

Utilização de Sistemas de Informações Geográficas na delimitação de bacias hidrográficas

Use of Geographic Information Systems in the delineation of watersheds

Wagner Rambaldi Telles^{*}

Pedro Paulo Gomes Watts Rodrigues^{**}

Antônio José da Silva Neto^{***}

Resumo

Este trabalho apresenta a determinação da rede de drenagem do município de Nova Friburgo-RJ, bem como a delimitação das bacias hidrográficas que se encontram sob seu território, dentre elas a bacia do rio Bengalas, a qual abrange a área mais urbanizada da cidade. Foi empregada a plataforma MOHID e utilizados dados topográficos do IBGE disponibilizados pela prefeitura municipal. De modo a verificar a confiabilidade dos resultados, os mesmos foram comparados com o *software* ArcGis, conceituado mundialmente. Conclui-se que há uma forte possibilidade de utilização do MOHID na análise do perfil do escoamento da bacia do rio Bengalas e seus afluentes.

Palavras-chave: Sistemas de Informações Geográficas. MOHID. ArcGis. Bacias Hidrográficas. Rio Bengalas.

Abstract

This paper presents the determination of the drainage network of the city of Nova Friburgo-RJ, as well as the delineation of watersheds that are under its territory, among them the Bengalas river basin, which covers the most urbanized area of the city. The platform was used MOHID and used topographic data provided by the IBGE and municipal government. In order to verify the reliability of the results, they were compared with the ArcGIS software, renowned worldwide. We conclude that there is a strong possibility of using MOHID to analyze the profile of the flow of the Bengalas river basin and its tributaries.

Key words: Geographic Information Systems. MOHID. ArcGis. Watershed. Bengalas River.

^{*} Universidade do Estado do Rio de Janeiro *Campus* Nova Friburgo – IPRJ – Doutorando em Modelagem Computacional

^{**} Universidade do Estado do Rio de Janeiro *Campus* Nova Friburgo – IPRJ – Prof. Ph.D. em Ciências Marinhas e Tecnologias

^{***} Universidade do Estado do Rio de Janeiro *Campus* Nova Friburgo – IPRJ – Prof. Ph.D. em Engenharia Mecânica

Introdução

Segundo Cordeiro (19--), o Brasil possui a mais extensa rede hidrográfica da Terra, com 55.457 km², sendo a maior parte formada por rios de planalto, os quais têm grande importância econômica devido ao seu potencial energético.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Lei 9433/97, define que a aplicação do quadro normativo hídrico terá como unidade territorial a “bacia hidrográfica” (BRASIL, 2006), o que, segundo Kelman (1999) se justifica pela “conexão hidráulica” entre os seus usuários.

Cordeiro (19--) se refere à bacia hidrográfica como sendo o conjunto formado por um rio e seus afluentes, podendo, inclusive, ser desdobrada em sub-bacias. Essas unidades geográficas podem ser estudadas por meio de modelos investigativos. Esses modelos de bacias hidrográficas requerem informações fisiográficas, como a configuração da rede de canais, a localização da rede de drenagem, o comprimento e declividade dos canais, e as propriedades geométricas (GARBRUCHT; MARTZ, 1999). Uma das maneiras utilizadas para a obtenção dessas informações é o levantamento topográfico da área de interesse, realizado por meio de recursos analógicos.

Atualmente, é crescente o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) em estudos envolvendo a delimitação de bacias hidrográficas e sua rede de drenagem hidráulica. Um dos motivos que contribuem para essa utilização é o fato de que as delimitações de bacias hidrográficas desenvolvidas com base em levantamentos topográficos e por meios analógicos demandam muito tempo, bem como estão sujeitas a muitos erros (RAMME; KRÜGER, 2007).

Ogden et al. (2001) faz uma descrição de diversos softwares que utilizam como base informações geoespaciais e podem ser aplicados para diversas finalidades no contexto de bacias hidrográficas, desde a previsão de variáveis hidrológicas e análise do escoamento superficial, até a previsão/estimativa de inundações.

Neste estudo é abordada a hidrografia do município de Nova Friburgo, localizada no Estado do Rio de Janeiro, Brasil, cujo objetivo é a representação de sua rede de drenagem e a delimitação das bacias hidrográficas localizadas sob seu território, dentre elas a bacia do rio Bengalas, a qual abrange a área mais urbanizada dessa municipalidade.

