

COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES BASES ALTIMÉTRICAS PARA DELIMITAÇÃO DE BACIAS E EXTRAÇÃO DE DRENAGENS

COMPARISON BETWEEN DIFFERENT ALTIMETRIC BASES FOR DELIMITATION OF WATERSHEDS AND EXTRACTION DRAINAGES

Maurineide Elayne Rodrigues Rosa

Tecnóloga em Saneamento Ambiental - Instituto Federal do Ceará (IFCE), Agente de Defesa Civil – Prefeitura de Fortaleza, Ceará. (maurineiderosa@yahoo.com.br)

Gabriela de Azevedo Reis

Mestranda em Engenharia Hidráulica e Ambiental, DEHA – UFC. (gabrielareisazevedo@gmail.com)

Antonio Júnior Alves Ribeiro

Doutor em Engenharia de Transportes, Professor do Instituto Federal do Ceará – Campus Juazeiro do Norte (IFCE). (ajar.junior@gmail.com)

Resumo

Produtos cartográficos como as imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), imagens TOPODATA e os mapas do IPECE possuem uma gama de informações para subsidiar estudos e projetos de engenharia. Nesse sentido, este trabalho objetiva comparar as informações referentes à altimetria presente nas bases cartográfica pré-existentes do SRTM, TOPODATA e IPECE e fornecer informações que auxiliem na tomada de decisão acerca dos projetos de engenharia. As informações foram aplicadas ao município de Caucaia-Ceará. Utilizou-se o Software ArcGIS para realizar as operações espaciais necessárias, a fim de alcançar os objetivos do estudo, gerando-se os modelos digitais de elevação (MDE), para as bacias hidrográficas e as drenagens existentes no município. Observou-se que os dados resultantes nas três bases cartográficas são muito semelhantes para geração e espacialização das áreas das bacias. Já para as drenagens, percebeu-se que existe uma discrepância quanto à concordância espacial dos dados gerados, bem como no que se refere à geração das extensões das drenagens. Concluiu-se que os dados das três bases cartográficas fornecem medidas bastante semelhantes para representar o terreno da área em estudo, o que possibilita o uso de qualquer uma das bases para estudos preliminares, anteprojetos e pré-projetos, mesmo com escala de obtenção distinta para cada base.

Palavras-chave – Altimetria. Cartografia. Geoprocessamento. Projetos.

Abstract

Cartographic products such as SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) images, TOPODATA images and IPECE maps have an array of information to support engineering studies and projects. Therefore, this study aim to compare altimetry information contained at SRTM, TOPODATA and IPECE cartographic bases and to provide information that help the decision-making for engineering projects. The information was applied to the town of Caucaia. It was utilized computer Software ArcGIS to do the spatial operations that were needed to reach the study's objectives, creating the Elevation Digital Models (MDE), the hydrographic basins and the drainages existing at the city. It was observed that the result data of the three cartographic bases are very similar to the generation and spatialization of the basins' area. Although, it was noted that, for the drainages, there is an unconformity through the spatial data generated, as well as their extensions. It was concluded that the data from the three cartographic databases offer quite similar measures to represent the land of the study area, it enables the use of any of the bases for preliminary studies, preliminary projects and pre-projects, even with different achievement scale for each base.

Keywords - Altimetry. Cartography. Geoprocessing. Projects.

1. INTRODUÇÃO

Os grandes projetos de infraestrutura hídrica (barragens, saneamento, drenagem etc.) demandam o conhecimento das características físicas do meio no qual serão executados. Um dos conhecimentos essenciais para esses projetos é a altimetria do terreno. Além de ser importante para a elaboração do projeto em si, a altimetria é considerada item indispensável na realização de estudos ambientais, como o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), por exemplo (TESTONI, 2010).

Graças ao avanço da computação, a geotecnologia proporciona, cada vez mais, ferramentas que auxiliam no gerenciamento dos recursos naturais, destacando-se os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que permitem interação de grande número de dados, e serve de base para a construção de planos temáticos, nos quais têm se destacado aplicações na área de recursos hídricos (RAMOS *et al.*, 2007). A caracterização de uma bacia hidrográfica é um procedimento fundamental em análises hidrológicas ou ambientais, ajudando a elucidar questões relacionadas com a compreensão da dinâmica ambiental local (TEODORO *et al.*, 2007).

As bases altimétricas são de grande importância para a criação dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), das quais podem derivar informações extremamente importantes para análises e planejamentos relacionados à modelagem hidrológica, geológica, geomorfológica, ecológica, dentre outras. Um MDE deve representar adequadamente as feições do modelado topográfico, as linhas de cumeada e os talwegues, caracterizando de forma mais fiel possível o terreno (ACKERMANN, 1996). O uso desses dados em alternativa a levantamentos topográficos convencionais de alta precisão pode resultar em redução de custos e ser dispensado o levantamento topográfico para o projeto.

Um dos principais desafios da análise hidrológica está na caracterização morfométrica e delineamento da rede hidrográfica de uma mesma bacia hidrográfica (PIRES *et al.* 2005). Para Villela e Mattos (1975), o conhecimento de tais elementos é de grande relevância, pois uma vez estabelecidas as relações e comparações entre os índices e

dados hidrológicos conhecidos, é possível determinar, de forma indireta, os valores hidrológicos em locais desprovidos de tais informações.

Nota-se que o assunto sobre consistência de modelos digitais de elevação para aplicações hidrológicas ainda é pouco explorado na literatura técnica. Zhang *et al.* (2011) propuseram um novo método para consistência hidrológica de MDEs e compararam-o com outros dois já existentes. Os autores concluíram que o método proposto foi condizente com a informação hidrológica conhecida, pois menos canais paralelos foram gerados, em relação aos outros dois métodos comparados. No entanto, eles notaram uma dificuldade na determinação da rede hídrica consistente para áreas planas.

Chagas *et al.* (2010) detectaram que os MDEs ASTER GDEM e SRTM apresentam uma elevada quantidade de depressões espúrias. E se não há um preenchimento prévio destas falhas, pode-se gerar uma rede de drenagem descontínua, o que inviabilizaria uma análise hidrológica proveniente desta fonte de informação. Hengl *et al.* (2004) reiteraram que, em aplicações hidrológicas, a qualidade dos parâmetros do terreno pode ser melhorada por ajuste de interpolação, com auxílio de uma rede de drenagem existente, ou por remoção das depressões espúrias.

