

# COMPARAÇÃO DE EFICÁCIA NA EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE REDE DE DRENAGEM E BACIAS HIDROGRÁFICAS EM DOIS AMBIENTES SIG: TERRAHIDRO E ARCHYDRO UTILIZANDO O MODELO ASTER DA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE RONDONÓPOLIS

Jaqueline da Silva Trassi<sup>1</sup>;

Tatiane Duarte Silva Oliveira <sup>2</sup>;

Jeater Waldemar Maciel Correa Santos <sup>3</sup>;

1 – Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) – Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Geografia – ([Jaqueline\\_trassi@hotmail.com](mailto:Jaqueline_trassi@hotmail.com))

2 - Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) – Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Geografia - ([tatyduartegeo@gmail.com](mailto:tatyduartegeo@gmail.com))

3 - Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) – Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Geografia - - [jeatermaciel@gmail.com](mailto:jeatermaciel@gmail.com)

## ABSTRACT

The geotechnologies from remote sensing techniques have aided in the identification and interpretation of geographic phenomena and is an indispensable tool in research in the field of Geography and the like. This work presents a comparative study of two Geographic Information Systems (GIS), and TerraHidro and ArcHydro used in the self-extracting drainage network and watershed using Digital Elevation Model (DEM) Aster, applied research in the urban area the city of Rondonópolis, Mato Grosso. Using TerraHidro information processing method and analysis of representations at the local level, it found that, presented results closer to reality than ArcHydro interface. It is concluded that comparative studies help in choosing the best option in the digital spatial representation, thus facilitating the interpretation of geographic phenomena that present challenging in our research.

**Keywords:** Aster; Automatic extraction; TerraView; ArcGIS

## INTRODUÇÃO

As geotecnologias têm proporcionado meios eficazes para aquisição e manipulação de dados para escalas pequenas, médias e grandes, sem a necessidade de contato direto com o objeto alvo e, ainda, em tempo real para inúmeras aplicações de variados campos de conhecimento. (MOREIRA, 2011).

O uso das geotecnologias viabiliza a espacialização de informações geográficas e possibilita a compreensão da realidade do espaço, além disso, apresenta as interações e os agrupamentos para auxiliarem na definição de tomadas de decisão. Sendo realizados a partir do reconhecimento de obstáculos físicos naturais ou construídos, através do manuseio de técnicas de sensoriamento remoto e de ferramentas para a realização de operações espaciais, tais como: Sistemas de Informações Geográficas (SIG). (OLIVEIRA et al., 2010; SEBUSIANE; BETINE, 2011).

O modelo Aster foi desenvolvido pela NASA e é disponível gratuitamente pelo projeto GDEM com resolução vertical de 20 metros. É utilizado em aplicações de múltiplos estudos, que abordam a correção de altitudes, atualização cartográfica, mapeamento geomorfológico, tais como: Souza e Almeida (2014); Faria et al., (2015); Salles (2010); Perez (2006); Marques et al., (2011); Santos (2013); Rodrigues et al. (2010); Grego et al. (2013); Penha e Silva (2012); Araújo et al., (2014); Filho e Centeno (2011); Grohmann (2015); Biffi et al (2015); Cherem (2011); Silva et al (2015); Ribeiro e Ferreira (2014)

Com a utilização de modelos de elevação e manuseio do SIG é possível a realização da extração de rede de drenagem e delimitação automática de bacias, sendo um processo rápido e simples, mas, que, no entanto, sujeito ao maior número de falhas, dependendo do tamanho da escala, localização da área e qualidade do modelo. (SANTOS ;LINHARES, 2012; ARAÚJO et al 2009).

Vários estudos utilizam as interfaces TerraHidro e ArcHydro para o desempenho da obtenção de dados hidrológicos, como extração de malha hídrica e limites das bacias: Santos et al., (2013); Lima et al., (2012); Carvalho (2007).

O TerraHidro é um aplicativo do SIG TerraView, o qual foi desenvolvido sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib para a manipulação de dados vetoriais e matriciais. É disponibilizado gratuitamente pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com o Centro de Metrôpoles (OLIANI et al., 2012; LIMA et al., 2012; TERRA VIEW 2010).