Para isso, foram empregados softwares de modelagem hidráulica, cujos executáveis e/ou extensões estão disponíveis gratuitamente, por meio de sites eletrônicos, para download e manuseio.

Metodologia

A construção da rede de drenagem de Nova Friburgo-RJ e a delimitação de suas bacias hidrográficas, dentre elas a do rio Bengalas, deu-se através da utilização de dois aplicativos, o ArcGIS, versão 10, contendo a extensão HEC-GeoRAS, versão 10, e o sistema de modelagem MOHID, versão 4.9.2.

O HEC-GeoRAS 10 é uma extensão criada para ser usada no processamento de dados geoespaciais, desenvolvida dentro de uma cooperação entre o *Hydrologic Engineering Center* (HEC) e o *Environmental Systems Research Institute* (ESRI) usando fundos da USACE para Pesquisa e Desenvolvimento (USACE, 2010).

Já o MOHID *Water Modelling System* é um sistema de modelagem desenvolvido há mais de 25 anos por uma grande equipe de técnicos colaboradores do centro de investigação *Marine and Environmental Technology Research Center* (MARETEC), pertencente ao Instituto Superior Técnico (IST) e à Escola de Engenharia da Universidade Técnica de Lisboa, tendo a cooperação da empresa Hidromod Ltda., além de incluir contribuições de uma equipe permanente de pesquisadores, de alunos de doutorado dos Programas de Engenharia Ambiental e Mecânica, bem como de alunos do Curso de Mestrado em Modelagem de Ambientes Marinhos (MARETEC, 2012).

Atualmente, o MOHID é desenvolvido em ANSI FORTRAN 95, permitindo uma independência diante do sistema operacional com o qual se pretende executar o modelo (*Windows, Linux, Unix, etc.*), bem como uma fácil implantação do código em qualquer ambiente (PRECIOSO, 2010). Além disso, essa programação é orientada por objetos, possibilitando a modelagem de diferentes processos físicos e biogeoquímicos, como também de diferentes sistemas (marinho, estuarino e de bacias hidrográficas) (SOUZA, 2010).

Esta plataforma contém as seguintes ferramentas numéricas: MOHID *Water*, MOHID *Land*, MOHID *River Network* e MOHID *Soil*, as quais estão disponíveis na interface gráfica MOHID GUI. Para utilizá-las, são necessários arquivos originários da interface gráfica MOHID GIS, a qual é um sistema de informação geográfica capaz de gerir os dados das variáveis de tempo e espaço requeridos ou produzidos pelos programas numéricos do MOHID (BRAUNSCHWEIG et al., 2004). É nessa interface que se opera o sistema de informações geográficas (SIG), possibilitando a criação da malha computacional na qual são aplicadas as simulações (PESSANHA et al., 2011).

O uso do *software* ArgGis 10, com a extensão HEC-GeoRAS 10, teve como intuito reproduzir os resultados apresentados no Plano de Águas Pluviais, estudo esse finalizado no ano de 2007 pela Prefeitura Municipal de Nova Friburgo (PMNF), possibilitando, assim, a verificação da viabilidade de utilização do sistema de modelagem MOHID em uma bacia de montanha.