Nos últimos anos, outros trabalhos utilizaram dados do SRTM e TOPODATA como base de estudo, a exemplo de Sobrinho *et al.* (2010), Freitas *et al.* (2012) e Moura e Sousa (2014), em estudo de bacias hidrográficas; Falcão e Costa (2012), Grohmann *et al.* (2008), Neto (2013) e Carvalho e Bayer (2008), para análises de geomorfologia e de solos e; até mesmo, para estudos de vegetação, como Bispo *et al.* (2010) utilizaram para o Parque Nacional de Brasília.

Esta pesquisa faz uma análise comparativa dos dados altimétricos disponíveis para o município de Caucaia, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará. Os dados utilizados serão: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Topodata do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Altimetria do Instituto de Pesquisas Econômicas do Ceará (IPECE) obtida a partir de levantamentos aerofogramétricos. A comparação é feita a partir da geração de MDE e

do traçado de bacias hidrográficas do município, verificando a precisão a partir das áreas de drenagem e locação dos talwegues. A comparação entre bases acessíveis gratuitamente permite derivar informações sobre o relevo e, assim, conhecer vantagens e restrições do uso de cada um.

2. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, foram usados dados espaciais, obtidos das fontes que serão apresentadas adiante. As ferramentas utilizadas foram o Software ArcGIS 9.3, para realização das operações espaciais, produção de mapas e análises dos modelos de elevação, e o Microsoft Excel, para a análise dos dados e dos resultados.

A metodologia deste trabalho seguiu quatro fases: pesquisa e aquisição de dados, manipulação dos dados, geração dos MDE e comparação entre os MDE.

2.1. Pesquisa e Aquisição de Dados

A fase de aquisição de dados contou com pesquisas junto a instituições detentoras de informação. O INPE disponibilizou o modelo de elevação TOPODATA, a NASA disponibilizou os dados de elevação SRTM e o IPECE, os dados altimétricos do Projeto Polo Ceará Costa do Sol. Esses dados foram utilizados para gerar as bacias hidrográficas constantes dentro do limite do município de Caucaia – Ceará e realizar análise comparativa das elevações, com intuito de verificar as diferenças existentes entre elas, usando como comparativo a Base do IPECE que foi obtida em uma escala que permite um maior detalhamento.

2.2. Manipulação dos Dados

Todas as bases foram reprojatadas para o sistema de projeção cartográfica UTM (*Universal Transverso de Mercator*), Fuso UTM 24 Sul.

Para a geração dos MDE, foi gerado um arquivo com os limites da área de estudo, considerados os limites terrestres de Caucaia – Ceará. Então, foram gerados os MDE SRTM, TOPODATA e IPECE. Para garantir uma resolução espacial comum, os MDE do SRTM e TOPODATA

foram reamostrados artificialmente para a resolução espacial de 30 m, compatibilizando-os com o MDE do IPECE.

A comparação entre os modelos foi feita tanto quantitativamente, baseando-se na subtração de imagens, nas análises da altimetria de pontos amostrais da base do IPECE e nas diferenças da delimitação das bacias, quanto qualitativamente, que se apoiou na comparação visual entre os resultados dos modelos, considerando as áreas de geração dos talwegues/drenagens.

O Modelo Numérico de Terreno (MNT), que acompanha os dados do SRTM, contém falhas em áreas do globo. Estas são originadas, principalmente, por duas maneiras: ocorrência de corpos hídricos e relevo acidentado (LUEDELING *et al.*, 2007). Tais falhas são chamadas de “sink” e, conforme Mendes e Cirilo (2001), caracterizam-se por áreas rodeadas por elevações com valores de cotas muito superiores às vizinhas, semelhantes a uma depressão, e são consideradas empecilhos ao escoamento durante a aplicação de modelos hidrológicos, sedimentológicos e de poluentes de origem difusa. Para corrigir essas falhas, foi utilizada a função “fill sinks”, que considera as altitudes dos “pixels” vizinhos para preencher os “sinks”, gerando, assim, o mapa de MNT com melhor consistência.

2.3. Geração dos MDE e Comparação entre os MDE

Após correção do MNT, é executada a função “flow direction”, que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo de água na rede de drenagem, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno (RENNÓ *et al.*, 2008). A direção de fluxo consiste em indicar, a partir de uma célula principal, para onde ele deverá seguir, de acordo com a declividade das células vizinhas (RAMME; KRUGER, 2007).

Em seguida, obtém-se o fluxo acumulado, que representa a rede hidrográfica (MENDES; CIRILO, 2001), através da função “flow accumulation”. O fluxo acumulado indica quantas células uma célula estudada (referência) recebe de contribuição de escoamento (RAMME; KRUGER, 2007), e é obtido somando-se a área das células na direção do fluxo ou escoamento. A obtenção dessa informação é

considerada complexa, uma vez que reúne características do comprimento de rampa e da curvatura horizontal.

A partir da informação de fluxo acumulado, é possível delinear a rede de drenagem, pois se pode então escolher o tamanho dos talwegues mínimos a serem considerados na geração. Para este trabalho, foram escolhidos talwegues com tamanho mínimo de 500 metros para todos os MDE. Este processo utiliza a operação “Stream Definition”.

Por fim, é feita a delimitação das bacias, processando os mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado, usando a função “Watershed”. O valor da área de cada bacia hidrográfica gerada corresponde à quantidade de células que são processadas. As informações são, por fim, convertidas para formato vetorial.

Essas operações são feitas para as três bases cartográficas (SRTM, TOPODATA e IPECE), tornando-se possível realizar o cruzamento das informações e extrair dados comparativos dos três modelos de elevação. Com isso, extraíram-se as áreas das bacias, os comprimentos de todos os talwegues e realizou-se comparação visual de sobreposição espacial das redes de drenagem geradas, bem como comparação do comprimento das redes de drenagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A ideia principal desta pesquisa foi realizar uma análise comparativa entre os dados altimétricos STRM, TOPODATA e a Altimetria do IPECE, disponíveis para o município de Caucaia, localizado na região Metropolitana de Fortaleza, estado do Ceará. Tal investigação motivou-se devido à carência de informações topográficas disponíveis para elaboração de projetos, sendo necessária análise de superfície do terreno. Pretende-se, assim, mostrar, através de análise comparativa, que tais informações têm níveis de precisão aceitáveis para estudos, anteprojetos e projetos básicos, e que é possível utilizar tais informações, as quais estão disponíveis sem custo.