O TerraHidro foi criado para o desempenho de aplicações na área de recursos hídricos através da utilização ampla de um banco de dados geográfico e algoritmos integrados para procedimentos hidrológicos. Sendo que possui uma estrutura dividida nas seguintes plataformas: Sistema Gerenciador de Banco de Dados, Banco de Dados de Hidrologia e Algoritmos Hidrológicos (ROSIM et al 2003).

O ArcHydro é uma extensão da interface Arcgis, sendo uma plataforma comercial que possui habilidades para produção de dados hidrológicos, geológicos, geomorfológicos, climáticos, cadastrais, ambientais, urbanos, sociais, culturais, estatísticos e analíticos. O ArcHydro foi desenvolvido pela Universidade do Texas (GISWR, 2006), (ESRI, 2015; SANTOS, 2013; CARVALHO, 2007).

No âmbito do ambiente do SIG ArcGis ocorre a descrição do sistema hídrico natural através da extração de dados de modelos de elevação e desempenho da extensão ArcHydro. Realiza o tratamento de dados geoespaciais e temporais para a produção de representação cartográfica das características básicas da ocorrência hídrica superficial integrando com informações dos recursos hídricos e da paisagem: chuva, vazão, qualidade da água e clima. Tal modelo é composto pelos seguintes

componentes: rede, drenagem, canal, hidrografia e séries temporais. (MAIDEMENT, 2002), (CORREIA, 2011).

Este estudo tem como objetivo comparar as extrações automáticas da rede de drenagem e bacias hidrográficas da área urbana do município de Rondonópolis pelo TerraHidro e ArcHydro utilizando o Modelo Digital de Elevação Aster, considerando peculiaridades entre os dados de entrada, as interfaces e da área de estudo.

## **METODOLOGIA**

### **Área De Estudo**

O município de Rondonópolis situa-se na região sudeste do Estado de Mato Grosso, a 210 km da capital, Cuiabá, na bacia hidrográfica do Rio Vermelho, que é afluente do Rio Cuiabá pertencente à bacia do Rio Paraguai. (MMA, 2014).

O município de Rondonópolis é caracterizado topograficamente por relevo fortemente ondulado, relevo plano e relevo ondulado. A altitude da mancha urbana varia entre 200 e 320 metros, sendo que a região central está localizada nas cotas baixas de (170 a 220 metros), no vale do Rio Vermelho e seu afluente Rio Arareau. (IBGE, 1989).

O presente trabalho foi realizado na área da mancha urbana do município de Rondonópolis, que se encontra ocupando a região central do limite municipal enquadrando-se entre as coordenadas geográficas: 16°24'33" e 16°30'54" de latitude sul e 54°43'27" e 54°32'52" de longitude oeste e definido de acordo com conhecimento prévio *in loco*, com uma área de 4.159,118 km<sup>2</sup>, 211.178 mil habitantes (IBGE, 2010), (FIGURA 01).

Para a realização dessa comparação foi escolhida essa área devido ao conhecimento prévio da topologia e hidrografia do local, a falta de informações e dados cartográficos atuais, e principalmente faz parte de um dos objetivos do estudo do potencial de riscos de inundações nas microbacias urbanas da cidade de Rondonópolis, Mato Grosso (TRASSI, 2015). Que visa compreender o problema de ocorrência de inundações nas microbacias urbanas da cidade de Rondonópolis, por meio desse estudo surgiu à necessidade de uma comparação entre os SIGs, no intuito de ser utilizar aquele que melhor atendesse as necessidades do estudo em questão.

Diante disso, foram levantados questionamentos e hipóteses em relação às diferenças entre o resultado desse estudo e de outros estudos que comparam dados obtidos pelo modelo ASTER. E um dos questionamentos foi em relação ao desempenho do SIG, e dessa forma, foi decidida a aplicação em duas interfaces diferentes para processamento de informações inerentes a geomorfologia.