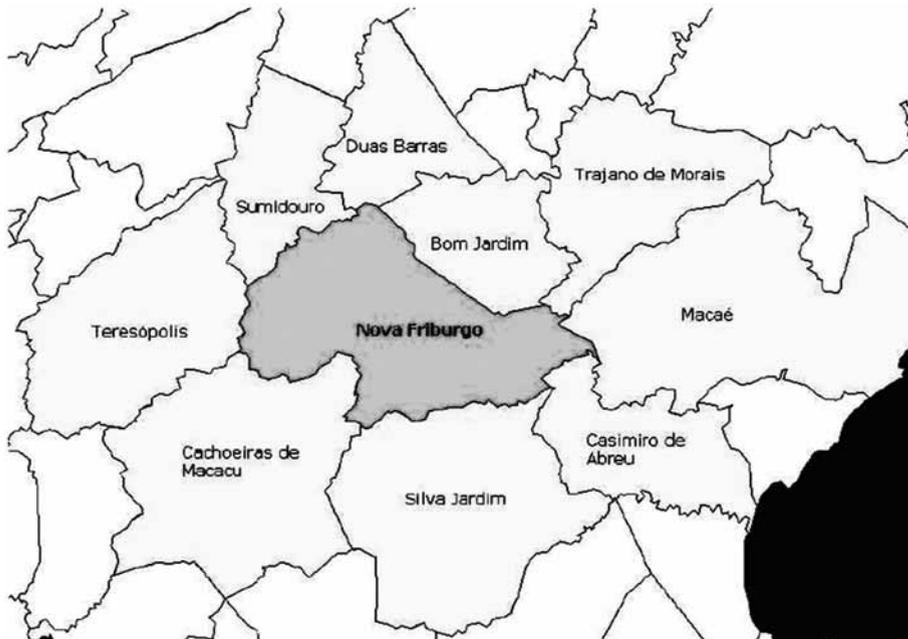
Área de Estudos

O município de Nova Friburgo está localizado na região serrana do Estado do Rio de Janeiro, limitado pelas coordenadas geográficas dos paralelos sul 22° 11' e 22° 24' e os meridianos de longitude oeste 42° 37' e 42° 27' (CORREIA, 2011). Possui área superficial de aproximadamente 933 km² e está distante da capital (Rio de Janeiro) cerca de 140 km, possuindo uma altitude ortométrica de 846 metros em sua sede.

Juntamente aos municípios de Bom Jardim, Duas Barras e Sumidouro, o referido município forma a microrregião de Nova Friburgo. Esta subdivisão regional forma, em conjunto com as outras subdivisões serranas (Três Rios, Santa Maria Madalena e Cantagalo Cordeiro), a mesorregião do Centro-Fluminense (FCTH, 2007).

Localizada no interior fluminense, Nova Friburgo é limitada territorialmente por outros municípios de acordo com a Figura 1 a seguir.

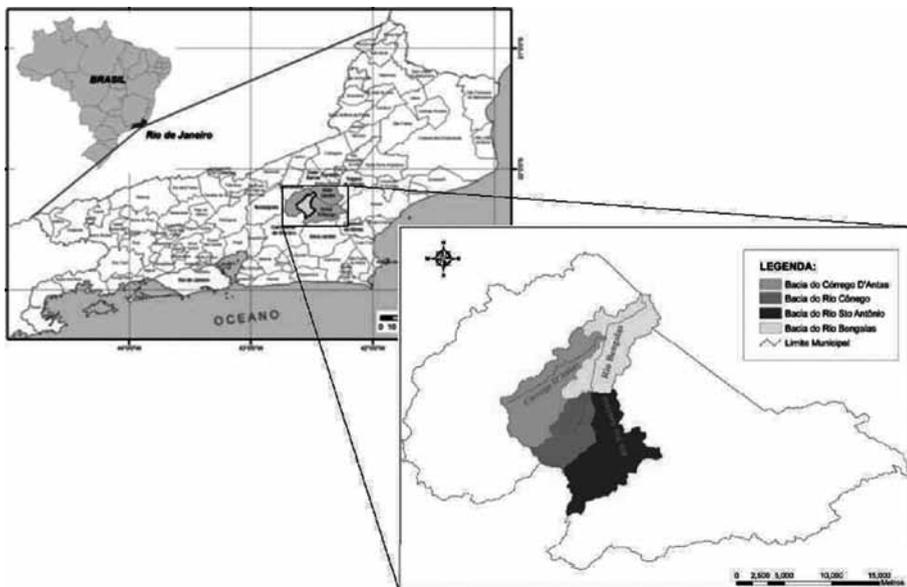
Figura 1 – Limites territoriais do município de Nova Friburgo



Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, 2007

Nova Friburgo é drenada por três bacias principais: bacia hidrográfica do rio Grande, bacia hidrográfica do rio Bengalas e bacia hidrográfica do rio Macaé. Neste trabalho será estudada a bacia hidrográfica do rio Bengalas, que possui área em torno de 192 km² e está situada na zona mais urbanizada do município, tendo como principal curso d'água o rio que dá nome a mesma. A Figura 2 apresenta o mapa de localização dessa bacia.

Figura 2 – Bacia hidrográfica do rio Bengalas e suas sub-bacias: bacia do Córrego D'Antas, bacia do rio Cônego, bacia do rio Santo Antônio e bacia do rio Bengalas



Fonte: Adaptado de Correia, 2011

Resultados

Os resultados apresentados nessa seção foram obtidos em um computador Core 2 Duo, com processador de 1,90 GHz e 2 GB de memória RAM.

