

Eixo Temático ET-05-012 - Recursos Hídricos

DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE

Leandro Obadowiski Bruno¹, Ibraim Fantin-Cruz²

¹Analista de Meio Ambiente - Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Mato Grosso. E-mail: obadowiski@gmail.com.

²Professor – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos - PPGRH/UFMT.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar a delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando software livre. Para isto, o procedimento metodológico envolveu três etapas: aquisição dos dados importantes para o trabalho, tratamento destes dados, a partir de técnicas de geoprocessamento. Por fim, o cálculo dos parâmetros morfométricos, que possibilitou compreender a área objeto de estudo. Todo o processamento foi realizado em meio digital, empregando-se o software livre GRASS GIS.

Palavras Chave: bacia hidrográfica; morfometria; sistemas de informações geográficas.

INTRODUÇÃO

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007).

No Brasil, a bacia hidrográfica é legalmente estabelecida como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sendo que a fixação dessas unidades envolve a abrangência de aplicação de seus instrumentos como enquadramento dos corpos d'água, outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos (DE FREITAS et al., 2012).

Conforme Moreira; Serra (2017) relatam, existem inúmeros trabalhos dedicados à caracterização morfométrica de bacias hidrográficas. Contudo, quase inexistem trabalhos que comparam ou analisam as metodologias ou procedimentos metodológicos que os autores vêm utilizando na realização desses estudos, o que seria importante, considerando que há divergências metodológicas entre eles.

Os trabalhos apresentados no Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - CONGESTAS, utilizam-se do mesmo aplicativo – o *ArcGis*, desenvolvido pela *ESRI (Environmental Systems Research Institute)* – manipulado para a investigação de aspectos morfométricos de bacias hidrográficas (PEREIRA et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2015; FARTO; PEREIRA, 2016; MEDEIROS et al., 2016; ROCHA E SANTOS, 2016).

A realização do presente trabalho surge da necessidade de se testar e validar alternativas que contribuam para a identificação de bacias hidrográficas. Destacam-se, neste sentido, as capacidades de processamento e de utilização dos softwares livres, os quais têm aumentado consideravelmente nos últimos anos (Milaré et al., 2016), demonstrando ainda potencialidades promissoras para o gerenciamento dos recursos hídricos (Bruno, 2017).

Dentre as aplicações livres para sistemas de informações geográficas (SIGs), é possível citar alguns softwares especializados, independentes ou integrados, como OSSIM, Orfeo ToolBox, Opticks e GRASS GIS (Rocchini et al., 2017). De acordo com (Neteler et al., 2012), o GRASS GIS se destaca por ser o SIG livre com mais tempo de desenvolvimento, provido com poderosas ferramentas de análise espacial.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo realizar a delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando software livre.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O Rio Manso é um dos principais formadores do rio Cuiabá, que por sua vez é afluente da margem esquerda do rio Paraguai, e desta forma participa de modo significativo do sistema hidrológico das águas da bacia do Alto Paraguai/Pantanal (SANTOS; ALVES, 2014). São seus principais contribuintes, e também formadores do lago de Aproveitamento Múltiplo (APM) de Manso, os rios Palmeiras, Roncador, Casca e Quilombo. Definiu-se a área de drenagem do rio Manso em Mato Grosso como unidade a ser estudada em razão da sua importância regional.

Aquisição dos dados

Foram utilizados produtos cartográficos disponibilizados de forma aberta na internet, tais como: divisão territorial (IBGE, 2015), Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (BRASIL, 2017) e Modelo Digital de Elevação (MDE) baseado nos dados *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM (USGS, 2016).

Tratamento dos dados

O processamento dos dados foi realizado em meio digital com auxílio do Sistema de Informação Geográfica GRASS GIS - *Geographic Resources Analysis Support System* – versão 7.2 (GRASS DEVELOPMENT TEAM, 2017; LÖWE et al., 2017) que permitiu a manipulação, edição, leitura e apresentação dos dados.

Inicialmente, procedeu-se com o preenchimento dos vazios do MDE utilizando o comando *r.fillnulls* (NETELER, 2005), optando-se pelo algoritmo de interpolação por *Regularized Splines with Tension* (RST) (MITASOVA; HOFIERKA, 1993; MITASOVA; MITAS, 1993).