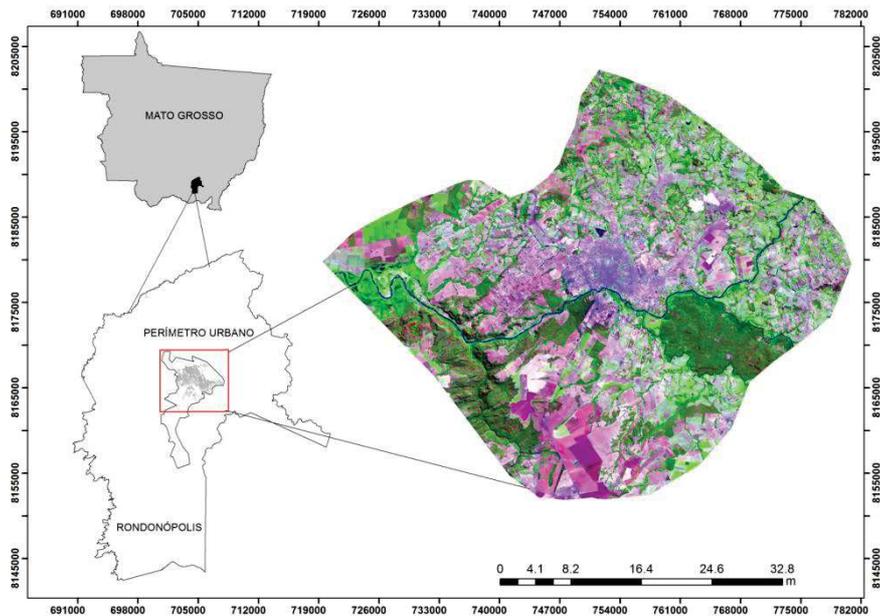


Figura 01 – Mapa de localização da área de estudo.  
 Fonte: IBGE (2015), INPE (2015), PMR (2014)

## Materiais e técnicas

Na realização da delimitação da área de estudo que abarca a área urbana do município de Rondonópolis foi utilizado o Google Earth (2015).

Neste trabalho foi utilizado DEM disponibilizado pelo Banco de Dados Geomorfométricos do projeto ASTER GDEM V2 concedido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Todos os arquivos vetoriais e raster estão atribuídos à mesma projeção e *datum de referência*, sendo UTM WGS84. Das cenas adquiridas em formato raster do banco de dados GDEM foi gerado mosaico em ambiente SIG.

A obtenção de informações hidrológicas através de DEM no ambiente do TerraHidro é obtida a partir do seguinte princípio básico matemático: a definição de linhas de fluxo (drenagem) é a partir do cálculo da mínima distância entre as curvas de nível. E considera-se o ângulo dessas linhas de fluxos criadas entre curvas de nível que as originaram para que sejam perpendiculares (ROSIM et al., 2003).

A extração da rede de drenagem é realizada a partir da geração de grades de relevos produzidas por interpolador linear de média ponderada por cota quadrante. A rede de drenagem é obtida pelo algoritmo desenvolvido na sobreposição sobre esses produtos de relevo. Com o desenvolvimento desse processo dá-se a grade direção de fluxo local *Drainage Network* (LDD). (ROSIM et al., 2003).

No ArcHydroo LDD produzido é o *FlowDirection*, sendo a direção de fluxos, relacionada aos pontos cardeais e aos pontos colaterais, quando a água escoe na direção de maior declividade do terreno. A direção de fluxos obtém-se a partir de uma

grade regular (matriz de altimetria) que foi determinada por meio da direção de maior declividade de um “pixel” em comparação aos seus oito “pixels” vizinhos, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno. E em caso de pixels com valores iguais de menor altitude considera-se a que não está diagonal. E se pixels com a mesma altitude tiverem adjacentes, a preferencia será para o pixel central (SOBRINHO et al., 2010; SANTOS; LINHARES, 2012; OLIVEIRA et al. , 2012; SOUZA e ALMEIDA, 2014 ).

Esse procedimento origina-se a grade de fluxos acumulados chamada ACM, que o qual representa os caminhos que originam a rede de drenagem. O fluxo acumulado é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento entre conexão com divisores de água a montante. É possível montar uma nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada “pixel”. Desse modo, cada “pixel” recebe um valor correspondente ao número de “pixels” que contribuem para que a água chegue até ele. O fluxo acumulado, também denominado área de captação (LIMA et. al., 2012; SOBRINHO et. al., 2010; ROSIM et. al., 2003).