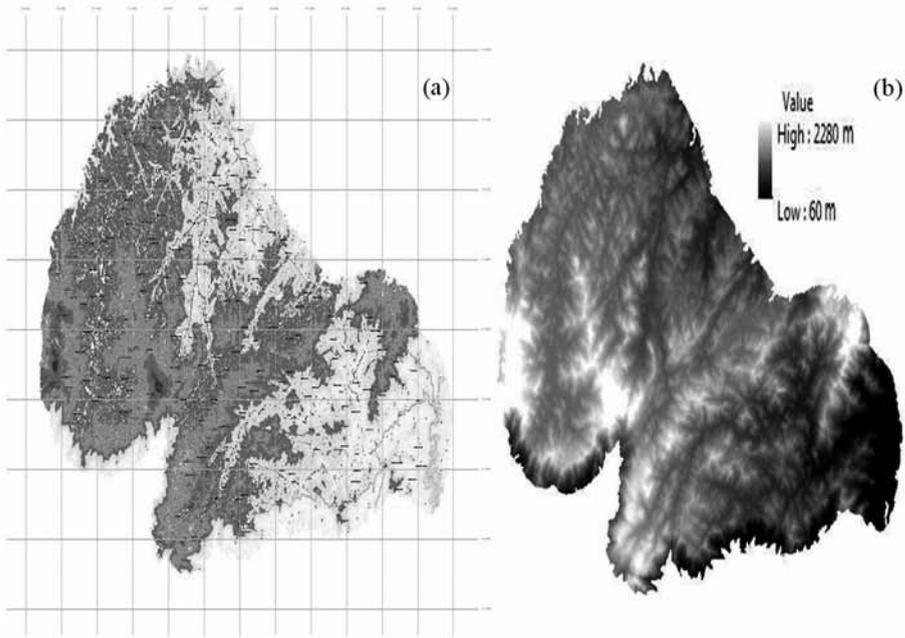
Construção do Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Correto

A construção da rede de drenagem de Nova Friburgo-RJ e a delimitação de suas três principais bacias se deu através da interface gráfica MOHID GIS e do *software* ArcGIS, versão 10, contendo a extensão HEC-GeoRAS, versão 10.

Foram disponibilizados dados topográficos, os quais são originários de Cartas Planialtimétricas vetorizadas na escala 1:50.000 fornecidas pelo IBGE compilados em arquivos DWG, todos cedidos pela prefeitura municipal de Nova Friburgo.

As informações topográficas do município de Nova Friburgo foram obtidas por meio de curvas de nível com equidistância de 20 m. Como o MOHID não “lê” arquivos DWG, as curvas de nível presentes neste arquivo foram convertidas para o formato *shapefile* utilizando-se o ArcGIS 10. A Figura 3(a) apresenta o arquivo contendo as informações sobre Nova Friburgo e as curvas de nível já convertida.

Figura 3: (a) Arquivo DWG contendo as informações topográficas de Nova Friburgo, RJ



Arquivo raster construído no ArcGIS decorrente do arquivo TIN. Fonte: O autor, 2012.

Já no MOHID GIS, foi realizada a importação do arquivo ASCII Raster e a conversão do mesmo em um arquivo *XYZ Points*, necessário para a construção do Modelo Digital de Terreno Hidrologicamente Correto.

Para a criação do Modelo Digital do Terreno (MDT), além do arquivo *XYZ Points*, também foi construída uma malha regular com 50 m de resolução. Estes dois arquivos deram origem ao modelo digital de terreno.

Com o MDT criado, deve-se remover as possíveis depressões que porventura possam aparecer neste arquivo, permitindo que o terreno digital se assemelhe com o meio físico, evitando o surgimento de canais inexistentes na rede de drenagem.

Para verificar a coerência do modelo digital do terreno, foi então construída a rede de drenagem do mesmo e a delimitação da bacia hidrográfica do rio Bengalas.

No MOHID, a delimitação de uma bacia hidrográfica pode ser feita de duas formas: por meio da determinação de um ponto (célula) de saída na rede de drenagem, considerado o exutório da bacia, ou pela área mínima a partir da qual irá começar a formação dos canais. Neste trabalho optou-se pela primeira opção.