3.1. Geração dos MDE

Para a geração do MDE do IPECE, foi feito um tratamento dos dados, a partir das curvas de nível.

Os dados do SRTM e TOPODATA já estavam em formato matricial, não necessitando de tal tratamento, mas foram reprojatados para que os dados apresentassem mesmo sistema de referência e de coordenadas (SIRGAS 2000 – UTM Fuso 24 Sul). As Figuras 1, 2 e 3 representam, respectivamente, os MDE obtidos usando os dados do IPECE, SRTM e TOPODATA. Para facilitar a comparação, foram atribuídas aos mapas digitais as mesmas palhetas de cores para representar as classes de altitude.

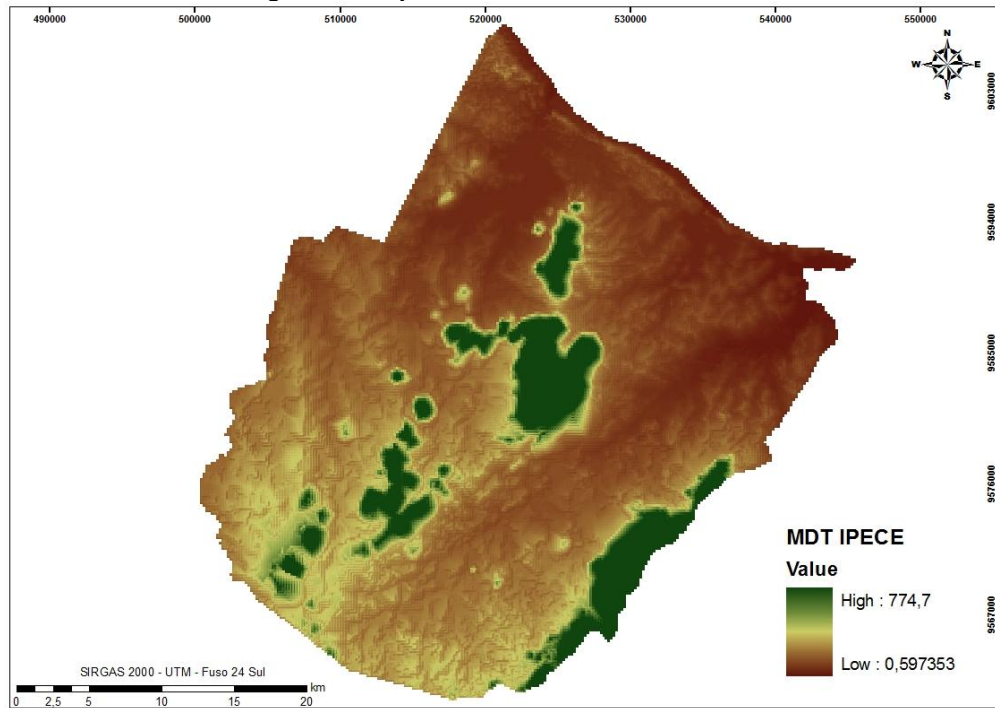
Como pode ser observado, os MDE do TOPODATA e SRTM apresentaram diferenças pequenas nas informações altimétricas, tendo uma variação de cota de 1 a 937 metros para o SRTM e -0,57 e 963 metros para o TOPODATA. Isso é explicado por existir uma aproximação entre esses dois modelos, pois o TOPODATA é uma derivação do SRTM com novos pontos amostrados para uma nova triangulação, a fim de gerar o MDE do TOPODATA.

Além disso, é possível perceber que os MDE do TOPODATA e da SRTM não têm grandes diferenças na conformação dos relevos. O MDE do IPECE apresentou a cota menor próxima a dos outros dois modelos, porém, a cota maior ficou bem abaixo dos outros, com 774 metros. Isso pode ser percebido no modelo de elevação do IPECE, que apresenta as áreas mais elevadas, um pouco maiores que as dos outros modelos. Ainda, verifica-se que o TOPODATA foi o modelo que apresentou a maior e a menor cota altimétrica dentre os três modelos distintos.

3.2 Diferenças Altimétricas entre Pontos Amostrados

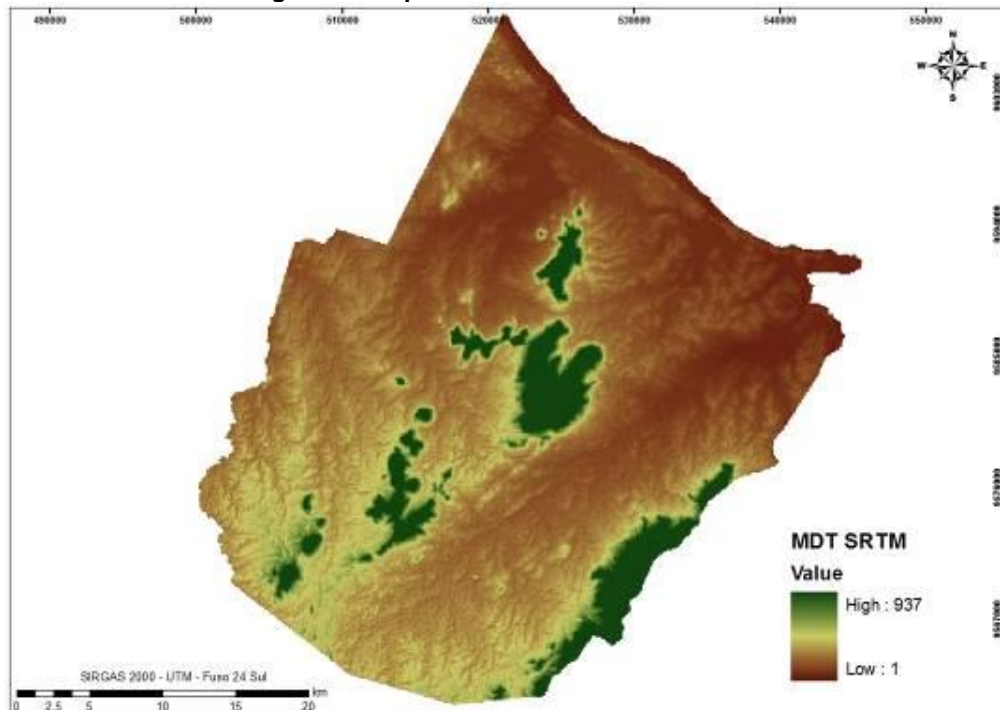
Com o objetivo de verificar as diferenças altimétricas dos modelos, foram escolhidos aleatoriamente 20 pontos de controle de campo, oriundos do levantamento aerofotogramétrico do município de Caucaia, onde foram obtidas suas altitudes nas diferentes bases cartográficas a partir dos *rasters* gerados. A Figura 4 é um mapa que ilustra a espacialização dos pontos amostrados, já a Figura 5 é um gráfico que compara as cotas entre os três modelos de elevação, no qual podem ser notadas detalhadamente as diferenças obtidas entre os pontos amostrados nos MDE.