Nessa etapa o valor limite (início do canal, SOUZA e ALMEIDA, 2014) é fornecido e cada “pixel” da grade é pesquisado, que corresponderá se o valor do “pixel” da grade de fluxos acumulados for maior ou igual ao valor de limite fornecido. Dessa forma, o valor desse “pixel” será inserido na mesma posição na grade de saída, que conterà a rede de drenagem. Assim, somente valores maiores ou iguais ao valor inicial estarão representados na grade de drenagem (LIMA et al., 2012).

Para a delimitação das bacias é necessário a produção do LDD, rede de drenagem, a ordem das ramificações hidrológicas e o ponto exutório. Qualquer ponto da rede de drenagem pode ser escolhido como ponto exutório, sendo que toda a água coletada ou captada naturalmente proveniente da precipitação com escoamento para um único ponto de saída. E de acordo com diversas finalidades e características da área de estudo, sendo que podem ser barragens, reservatórios, foz e confluências de rios (CARVALHO 2007; SANTOS et al., 2013; ROSIM et al 2003).

Nos SGI's TerraView e ArcGis o processo de extração de rede de drenagem e bacias hidrográficas foi aplicado na cena do Aster que abrange toda área do município de Rondonópolis e no modelo recortado, de acordo, com o limite da área urbana vetorizado no Google Earth.

No TerraView 4.2.2. a cena foi recortada utilizando a função intersecção. O produto recortado nessa interface não pode ser utilizado no ambiente ArcGis 10.2, pois o TerraView ao aplicar intersecção define um mascarará da área que não será utilizada, em vez de aplicar o recorte. Assim, ao realizar o procedimento de extrações no ArcHydro com o modelo recortado no TerraView apresentou algumas falhas.

Dessa forma, a cena também foi recortada no ambiente ArcGis utilizando a função clip.

O DEM pode apresentar incidência de falhas devido às características físicas da área de estudo como locais bastante íngremes, relevo bastante ondulado ou pouco, leve ondulado, áreas bastante planas, com ocorrência hídrica, ou com edificações e construções verticais. Tais falhas também podem ser oriundas de erros no momento de interpolação dos dados do modelo (OLIVEIRA et al., 2007).

Essas falhas podem ser depressões, como sumidouros, e estão concentradas, principalmente, em locais de inundação ou em locais que um MDE com baixa resolução não consegue representa-los (áreas com inúmeros canais, dunas e depósitos de sedimentos) que pode dificultar na identificação de direção de fluxos e do acúmulo de fluxo incidindo na descontinuidade do fluxo. Ou seja, interrompe a direção do escoamento real do terreno e os segmentos da rede de drenagem são desviados para outras sub-bacias (ZEILHOFER, 2011; OLIVEIRA et al., 2007; SOUZA e ALMEIDA, 2014).

Dessa forma a precisão dos dados produzidos pelo modelo pode ficar comprometida. No entanto, há algumas técnicas para amenizar esse tipo de ocorrência no modelo, e na interface do ArcHydro, utiliza de um método desenvolvido por Jenson e Domingue (1987) que eleva os pixels que estão inseridos nessas depressões (OLIVEIRA et al. 2007). Essas falhas são definidas por locais que estão no centro de elevações bastante altas e são denominadas de “*sinks*”, ou seja, são pequenas depressões em relação à matriz altimétrica. Visualmente essas falhas são “pixels” vazios ou buracos apresentados no raster.

Para a correção desses erros é feita aplicação do “*fillssinks*” no Archydro que é o preenchimento dessas depressões (MENDES e CIRILO 2011; SOBRINHO et., 2010)

Posteriormente, no Archydro com o modelo corrigido permite um resultado consistente, pois “*sinks*” dificultam a extração hidrológica, é obtida a direção de fluxos por meio da função “*flowdirection*”. No TerraHidro também utilizando essa função. Tanto a obtenção da direção do fluxo realizada no TerraHidro quanto feita no Archydro apresentam a direção do escoamento hidrológico nas vertentes e ainda o relevo do local. No entanto, com a correção do DEM feita no Archydro, a apresentação é distinta, não destacando o relevo, conforme as figuras 04 e 05.