Após o preenchimento dos vazios do *raster*, realizou-se um refinamento do MDE a partir da remoção das depressões espúrias. Para este procedimento, foi executada a ferramenta *r.fill.dir* (Srinivasan, 2008), que conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas quanto a remoção de dados espúrios relativos a regiões de depressões ou de elevações (Hutchinson, 1989), tendo em vista que as depressões no MDE impedem o escoamento superficial da água, gerando imperfeições no modelo e prejuízos para a definição do escoamento, que deve ser direcionado à jusante da bacia hidrográfica.

Obtenção dos parâmetros morfométricos

Para a obtenção dos parâmetros morfométricos procedeu-se com a manipulação do MDE corrigido: primeiramente executou-se o módulo *r.watershed* com a finalidade de obtenção da direção de fluxo do escoamento, o que possibilitou a definição do sistema de drenagem a partir do módulo *r.stream.extract* (JENSON; DOMINGUE, 1988; JASIEWICZ; METZ, 2011). Por fim, utilizou-se o módulo *r.basin*, desenvolvido por Di Leo; Di Stefano (2013), para a execução de várias ferramentas hidrológicas simultaneamente, conhecidas como **r.streams* (JASIEWICZ; METZ, 2011).

Como resultado deste processo de análise do MDE foram executados o cálculo do fluxo acumulado, delimitados os limites da bacia e extraída a rede de drenagem. Com base nesses mapas, calculou-se automaticamente fatores de forma e parâmetros morfométricos para a bacia, como o diâmetro topológico, densidade de drenagem, índices de Horton, Tempo de Concentração e outras estatísticas do sistema de drenagem. A Figura 1 ilustra as etapas metodológicas abordadas neste estudo.

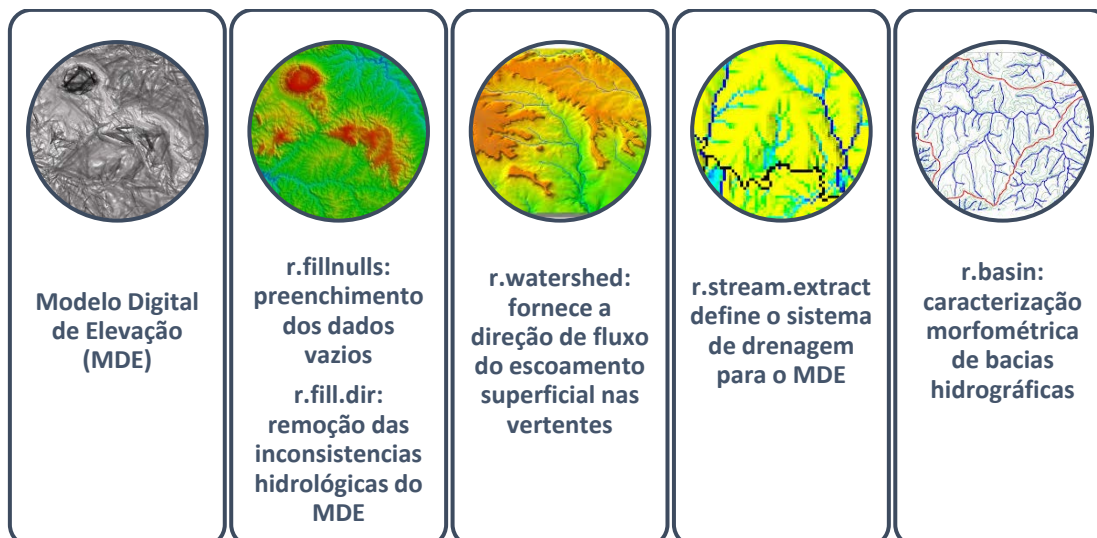


Figura 1. Procedimento metodológico empregado para delimitar automaticamente a bacia do rio Manso.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O procedimento metodológico adotado possibilitou verificar que o rio Manso possui suas nascentes localizadas na região do Planalto dos Guimarães, em altitudes não superiores a 904 metros. O rio principal percorre aproximadamente 321 km de extensão com uma declividade média de 1,15 % até desaguar no rio Cuiabazinho, na cota de 197 metros (Figura 2). A bacia possui aproximadamente 10.773 km², sendo o principal tributário do rio Cuiabá. A Tabela 1 apresenta os principais parâmetros morfométricos obtidos neste estudo.