Figura 1 – Mapa de Caucaia no MDT do IPECE



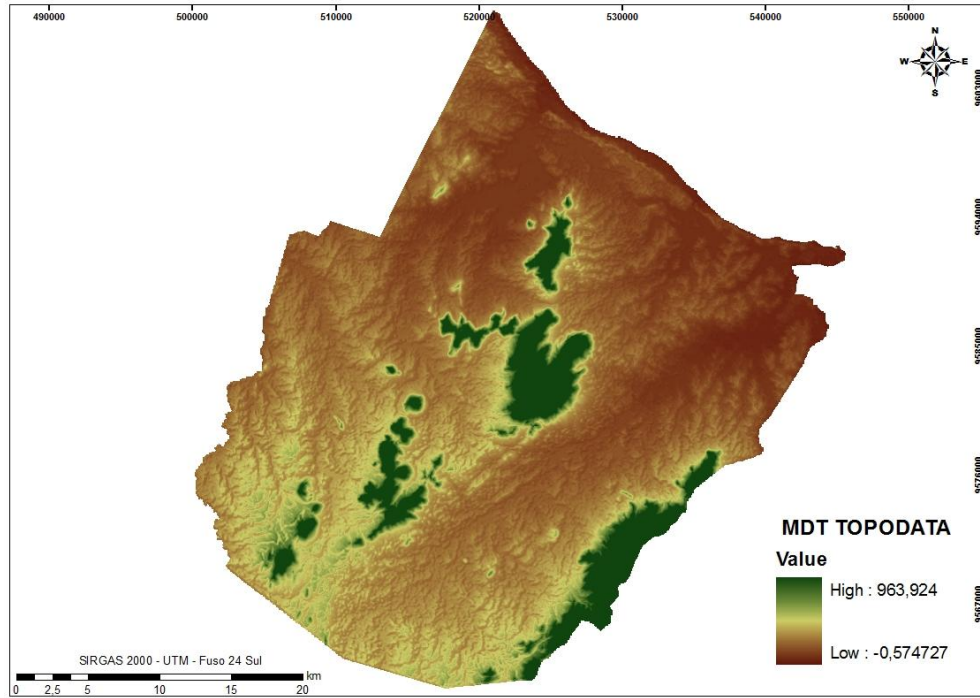
Fonte: os autores.

Figura 2 – Mapa de Caucaia no MDT do SRTM



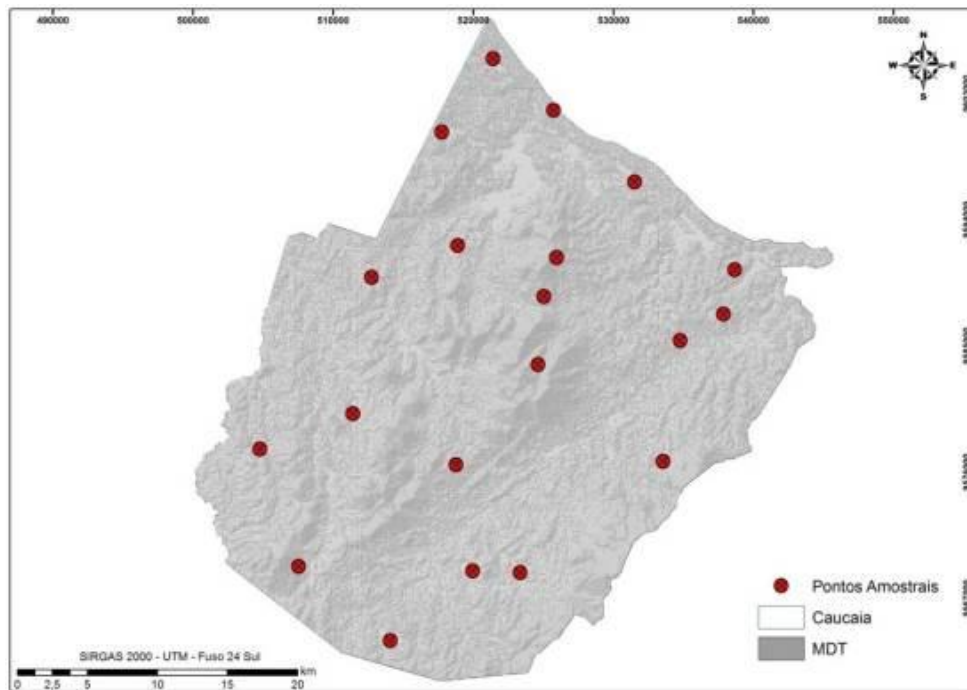
Fonte: os autores.