A partir da execução da função anterior, nas duas interfaces, é adquirido o fluxo acumulado, quando é possível verificar a formação dos caminhos que incidem a rede de drenagem e a representação dos valores de acúmulo de água em cada pixel. Nos SIG's TerraHidro e Archydro, tal procedimento é feito com a função “*flowaccumulation*”.

O próximo passo segue diferentes técnicas nas duas interfaces, sendo a extração da rede de drenagem. Nessa etapa ocorre a definição de um conjunto de segmentos ou o subconjunto do fluxo acumulado. Nas duas interfaces o usuário deve definir o valor limite que seja igual ou maior o valor de pixel do fluxo acumulado. Ou seja, serão obtidos ramificações ou segmentos da drenagem maior ou igual ao valor, 200 que foi o valor definido para esse estudo. Quanto maior esse valor menor será o número de ramificações (ROSIM 2014).

Na interface do ArcHydro esse valor é definido no “*rastercalculator*”, onde os seguintes parâmetros de cálculo são utilizados: Coseno (fluxo acumulado) maior que (<) 200 número de pixels, 1 (O número 1 é corresponde a todos os valores igual ou maior que 200, ou seja, todos serão convertidos ao valor 1. Enquanto que valores menores que 200 serão convertidos em 0 (zero), dessa forma não serão extraídos). Posteriormente, na função “*streamtofeatures*” com o ACM habilitado, é retirada a rede de drenagem em formato vetorial.

No TerraHidro na função “*segments*”, onde já se extrai a rede drenagem em formato raster, que é definido esse valor, sendo o caminho que percorre a água desde a montante até ponto da jusante (ROSIM 2014).

Nas duas interfaces há a função que permite a extração automática das bacias, tendo como base LDD, ACM e a rede drenagem. No ambiente ArcHydro é usado a função “*basin*”, tendo habilitado o produto da direção de fluxos.

No TerraHidro com o LDD, direção de fluxos e a matriz de segmentos habilitados utilizando a função “*MiniWatterds*” são extraídas os limites das bacias hidrográficas, (FIGURA 11).

Outra possibilidade para definição de uma bacia é a seleção de um ou mais pontos isolados sobre a drenagem. Dessa forma, o usuário pode definir diferentes cenários, cada um com o conjunto de pontos desejados. Pode, por exemplo, definir as bacias mais representativas da sua área geográfica de estudo (ROSIM, 2014).

Nas interfaces dos SIG's na rede de drenagem foi necessário identificar o exutório do rio utilizando a função “*Create Batch Points*” no TerraHidro e um arquivo shape de pontos no ArcHydro.

No TerraHidro a definição do ponto exutório ocorre na escolha do pixel mais próximo do local escolhido, se for uma foz ou confluência de rio, como no caso desse estudo, o que permite maior correspondência com a realidade *in loco*.

O pixel localizado exatamente na confluência ou um ou dois pixels depois no arquivo raster de segmentos delimitam a bacia. E utilizando a função “*Sub-watersheds*” sob os parâmetros direção de drenagem, fluxo de drenagem e exutório, obtêm-se dos limites das bacias.

No ambiente do ArcHydro as bacias são delimitadas pelo ponto exutório utilizando arquivo shape de pontos. Em um arquivo vetorial de rede de drenagem define se o ponto mais próximo da confluência, considerando a permissão do próprio SIG. A função “*Watershed*” que delimita a bacia.

## RESULTADOS

Como resultados a partir das etapas metodológicas anteriormente descritas, as Figuras 12 e 13 especificam a diferenciação entre as redes de drenagem extraídas e as delimitações das bacias produzidas nos dois SIG's.

Na extração da rede de drenagem feita no ArcHydro foi possível verificar que houve rompimentos das linhas de segmentos.

A abrangência hídrica, ou seja, o número de ramificações da rede de drenagem foi similar a obtenção hidrológica por meio da interface TerraHidro.

O ArcHydro delimitou 27 bacias hidrográficas, e foi verificado que a sinuosidade ou detalhamento dos limites dessas bacias são bastante precisos. No entanto, duas dessas bacias não tiveram áreas que abrange a ocorrência hídrica similar à realidade devido ao rompimento das linhas da drenagem. O ArcHydro não delimitou bacia de alguns córregos que possui curso ou canal reduzido apresentando esses vazios. (FIGURA 12).