A ordenação dos cursos d'água permitiu a caracterização da hierarquia dos canais fluviais e do grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia de forma automática. De acordo com a ordenação proposta por (Strahler, 1957), que estabelece um aumento sucessivo do número de ordem ao longo de um determinado sistema de drenagem, foram identificados 4.862 corpos d'água, englobando rios de até 7^a ordem de drenagem.

Este primeiro parâmetro tem influência direta no índice de densidade de drenagem, referenciado por Villela e Mattos (1975), como indicativo do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem, com valores que variam de 0,50 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km/km² para bacias excepcionalmente bem drenadas. Para este levantamento o valor obtido foi de 0,7 km/km², indicando, portanto, que a bacia do rio Manso é caracterizada pela regular capacidade de drenagem.

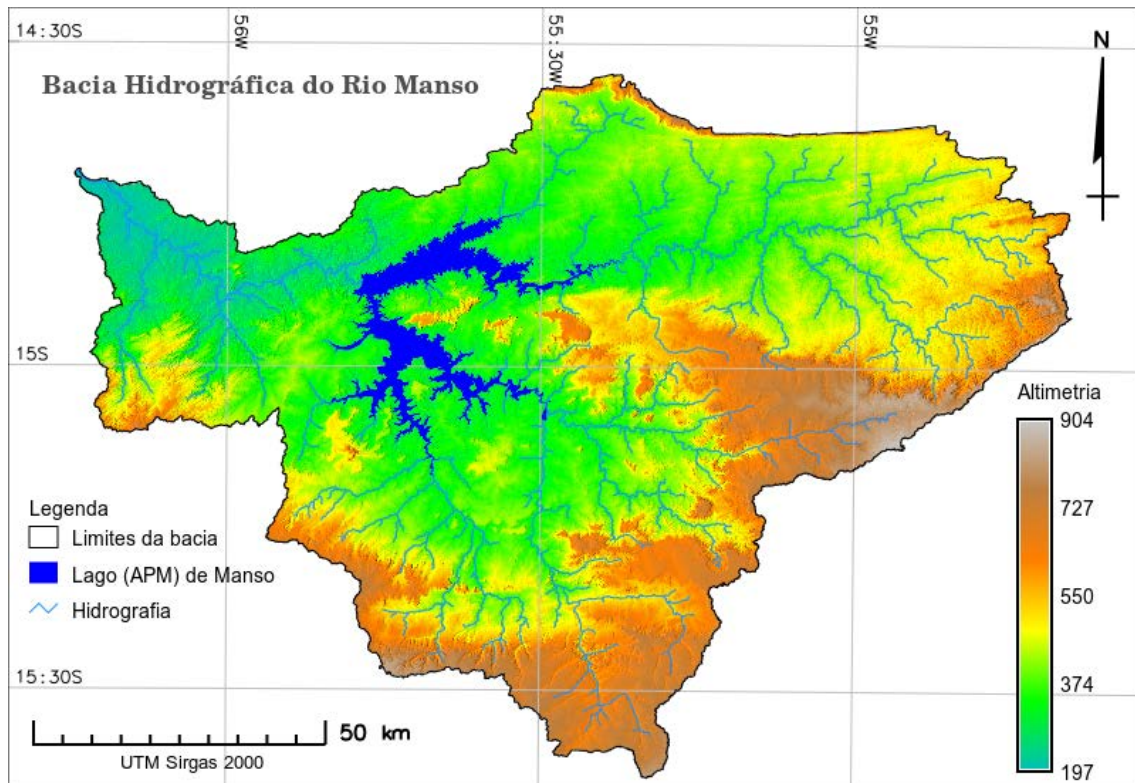


Figura 2. Localização da bacia hidrográfica do rio Manso.

Dados similares foram observados por Cândido e Santos (2011) que, ao estudarem a bacia do rio Manso utilizando o software *ArcGis*, com base em um MDE TOPODATA, obtiveram 44 sub-bacias de rios de 2ª ordem de drenagem e 11 rios de quarta ordem de drenagem, indicando que, as sub-bacias do rio Manso, tanto de segunda ordem quanto de quarta ordem, apresentam baixa densidade de drenagem e baixa frequência de rios, índices estes que favorecem a infiltração em condições normais de precipitação.