Os resultados obtidos para a rede de drenagem e a bacia hidrográfica do rio Bengalas também foram recriados no *software* ArcGIS 10, por meio da extensão HEC-GeoRAS 10, com o intuito de se verificar a consistência entre os dois aplicativos. As

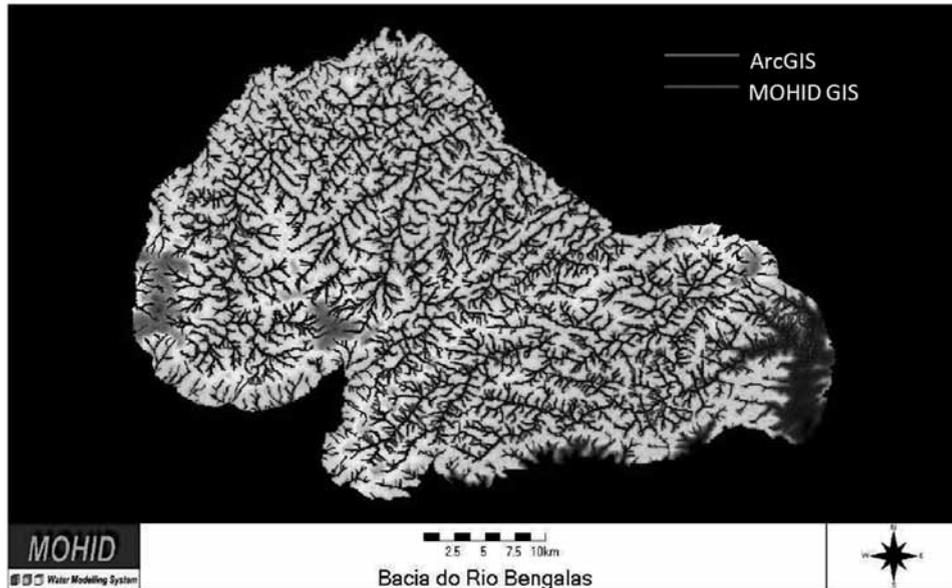
Figuras 4 e 5 mostram a comparação dos resultados obtidos pelo MOHID GIS e ArcGIS nas construções citadas acima.

Verifica-se, por meio da Figura 5, que o MOHID não conseguiu realizar a delimitação da bacia do rio Bengalas de forma satisfatória. Isso se deve ao fato de não ter ocorrido a remoção das depressões no modelo digital de terreno de forma correta. Para solucionar esse problema, utilizou-se a versão *MOHID Studio* desenvolvida pela *Action Modulers* (www.actionmodulers.com). Nesta versão, percorrem-se todas as depressões para o valor máximo de iterações (por padrão, o valor é de 50 vezes). Depressões contendo células até um valor de enchimento pré-determinado (o valor padrão é 5) serão removidas.

Com o modelo digital de terreno livre de depressões, iniciou-se novamente a construção da rede de drenagem e a delimitação da bacia hidrográfica. Além disso, foram criados também os arquivos contendo a declividade das células, a direção do fluxo, a área drenada, a rede de drenagem e a delimitação da bacia do rio Bengalas. As Figuras 6 a 8 mostram as referidas construções.

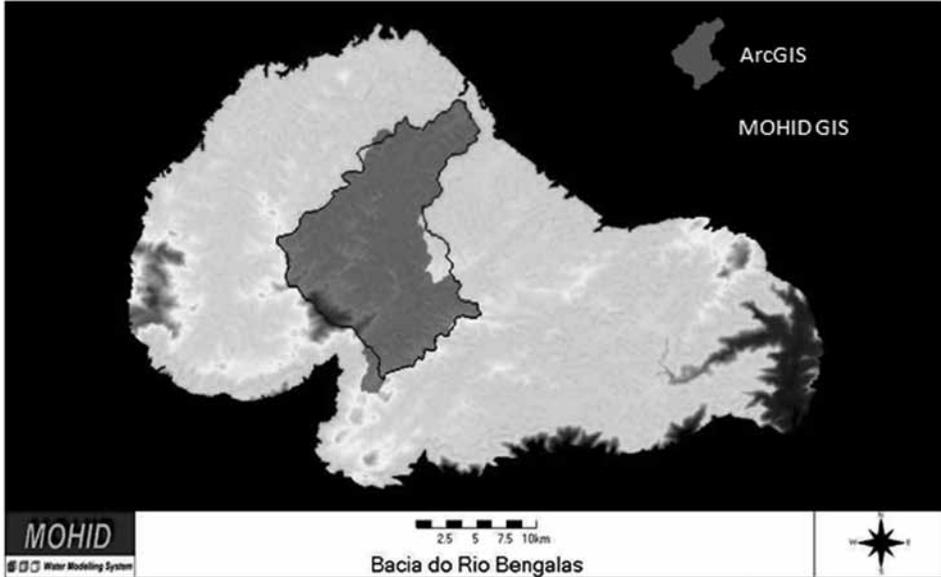
Como visto na Figura 8, utilizando-se o arquivo sem depressões construído pelo *MOHID Studio*, foi possível obter uma boa aproximação para o polígono delimitador da bacia hidrográfica do rio Bengalas.

