,97 km
	Relação entre o comprimento do rio principal e área da bacia	3,71.10 ⁻³ km ⁻¹
	Forma da bacia (<i>If</i>) - Elipse	0,66
	Densidade dos rios (<i>Dr</i>)	3,53 km ⁻²
	Densidade de drenagem (<i>Dd</i>)	1,68 km ⁻¹
	Coeficiente de Manutenção (<i>Cm</i>)	59,5 m
Hipsométrico	Amplitude altimétrica (<i>Hm</i>)	94 m
	Relação de Relevo (<i>Rr</i>)	13,84.10 ⁻³
	Índice de rugosidade (<i>Ir</i>)	4,33

3.3 Ocorrências dos eventos registrados na área de estudo

A cidade de Manaus (CPRM, 2012) apresenta locais de risco de desastres naturais, tanto em termos de deslizamento, como alagamentos, além de incontáveis áreas insalubres.

De acordo com as informações da Defesa Civil do Município, as áreas sujeitas a alagações por chuvas intensas são constituídas, principalmente, pelas partes baixas dos bairros do Armando Mendes, Betânia, Cachoeirinha, Centro, Coroado, Crespo, Distrito Industrial I e II, Educandos, Japim, Morro da Liberdade, Praça 14 de Janeiro, Raiz, Santa Luzia, São Lázaro e Zumbi dos Palmares.

A Figura 3, expressa a quantidade de ocorrências registradas no ano de 2012, que representou a maior cheia registrada na série histórica, com 110 anos de tempo de recorrência, tendo causado muitos prejuízos econômicos, sociais e ambientais a população da cidade de Manaus.

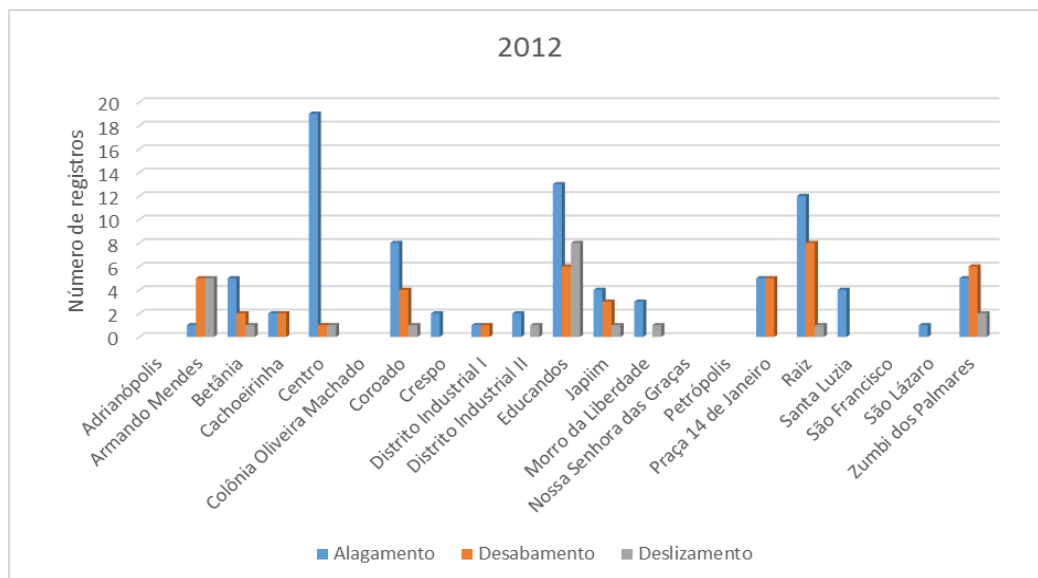


Figura 3. Distribuição por bairro contidos na bacia das ocorrências de alagamento, desabamento e deslizamento registrados em 2012.

A população dos bairros que estão contidos na bacia estão distribuídos no intervalo correspondente de 5.000 hab a maior que 50.000 hab, representando para área total da bacia uma adensamento principalmente nos bairros do Japim e Coroado (Figura 4).