Pode-se afirmar também que a área estudada se mostrou pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, pelo fato do índice de circularidade (IC) exibir um valor extremamente baixo (0,21), corroborando com os resultados obtidos por Andrade et al. (2008).

Para Tonello et al. (2006), a declividade é relevante no planejamento, tanto para com o cumprimento da legislação ambiental, quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio e influenciando na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo. Esse fator relaciona-se com a mensuração da susceptibilidade à erosão dos solos. Utilizando o software *ArcGis* Xavier (2009) e Xavier et al. (2010) obtiveram para a bacia do rio Manso um valor de 10.553 km² com predominância do relevo plano (0 a 3%), composição de aproximadamente 70% da bacia. Para o presente estudo, a declividade média da bacia foi de 4,92.

Dentre as características morfométricas analisadas, o fator de forma (Ff) (33,48) apresentou valores discrepantes dos demais estudos realizados na bacia do rio Manso. Por esta razão, recomenda-se a obtenção deste parâmetro morfométrico conforme metodologia pormenorizada por Cunha e Silva et al. (2016), em substituição ao valor obtido com o módulo *r.basin* do GRASS, de modo a se obter um valor entre 0 a 1, de acordo com a proposta de (VILLELA; MATTOS, 1975).

Tabela 1. Principais características morfométricas obtidas no estudo.

Características Morfométricas	
Área de Drenagem (km ²)	10.773,46
Perímetro (km)	800,58
Comprimento do rio principal (km)	321,69
Declividade média do rio Principal %	1,15
Comprimento total dos rios (km)	7.635,61
Número total de rios da bacia	4.862,00
Ordem da bacia	7
Densidade de drenagem (km.km ⁻²)	0,70
Declividade Média da bacia	4,92
Altitude máxima (m)	904
Altitude mínima (m)	197
Diferença de Altitude (m)	707
Coeficiente de compacidade (kc)	2,22
Fator de Forma (Ff)	33,48
Índice de circularidade (IC)	0,21
Tempo de concentração (h)	42,20

CONCLUSÕES

A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos permitiram concluir que a bacia do rio Manso possui a forma alongada, evidenciando menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade anual.

Os resultados obtidos não apresentaram significativas discordâncias com os obtidos em outras modalidades de caracterização morfométrica aplicadas na bacia do rio Manso, revelando que a metodologia utilizada é viável e consistente para avaliação de bacias hidrográficas.

O GRASS oferece muitas funcionalidades fornecidas por feições nativas e complementos, sendo uma alternativa viável para aqueles usuários que não podem arcar com Sistemas de Informações Geográficas disponíveis comercialmente e/ou para aqueles que desejam desenvolver seus modelos acoplados a um SIG.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, N. L. R. D.; XAVIER, F. V.; ALVES, É. C. R. D. F.; SILVEIRA, A.; OLIVEIRA, C. U. R. D. Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso-MT. *Geociências*, v. 27, n. 2, p. 237-248, 2008.
- BRASIL. **Unidades Estaduais de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UEPGRH)**. Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA, 2017. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 21 mar. 2017.
- BRUNO, L. O. GRASS: A free and open source solution for hydrographic body analysis. *Nativa*, v. 5, n. 1, p. 24 - 30, 2017. <https://doi.org/10.5935/2318-7670.v05n01a04>
- CÂNDIDO, A. K. A. A.; SANTOS, J. W. M. C. Avaliação de métodos de delimitação automática de sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Manso-MT a partir de MDE. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, p. 1121-1128, 2011.
- SILVA, D. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; ABREU SALES, J. C.; LOURENÇO, R. W. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 2, p. 627-642, 2016.
- FREITAS, E. P.; KLOSS, D.; DA SILVA, I. R. Delimitação de bacia hidrográfica no ambiente Google Earth. *Irriga*, v. 1, n. 1, p. 97, 2012. <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p97>
- DI LEO, M.; DI STEFANO, M. An open-source approach for catchment's physiographic characterization. *AGU Fall Meeting Abstracts*, v. 1, p. 6, 2013.

FARTO, C. D.; PEREIRA, S. T. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Peixe -Paraíba. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Congestas*, v. 4, p. 12, 2016.

GRASS DEVELOPMENT TEAM. **Geographic Resources Analysis Support System**. 2017. Disponível em: <<http://grass.osgeo.org/>>. Acesso em: 06 maio 2016.