Figura 4 - Rede de drenagem de Nova Friburgo construídas pelo MOHID GIS e ArcGIS 10



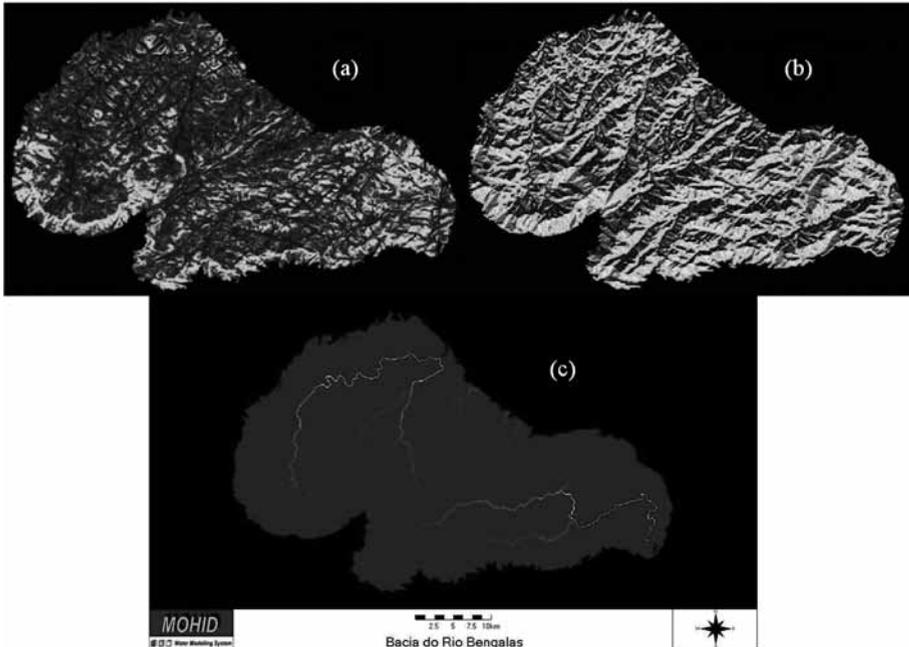
Fonte: Os autores, 2012

Figura 5 – Polígono delimitador da bacia do rio Ben galas construído pelos softwares MOHID GIS e ArcGIS 10