Figura 3 – Mapa de Caucaia no MDT do TOPODATA



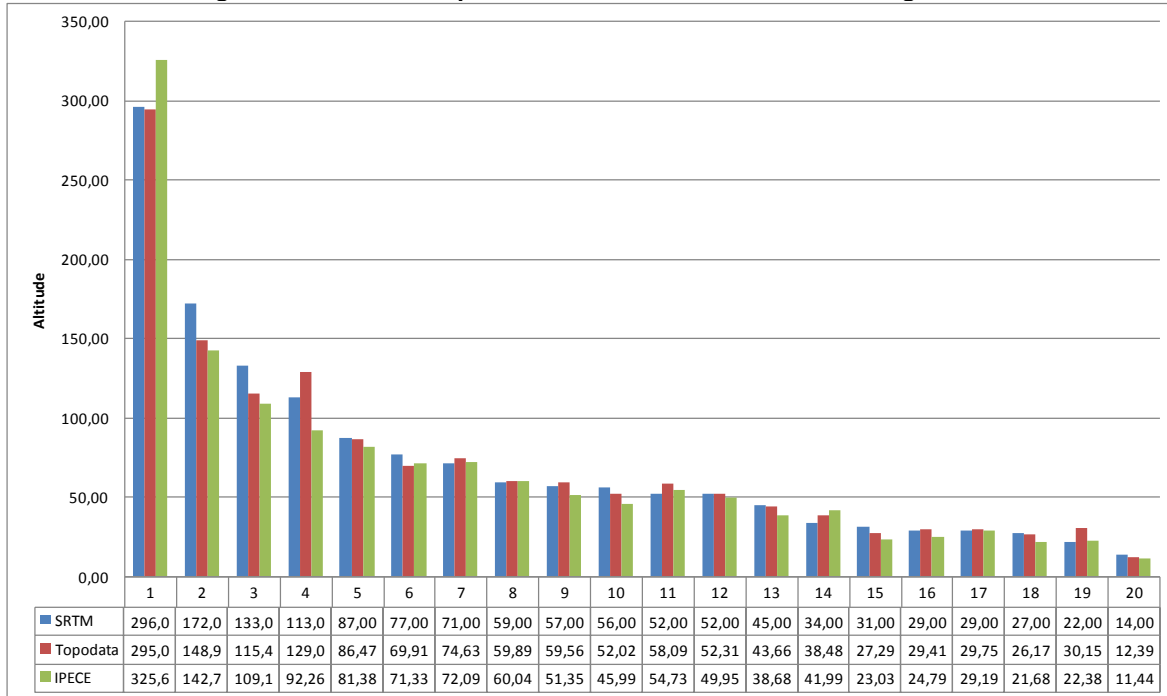
Fonte: os autores.

Figura 4 – Espacialização dos Pontos Amostrais



Fonte: os autores.

Figura 5 – Gráfico Comparativo das Altitudes das Bases Cartográficas



Fonte: os autores.

São identificadas expressivas diferenças entre as altitudes obtidas automaticamente a partir das fontes de dados SRTM, IPECE (pontos de controle de campo) e TOPODATA, reveladas pelo gráfico comparativo das altitudes dos MDE. Essas discrepâncias podem ser percebidas, principalmente, nas cotas mais elevadas; já para as cotas mais baixas, essas diferenças também são diminuídas. Contudo, já se esperava disparidade nas cotas, devido ao fato de os levantamentos serem oriundos de escalas e resolução espacial distintas para as três bases

3.3 Análise das Bacias Hidrográficas e da Hidrografia

A partir dos MDE obtidos, foram geradas várias bacias hidrográficas. Optou-se por usar apenas as cinco principais para fazer o comparativo. São elas: Rio Ceará, Rio Anil, Rio Cauípe, Rio Juá e Riacho São Gonçalo. Pode-se perceber pelas Figuras 6, 7 e 8 que as bacias ficaram com as conformações muito semelhantes para as três bases, contudo, a bacia do Rio Ceará

foi dividida em duas na base do IPECE. Isso ocorreu devido a uma maior exatidão desses dados. Já para as demais bases, foram geradas exatamente cinco bacias com valores de áreas muito próximos, conforme visto nos mapas das figuras apresentadas. A Figura 9 é um intercepto espacial entre as bacias geradas, sendo possível realizar um comparativo dos polígonos das áreas de delimitação das bacias drenantes da área em estudo.

Para uma análise visual, definida no mapa do intercepto, verifica-se um deslocamento visível entre as redes de drenagens, principalmente na bacia do Riacho São Gonçalo e Rio Cauípe.

Essas divergências são causadas devido ao método de aquisição da informação. Tomazoni *et al.* (2011) também detectaram tais disparidades. Segundo os autores, o problema está na interferência causada pela vegetação, uma vez que o sistema imageador capta a resposta de qualquer objeto que esteja acima do solo e não, necessariamente, da superfície terrestre, onde se encontram os leitos dos corpos hídricos.

Figura 6 – Bacias Hidrográficas (IPECE)



Fonte: os autores.

Figura 7 – Bacias Hidrográficas (SRTM)



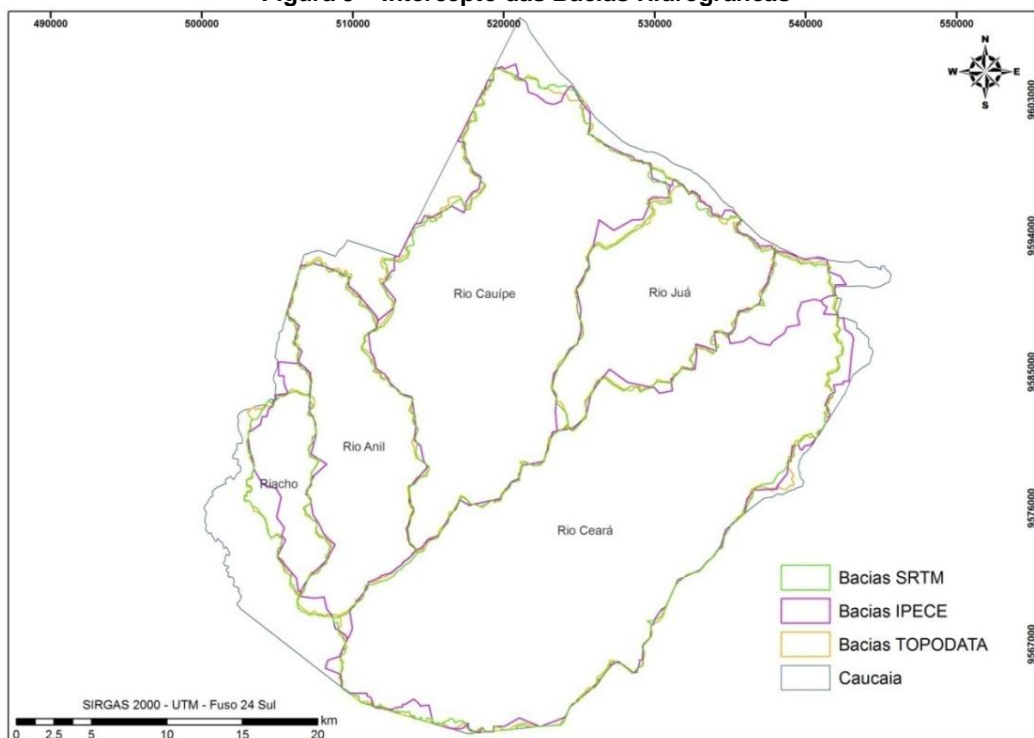
Fonte: os autores.

Figura 8 – Bacias Hidrográficas (TOPODATA)



Fonte: os autores.