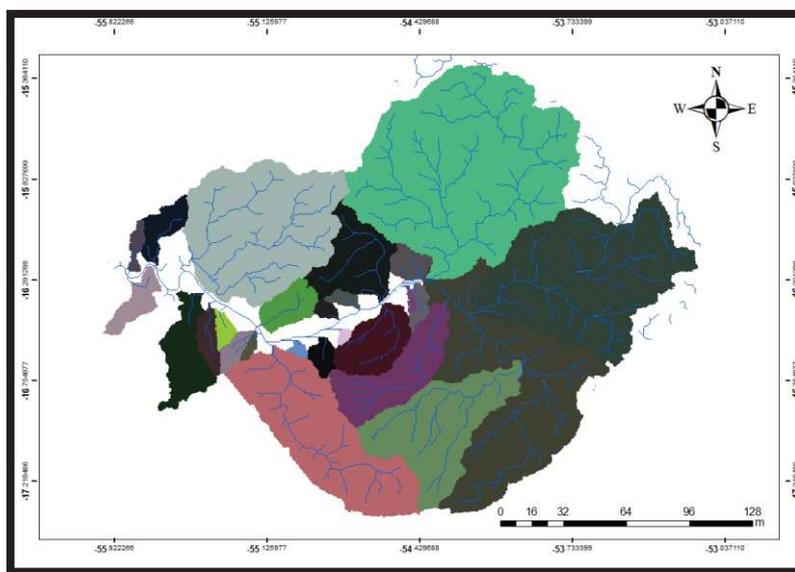


Figura 12 – Delimitação manual de bacias no ArcHydro  
Fonte: NASA (2015), IBGE (2015), Google Earth (2015)

O ponto exutório de cada bacia delimitada na plataforma ArcHydro foi distante da confluência entre rios, sendo uma distância até 300 metros. Isso ocorreu devido à restrição que a interface incide ao definir o ponto na

confluência. Ao escolher um ponto próximo a foz do rio ocorre incidência de falha na delimitação das bacias.

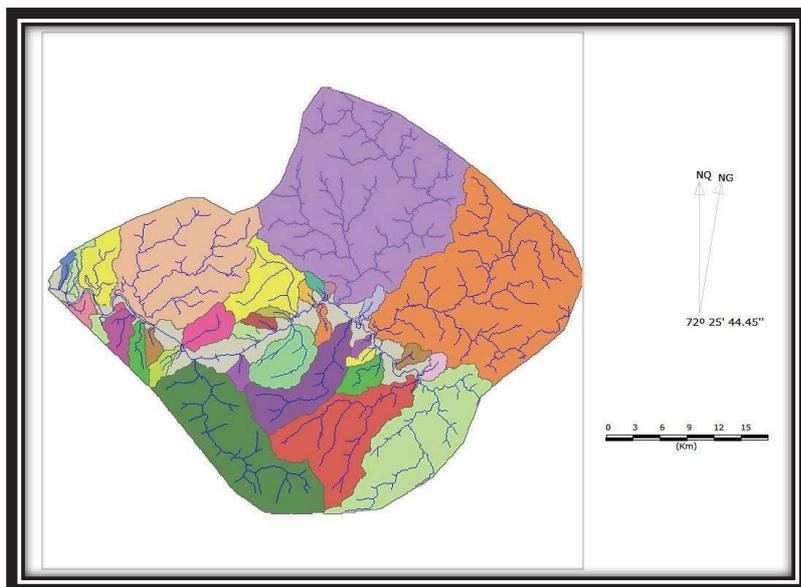


FIGURA 13 – Delimitação manual de bacias no TerraHidro  
 Fonte: NASA (2015), IBGE (2015), Google Earth (2015)