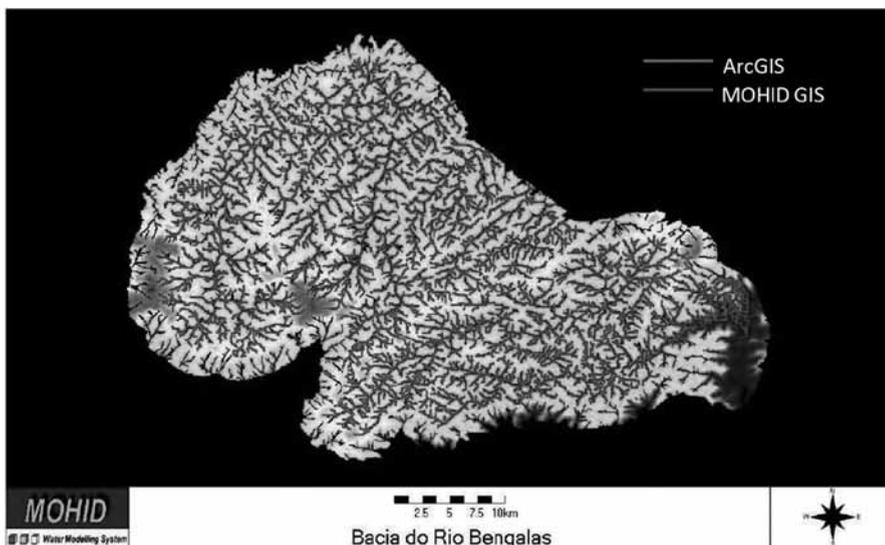


Fonte: Os autores, 2012

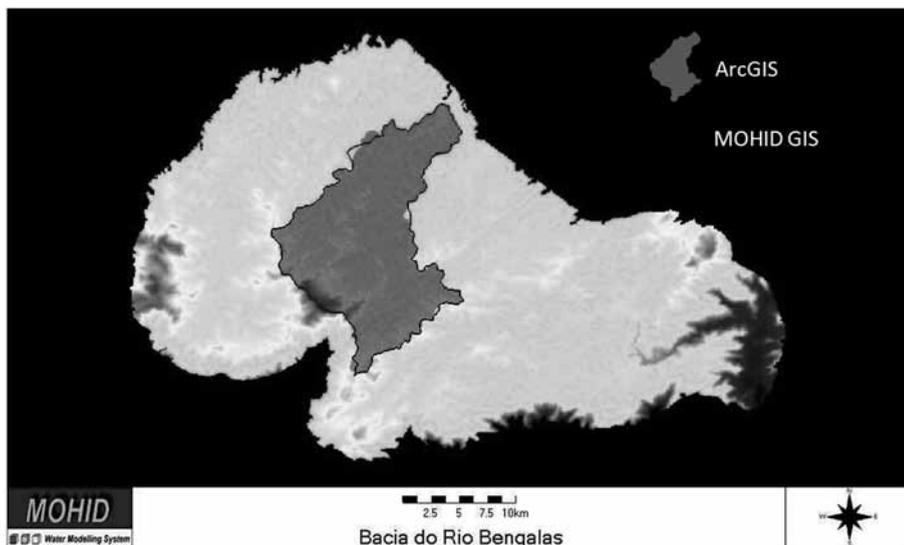
Figura 6 - Construções realizadas no software MOHID GIS: (a) Declividade das células; (b) Direção do fluxo; (c) Área drenada



Fonte: Os autores, 2012

Figura 7 – Rede de drenagem de Nova Friburgo construídas pelo MOHID GIS e ArcGIS 10

Fonte: Os autores, 2012

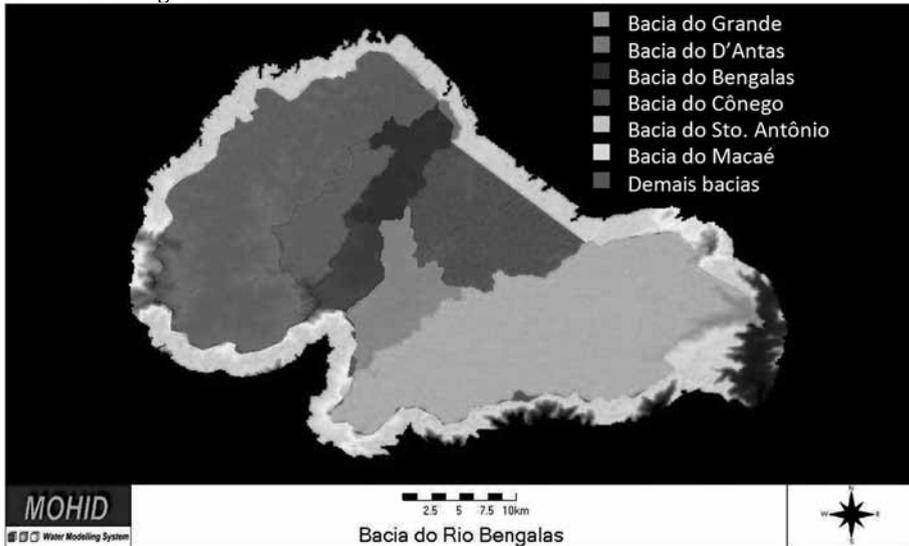
Figura 8 – Polígono delimitador da bacia do rio Bengalas construído pelos softwares MOHID GIS e ArcGIS 10

Fonte: Os autores, 2012

Sendo assim, iniciou-se então a determinação das demais bacias hidrográficas contidas no município de Nova Friburgo e das sub-bacias do rio Bengalas (sub-bacia do córrego D'Antas, sub-bacia do rio Bengalas, sub-bacia do rio Cônego, sub-bacia do rio

Santo Antônio). A Figura 9 mostra a delimitação das referidas bacias e sub-bacias.

Figura 9 – Principais bacias hidrográficas presentes sobre o território de Nova Friburgo e as sub-bacias da bacia do rio Bengalas



Fonte: Os autores, 2012.