Figura 9 – Intercepto das Bacias Hidrográficas



Fonte: os autores.

Na análise quantitativa ilustrada na Tabela 1, é possível observar uma diferença mínima nos valores das áreas das cinco bacias hidrográficas em km², para os três modelos distintos. Ressalta-se que, para realizar o comparativo entre as bacias, foi feito o somatório das duas bacias geradas no Rio Ceará, na base do IPECE.

As Figuras 10, 11 e 12 ilustram o traçado da rede de drenagem feito para cada MDE. A Figura

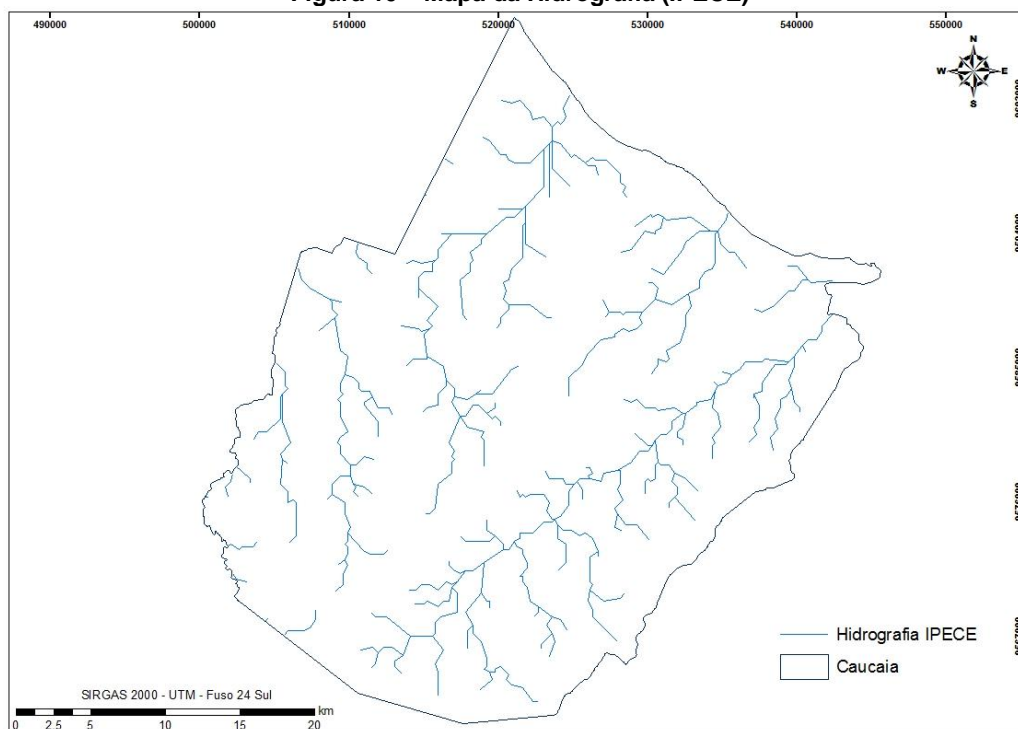
13 mostra o intercepto das redes, além de exibir o traçado disponibilizado pela ANA, na escala de 1:1.000.000. Para o município como um todo, o traçado da rede de drenagem, tanto a partir do MDE SRTM como do MDE TOPODATA, apresentou uma aproximação pouco satisfatória, em relação aos rios traçados a partir dos dados do IPECE, de maior precisão altimétrica.

Tabela 1 – Áreas das Bacias Hidrográficas em km²

Bacia	Área (km ²)		
	STRM	TOPODATA	IPECE
Rio Ceará	457	461	461
Rio Cauípe	304	299	307
Rio Juá	122	126	120
Rio Anil	128	126	126
Riacho	43	41	44

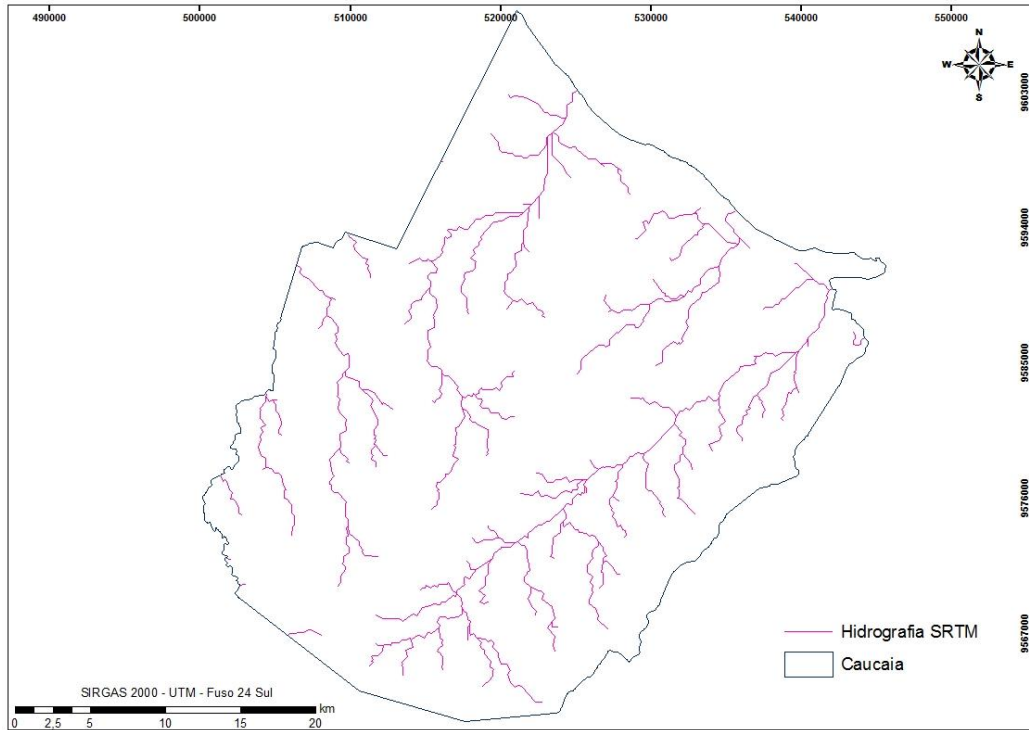
Fonte: os autores.