Em relação a essa distância entre o ponto exutório da bacia extraída e a confluência do rio, alguns limites apresentam uma formação irregular nesse início da bacia, e que não é condizente a realidade. Pois, foi criado em algumas dessas bacias, um canal que dá início ao ponto exutório desses limites. Já

com relação ao uso do SIG TerraHidro, no que se refere a delimitação das bacias urbanas obteve-se 33 bacias que foram extraídas diretamente do ponto de exutório. Uma vez que para esse estudo em específico o resultado da delimitação por ponto de exutório foi o que melhor se assemelhou a realidade das bacias existentes na mancha urbana. (FIGURA 12). Uma das vantagens desse SIG comparando-se ao ArcHydro é que por extrair no ponto exutório e pela a máxima aproximação do pixel do exutório não ocorre erros com relação a distância do ponto de onde a bacia é gerada, e já no ArcHydro ocorreu esse erro algumas bacias jogando a delimitação das mesma mais longe do exutório real conforme já foi dito

## CONCLUSÃO

Apesar, da correção feita no modelo Aster pela interface ArcHydro, a matriz de segmentos hídricos apresentou rompimentos, o que prejudicou na área de abrangência hídrica de algumas bacias. Diferente do TerraHidro, o ArcHydro não delimita bacias de córregos com percursos curtos.

Mas, deve se ressaltar a diferença na obtenção de pontos exutórios nas duas interfaces, sendo que devido a restrição do ArcHydro em permitir a definição desse ponto o mais próximo da confluência dos rios, houve um delimitação iniciada a partir de até 300 metros distante da foz. E dependendo do objetivo do estudo, isso pode ser inaceitável.

Isso pode se devido aos produtos de rede drenagem produzidos pelas duas plataformas. Pois, o ArcHydro resulta em uma rede de drenagem em formato vetorial, e isso impede de pontuar em precisão a nível de pixel.

Enquanto, que o TerraHidro produz rede de drenagem em extensão raster que permite aproximar do pixel na confluência ou um ou dois pixel próximos.

Utilizando o modelo Aster em uma área urbana, o SigTerraView teve melhor desempenho na extração da rede de drenagem e obtenção dos limites das bacias do que a extensão ArcHydro.

#### REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, E.P de; TELES, M.G.L; LAGO, W. J.S. **Delimitação** das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão a partir de dados SRTM. **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, INPE. 2009.

BIFFI, L.J.; JARENKOW, G.L. et al. Comparação de modelos digitais de elevação de SRTM e ASTER com modelo de elevação de grande escala do município de Lages – SC. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz de Iguaçu. 2013.

CARVALHO, P.R.S. **Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do Alto Curso do Rio Preto**. 2007. 58f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental e Territorial). Universidade de Brasília, 2007.

MARQUES, H.H.; PENATTI, N.C. et al. Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite da bacia hidrográfica. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba –PR. P.1271.2011.

GROHMANN, C.H. Análise comparativa preliminar entre dados SRTM, Topodata, ASTER GDEM e modelos de superfície/ terreno do projeto radiografia da Amazônia. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa. 2015.

RODRIGUES, T. L.; DEBIASI. P.; SOUZA, R.F. Avaliação da adequação dos produtos Aster Gdem no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife. P. 01-05. 2010.

ROSIM, S.; OLIVEIRA, J.R.F. et al. Extração da drenagem da região nordeste utilizando o sistema terrahidro. **XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Natal. 2014.

SAITO, N.S. **Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre – Espírito Santo**. 2011. 131f. Dissertação (Mestrado Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. Jerônimo Monteiro. 2011.

SILVA da C.R.P; DEMARQUI, E.N; ALMEIDA, F.T; et al. **Diferentes modelos digitais de elevação na caracterização física da bacia hidrográfica do Rio Nandico, MT, Brasil**. Scientia Plena. v.11, n. 05. 2015.

SOUZA, J.O.P; ALMEIDA, J.D.M. Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. **Boletim de Geografia**. v.32, n.2, p. 134-149. Maringá. 2014.

SOUZA, R.M.; FORMINGA, K.T.M.; VEIGA, A.M. Caracterização morfométrica de delimitação da bacia hidrográfica do córrego Samambaia – GO a partir de dados do SRTM. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu. 2013.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**. v.30. n1, p.46-57. Jaboticabal. 2010.

VALERIANO, M.M; MORAES, J.L. Extração de rede de drenagem e divisores por processamento digital de dados topográficos. **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, abril de 2001.

ZEILHOFER, P. **Modelação de Relevo e obtenção de parâmetros fisiográficos na bacia do Rio Cuiabá**. RBRH. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 6 n.3 p. 95-109. 2001.