HUTCHINSON, M. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, v. 106, n. 3/4, p. 211-232, 1989.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>.

JASIEWICZ, J.; METZ, M. A new GRASS GIS toolkit for Hortonian analysis of drainage networks. *Computers & Geosciences*, v. 37, n. 8, p. 1162-1173, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.03.003>

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

LÖWE, P.; NETELER, M.; GOEBEL, J.; TULLNEY, M. Towards OSGeo Best Practices for Scientific Software Citation: Integration Options for Persistent Identifiers in OSGeo Project Repositories. Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G) Conference Proceedings, 2017. p.29.

MEDEIROS, V. N. D.; VEECK, S.; BEZERRA, T. P. Caracterização morfométrica utilizando plataforma SIG a partir de imagens SRTM para a bacia hidrográfica do rio Gramame, PB. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Congestas*, v. 4, p. 9, 2016.

MILARÉ, G.; DA SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Cenário do Uso de Software Livre em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) no Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 39, n. 3, p. 111-115, 2016. https://doi.org/10.11137/2016_3_111_115

MITASOVA, H.; HOFIERKA, J. Interpolation by regularized spline with tension. II: Application to terrain modeling and surface geometry analysis. *Mathematical Geology*, v. 25, n. 6, p. 657-669, 1993.

MITASOVA, H.; MITAS, L. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Mathematical Geology*, v. 25, n. 6, p. 641-655, 1993.

MOREIRA, L. L.; SERRA, J. C. V. Avaliação de metodologias utilizadas em estudos morfométricos de bacias hidrográficas. *Revista Agrogeoambiental*, v. 9, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v9n12017943>

NASCIMENTO, J. J. D. S.; SILVEIRA, T. D. A.; PEREIRA, F. C. Delimitação automática da bacia hidrográfica do Rio Picuí através de dados SRTM. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Congestas*, v. 3, p. 7, 2015.

NETELER, M. r.fillnulls. **Geographic Resources Analysis Support System**, 2005. Disponível em: <<https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.fillnulls.html>>. Acesso em: 10 maio 2016.

NETELER, M.; BOWMAN, M. H.; LANDA, M.; METZ, M. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling & Software*, v. 31, p. 124-130, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014>

PEREIRA, D. D. S.; LIMA, A. P.; FARIAS, M. S. S. Caracterização física da microbacia do riacho das cobras, Santo André-PB e Gurjão-PB. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Congestas*, v. 1, p. 5, 2013.

ROCCHINI, D.; PETRAS, V.; PETRASOVA, A.; CHEMIN, Y.; RICOTTA, C.; FRIGERI, A.; LANDA, M.; MARCANTONIO, M.; BASTIN, L.; METZ, M.; DELUCCHI, L.; NETELER, M. Spatio-ecological complexity measures in GRASS GIS. *Computers & Geosciences*, v. 104, p. 166-176, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.05.006>

ROCHA, V. N. L. D.; SANTOS, C. A. G. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Nazaré, Ji-Paraná, Rondônia. *Anais do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Congestas*, v. 4, p. 10, 2016.

SANTOS, J. W. M. C.; ALVES, G. B. M. Modelagem do potencial de poluição hídrica da bacia hidrográfica do rio Manso-MT. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, v. 5, n. 1, 2014.

SRINIVASAN, R. r.fill.dir. **Geographic Resources Analysis Support System**, 2008. Disponível em: <<https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.fill.dir.html>>.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Civ. Eng.**, p. 913-920, 1957. Disponível em: <<http://www.uvm.edu/~pdodds/teaching/courses/2009-08UVM-300/docs/others/1957/strahler1957a.pdf>>.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar - ReBraM**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007. <https://doi.org/10.25061/rebram.v11i1.236>

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. D.; RIBEIRO, C.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

USGS. **U. S. Geological Survey**, 2016. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 21 maio 2016.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. In: (Ed.). **Hidrologia aplicada**: McGraw-Hill, 1975.

XAVIER, F. V. **Contribuições metodológicas ao estudo da produção e distribuição espacial de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Manso utilizando o modelo AVSWAT**. 2009. (Dissertação Mestrado). Universidade de Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT.

XAVIER, F. V.; CUNHA, K. L.; SILVEIRA, A.; DE TAVARES SALOMÃO, F. X. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na Bacia do Rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, p. 51-60, 2010.