Conclusões

Este trabalho teve o intuito de analisar o uso de Sistemas de Informações Geográficas na delimitação de bacias hidrográficas e sua rede de drenagem. Mais especificamente, foi verificada a viabilidade do sistema de modelagem MOHID *Water Modelling System*, por meio da interface gráfica MOHID GIS, na delimitação da rede de drenagem do município de Nova Friburgo e as bacias hidrográficas localizadas em seu território, notadamente a bacia do rio Bengalas, situada na área mais urbanizada do referido município.

Ao se analisar os resultados apresentados pela Figura 5, verifica-se que o MOHID GIS não conseguiu modelar satisfatoriamente a bacia do rio Bengalas, uma vez que o processo de remoção das depressões, presentes no arquivo contendo as informações digitais do terreno, não foi eficaz. No entanto, ao ser utilizada versão do MOHID desenvolvida pela *Actions Modelers*, esse problema foi resolvido, podendo, assim, a interface MOHID GIS construir a rede de drenagem e a delimitação da bacia do rio Bengalas com uma boa precisão, além de conseguir delimitar as demais bacias que estão sob seus limites territoriais, conforme apresentado pelas Figuras 8 e 9, respectivamente.

Diante dos resultados obtidos aqui pelo MOHID GIS e comparando-os com os reproduzidos pelo ArcGis 10, verifica-se um bom ajuste entre ambos. Com isso,

pretende-se realizar uma análise do comportamento hidráulico do rio Bengalas, bem como a estimativa de inundações nesta bacia hidrográfica utilizando a ferramenta MOHID *Land*.

Referências

BRASIL. Plano nacional de recursos hídricos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2006.

BRAUNSCHWEIG, F.; LEITÃO, C.P.; FERNANDES, L.; PINA, P.; NEVES, R. The object oriented design of the integrated modelling system MOHID. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTATIONAL METHODS IN WATER RESOURCES, 15., 2004, Chapel Hill, USA.

CORDEIRO, A.M.T.M. Gestão dos recursos hídricos no Brasil do ponto de vista legal. [S.I.: s.n., 19--]. Disponível em: <www.hidroamazon.ufam.edu.br/pesquisa6.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2012.

CORREIA, E.F.G. Modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do rio Bengalas, Nova Friburgo, RJ, utilizando o potencial de geotecnologias na definição de áreas de risco de inundação. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio Janeiro, 2011.

ECOECO. Bacias hidrográficas: nova gestão de recursos hídricos. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 1., 1996, Campinas-SP.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L.W. Digital elevation model issues in water resources modeling. In: ESRI USERS CONFERENCE, 19., 1999, San Diego, CA.

FCTH. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. Plano de águas pluviais de Nova Friburgo-PAPNE. São Paulo, 2007.

KELMAN, J. Outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos: O estado das águas no Brasil. Brasília: ABRH, 1999.

MARETEC. MOHID: Descrição do MOHID. Campos dos Goytacazes: Essentia Editora, 2012.

OGDEN, F.L.; GARBRECHT, J.; DeBARRY, P.A.; JOHNSON, L.E. GIS and distributed watershed models. II: Modules, Interfaces, and Models. Journal of Hydrologic Engineering, v. 6, n. 6, 2001.

PESSANHA, C.M.D.; LUGON Jr., J.; FERREIRA, M.I.P.; SOUZA, P.R.N.; HORA, H.M.C. Uso de modelagem computacional aplicada à gestão sanitário-ambiental: uma proposta de adaptação da plataforma MOHID Water para corpos lênticos aplicada à lagoa Imboacica, Macaé-RJ. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 5, n. 2, p.45-70, 2011.

PRECIOSO, C.H.O.; KALAS, F.A.; RODRIGUES, P.P.G.W.; LUGON Jr., J. Avaliação da variabilidade de parâmetros ambientais numa lagoa urbana (Campos dos Goytacazes, RJ) com auxílio do sistema MOHID. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 4, p. 185-204, 2010.

RAMME, E.J.; KRÜGER, C.M. Delimitação de bacias hidrográficas com auxílio de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 2007, São Paulo.

SOUZA, M.P.G. Simulação da dispersão de óleo na baía do Espírito Santo usando o modelo numérico MOHID-2D. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2010.

USACE. HEC-GeoRAS GIS tools for support of HECRAS using ArcGIS: user's manual. Davis, CA, USA: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2010.