Figura 10 – Mapa da Hidrografia (IPECE)



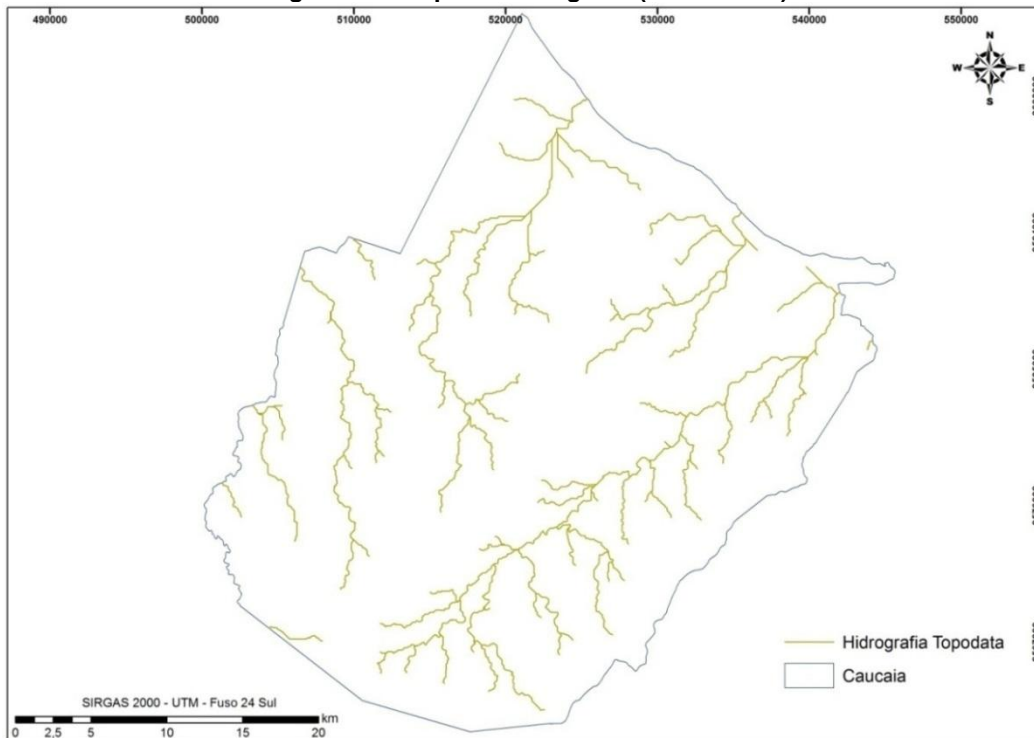
Fonte: os autores.

Figura 11 – Mapa da Hidrografia (SRTM)

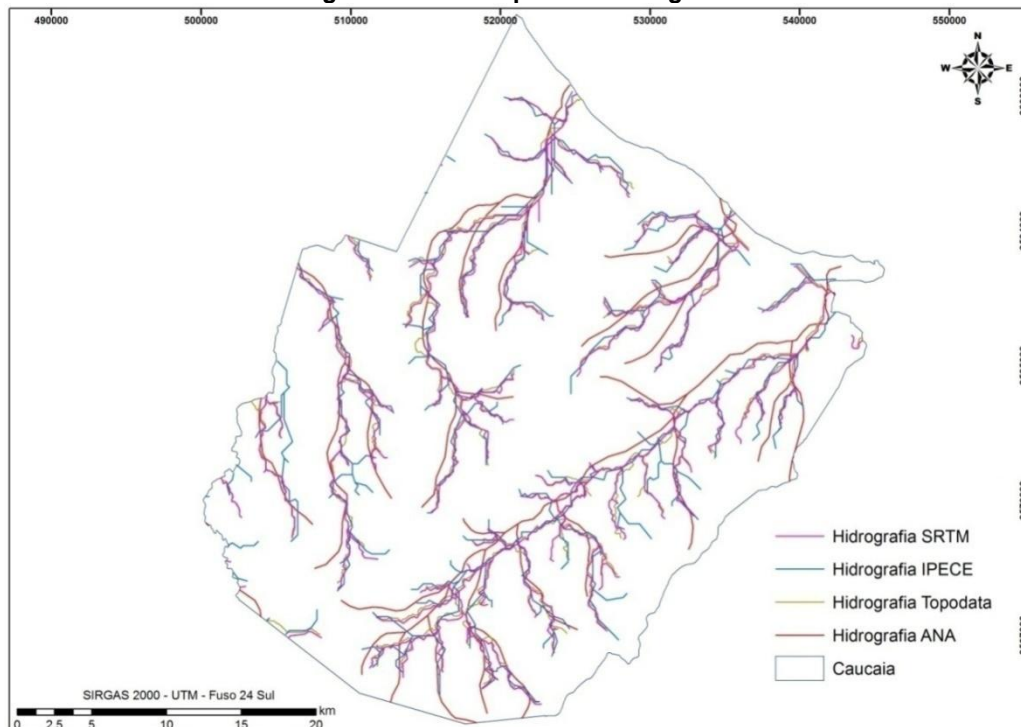


Fonte: os autores.

Figura 12 – Mapa da Hidrografia (TOPODATA)



Fonte: os autores.

Figura 13 – Intercepto das Hidrografias


Fonte: os autores.

Observando o mapa de interseção, verifica-se que os rios gerados para a base TOPODATA e SRTM apresentam uma maior concordância entre si, porém, quando sobrepostos com o IPECE, a concordância é diminuída tanto quando comparado com o TOPODATA, tanto com o SRTM. A hidrografia da ANA, também inserida no mapa de interseção, apresentou a maior discordância espacial quando comparada às demais redes de drenagem geradas pelos modelos em estudo. Isso foi feito para validar as localizações e as extensões das drenagens geradas pelos três modelos em

estudo, para então compará-los com a drenagem oficial do Brasil, que é o arquivo vetorial da ANA, mostrado na Figura 13 (o intercepto das drenagens).

Com objetivo de avaliar quantitativamente as redes de drenagens geradas, fez-se uma análise adicional das extensões dos talvegues para cada modelo, sem a preocupação de ordenação da derivação das drenagens. A Tabela 2 mostra e faz um comparativo das extensões dos talvegues em km para cada rio, em cada base altimétrica, no município de Caucaia.

Tabela 2 – Extensões das Drenagens Geradas

Drenagem	Extensão (km)		
	STRM	TOPODATA	IPECE
Rio Ceará	186,531	184,644	188,152
Rio Cauípe	106,181	105,87	113,275
Rio Juá	50,738	48,923	50,956
Rio Anil	44,532	41,461	46,017
Riacho	15,353	15,523	18,553
Total	403,335	396,421	416,953

Fonte: os autores.