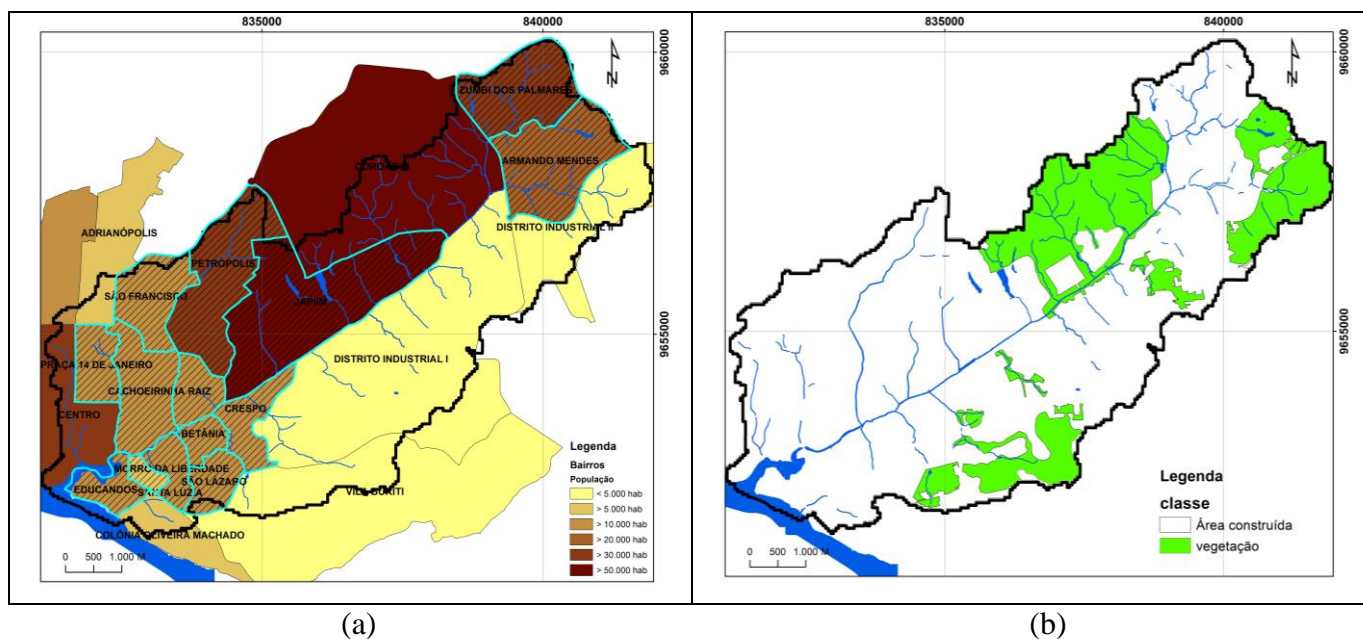


Figura 4. (a) Distribuição da População e (b) Área construída e área com vegetação na bacia do Igarapé do Educandos.

4. Conclusões

Neste trabalho, analisou-se toda a linearidade, hipsometria e área de abrangência da bacia hidrográfica do Igarapé do Educandos e desta forma, considerou-se que o estudo dos parâmetros morfométricos são importante para compreender e correlacionar as características desta bacia com as ocorrência de alagamentos, desabamentos e deslizamentos que ocorreram no período de 2006 a 2014.

O alto grau de urbanização, canalização dos rios e impermeabilização do solo da área da bacia, devido a quantidade de área construída e pouca vegetação, podem interferir agravando a dinâmica das

cheias. Portanto, o reordenamento da ocupação urbana, o saneamento básico e as medidas de combate as cheias de uma forma geral, são metas que o poder público tem que continuar a realizar.

Agradecimentos

Secretaria Executiva de Proteção e Defesa Civil – SEPDEC
Centro Gestor e Operacional do Sistema de proteção da Amazônia – CENSIPAM

Referências Bibliográficas

- Cardoso, M. R. D.; Marcuzzo, F. F. N.; Cálculo da área de drenagem e perímetro de sub-bacias do rio Araguaia delimitadas por MDE utilizando imagens ASTER. Anais II Simpósio Internacional Caminhos da Cartografia na Geografia: O Mapa como forma de expressão das geografias, São Paulo, Brasil, 01-04 Dezembro, USP, v.1, n. 1, 2010.
- Christofolletti, A. *Geomorfologia*. 2 ed., São Paulo, SP: Edgard Blucher. 188 p. 1980.
- IBGE. 2010. “*Dados do Censo 2010 publicados dia 04/11/2010*”. Disponível em <http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php> Acesso 05/2014.
- CPRM. Relatório da Cheia 2012. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial – DHT. Departamento de Hidrologia – DEHID. Unidade Regional – SUREG-MA. 2012.
- Elias, A.S.S.; Silva, M.S.R. Hidroquímica das águas e quantificação de metais pesados nos sedimentos das bacias hidrográficas de área urbana de Manaus, que deságuam no rio Negro. In: X Jornada de Iniciação Científica do PIBIC/INPA, 2001, Manaus. Anais. Manaus: INPA, p. 402-05. 2001.
- Lima, L. S. Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica EGO. 108 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2011.
- Marcuzzo, F. F. F.; Cardoso, M. R. D.; Romero, V. “Caracterização Hidromorfológica da Bacia do Vale do Itajaí” in Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, Nov.2011.
- Prance, G. T.; Lovejoy, T. E. *Amazônia: Key environments*. Oxford: Pergamon Press, p.4. 1985.
- Silva, M.S.R. Metais pesados em sedimentos de fundo de igarapés (Manaus-Am). Belém, Universidade Federal do Pará. 120p. Dissertação (Mestrado Geoquímica Ambiental) – Universidade Federal do Pará, 1996.
- Silva, M. L. Hidroquímica elementar e dos isótopos de urânio no aquífero de Manaus – Am. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista. 82 p. Dissertação (Mestrado em Conservação e Manejo de Recursos) - Centro de Estudos Ambientais/ Universidade Estadual Paulista. 1999.
- Strahler, A.N. “*Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*”. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 38, pp. 913-920. 1952.
- Tucci, C. M. Inundações Urbanas. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.
- Veiga, A. M.; Formiga, K. T.; Lino, N. C.; Cardoso, M. R. D.; “Caracterização Hidromorfológica da Bacia do Rio Vermelho”. In: XI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do Nordeste, João Pessoa, 2011.