Analisando os dados da Tabela 2, pode-se afirmar que o MDE do IPECE foi capaz de gerar uma maior extensão de canais de drenagem, seguido dos modelos de SRTM e TOPODATA, os quais apresentaram menores extensões de talwegues.

Fazendo uma análise mais detalhada, pode-se afirmar que dentre os três modelos, o IPECE gerou uma maior rede de drenagem para todas as bacias analisadas. Já o modelo SRTM gerou uma rede drenagem maior para as bacias dos rios Ceará, Cauípe, Anil e Juá, quando comparadas com rede gerada pelo modelo do TOPODATA. Este último gerou uma rede drenagem maior que o STRM apenas para a bacia do Riacho São Gonçalo.

De acordo com os resultados mostrados nos mapas e tabelas, é possível afirmar que as três bases cartográficas existentes podem ser de grande valia para uso em: projetos de delimitação de áreas de barragens, drenagem, EIA/RIMA, identificação de quedas para aproveitamento hidrelétrico, modelagem hidrológica, projetos de saneamento, dentre outras aplicações.

4. CONCLUSÕES

Para a geração das bacias hidrográficas, foi observado que os três modelos têm uma concordância quantitativa muito próxima, gerando áreas de drenagem muito semelhantes, com diferenças de área em torno de 6 km² para as bacias maiores e 3 km² para as bacias menores, porém, do ponto de vista de concordância espacial, os três modelos destoaram. A visualização das diferenças entre as drenagens definidas automaticamente revelou forte discordância entre a configuração dos segmentos definidos pelos dados SRTM, TOPODATA e IPECE.

O processamento dos dados permitiu inferir que, para estudos de altitude e geração de rede drenagem e bacias, a utilização das imagens SRTM, TOPODATA e IPECE apresentou resultados satisfatórios. Então, podem servir de instrumento em estudos voltados a áreas em que há ausência de informações. Entretanto, não se pode deixar de considerarem, em pesquisas que utilizem esses dados, as dimensões da bacia hidrográfica de estudo.

Analisando os MDE gerados, tem-se que cada “pixel” abrange uma área muito grande, de pelo menos 100 m² para a melhor resolução. Sendo assim, nesses 100 m² se terá o mesmo valor de altitude. Essa generalização pode não representar bem a realidade do terreno, além de influenciar também na escolha do MDE e no nível de qualidade pretendido com o trabalho.

Essas bases podem ser utilizadas para estudos ambientais de grande escala, anteprojeto e pré-projetos de engenharia, bem como análise de relevo/paisagem. No entanto, para projetos mais detalhados em pequena escala, recomenda-se utilizar umas dessas bases com pontos adicionais de amostragem e realizar uma retriangulação com esses novos pontos, a fim de melhorar a exatidão das informações.

REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, F. Techniques and strategies for DEM generation. In: **American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)**. Digital photogrammetry an addendum to the manual of photogrammetry. Bethesda: Ed. Cliff Greve, 1996. chapter 6. p. 135-149.
- BISPO, P.C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Relação entre as variáveis morfométricas extraídas de dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e a vegetação do Parque Nacional de Brasília. **Acta Botânica Brasília**, v. 24, n.1, p. 96-103, 2010.
- CARVALHO, T.M.; BAYER, M. Utilização dos produtos “Shuttle Radar Topography Mission” (SRTM) no mapeamento geomorfológico de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 9, n. 1, p. 35-41, 2008.
- CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHA, E.I.; ROCHA, M.F.; CARVALHO JÚNIOR, W.; SOUZA NETO, N.C.. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010.
- FALCÃO, M.T.; COSTA, J.A.V. Geomorfologia da região centro-norte de Roraima utilizando técnicas de tratamento e interpretação de imagens raster da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1484-1496, 2012.
- FREITAS, E.P.; KLOSS, D.; SILVA, I.R. Delimitação de bacia hidrográfica no ambiente Google Earth. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 97-104, 2012.
- GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S.S. Aplicação dos modelos de elevação SRMT em

geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p.73-83, 2008.

HENGL, T.; GRUBER, S.; SHRESTHA, D.P. Reduction of errors in digital terrain parameters used in soil landscape modelling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, n. 2, p. 97-112, 2004.

LUEDLING, E.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, New York, v. 62, n. 4, p. 283-294, 2007.

MARTINS, V.S.; GUEDES, H.A.S.; CAPOBIANGO, G.V.; SILVA, D.D. A importância do condicionamento hidrográfico no estudo morfométrico de bacias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba: INPE, 2011. p. 5418-5425.

MENDES, C.A.B.; CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MOURA, D.M.B.; SOUSA, F.A. Descrição geológica da bacia hidrográfica do Córrego das Vacas em Diorama – GO. **Geoambiente On-Line**, Jataí, n. 23, p. 66-82, jul./dez. 2014.

NETO, J.C.A.S. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 05-25, jan./abr. 2013.

PIRES, J.M.; RIBEIRO, C.A.A.S.; NASCIMENTO, M.C.; SANTANA, R.M. Análise da exatidão de diferentes métodos de interpolação para geração de modelos digitais de elevação e obtenção de características morfométricas em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 2, p. 39-47, 2005.

RAMOS, J.A.S.; SILVEIRA, C.S.; ROIG, H.L. Desenvolvimento de um algoritmo para a determinação do fluxo e da hierarquia de canais de drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO

REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 3027-3034.

RAMME, E.J.; KRUGER, C.M. Delimitação de bacias hidrográficas com auxílio de geoprocessamento In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

SOBRINHO, A.T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, jan./fev. 2010.

TEODORO, V.L.I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J.L.; FULLER, B.B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, p. 137-157, 2007.

TESTONI, A.J. A importância da topografia na recuperação de áreas degradadas. **Unoesc & Ciência – ACET**, v. 1, n. 1, p. 21-30, jan./jun. 2010.

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, E.; GOMES, T.C.; SILVA, T.G. Uso de Modelo digital de elevação gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para caracterização da rede de drenagem do Município de Renascença no Sudoeste do Estado do Paraná (Use of Digital Elevation Model Generated from the SRTM and ASTER GDEM for...). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, p. 365-376, 2011.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.

ZHANG, H. *et al.* Uncertainty assessment of climate change impacts on the hydrology of small prairie wetlands. **Journal of hydrology**, v. 396, n. 1, p. 94- 103, 2011.