

INFLUÊNCIA DOS DADOS AMOSTRAIS E DO PÓS-PROCESSAMENTO NA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DO LIMITE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Weriskiney Araújo Almeida^{1*} & Michel Castro Moreira²

Resumo – O presente trabalho teve por objetivo analisar a influência dos dados amostrais e do pós-processamento na delimitação automática do limite da bacia hidrográfica do rio Grande. A fim de se proceder a delimitação automática do limite da bacia, foram utilizados os dados da hidrografia e altimetria na geração de modelos digitais de elevação (MDE). No processo de geração foram desenvolvidos diversos MDE a partir da alteração dos dados amostrais de hidrografia e as etapas de pós-processamento (*stream burning*). De posse dos modelos gerados foi realizada a delimitação automática do limite da bacia utilizando-se a ferramenta *basin* do módulo *Spatial Analyst* do software ESRI ArcGIS. A análise das delimitações consistiu na comparação das áreas de drenagem obtidas a partir dos modelos gerados. A análise dos resultados permitiu verificar que a consideração da drenagem do entorno da bacia levou a delimitações de traçado da bacia mais corretas. Além disso, o desenvolvimento dos MDE sem a realização de pós-processamento não corrigiu os erros de delimitação. Os erros no traçado dos limites da bacia podem ter maior influência quando se pretende delimitar bacias de pequeno porte ou em situações nas quais se precisa de delimitações mais exatas.

Palavras-Chave – delimitação automática, Topo to Raster, stream burning.

INFLUENCE OF SAMPLE DATA AND POST PROCESSING IN THE LIMITS OF BASINS AUTOMATICALLY GENERATED

Abstract – The purpose of this paper is to analyze the influence of the sample data and post processing in the automatic delimitation of the boundary of the Grande river basin. In order to proceed the automatic delineation of the basin boundary, data from hydrography and altimetry in the generation of digital elevation models (DEM) were used. In the generation process were developed several DEM by the alteration of the sample data of the hydrography and post-processing steps (*stream burning*). The automatic delimitation of boundary of the basin was performed using the basin tool of module *Spatial Analyst* of the software ESRI ArcGIS. The analysis consisted in comparing the boundaries of drainage areas obtained from the models generated. The analysis has shown that the consideration of the surrounding drainage basin boundaries led to trace the basin more correct. Furthermore, the development of DEM without performing post-processing do not corrected boundary errors. Errors in the traced of the boundaries of the basin may have greater influence when it intends to delimit small basins or in situations in that need more accurate boundaries.

Keywords – automatic delineation, Topo to Raster, stream burning.

¹ Eng^o. Sanitarista e Ambiental. Mestrando em Eng. Hidráulica e Saneamento, USP/EESC, São Carlos-SP, weriskiney@gmail.com. Bolsista CAPES.

² D.Sc. em Engenharia Agrícola, UFBA/ICADS, Barreiras-BA, michelcm@ufba.br.

* Autor correspondente.

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é a área definida topograficamente drenada por um curso d'água ou um sistema conectado de cursos d'água, de modo que toda a vazão efluente seja descarregada através de uma saída (Barbosa Junior, 2012). No Brasil, ela é a unidade territorial de aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), conforme a Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997). Essa unidade é uma das bases para aplicação dos instrumentos da PNRH, como os planos de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, a outorga e a cobrança pelo uso de recursos hídricos, e os sistemas de informações sobre recursos hídricos (Sobrinho *et al.*, 2010).

A área de drenagem de uma bacia hidrográfica é um dos parâmetros básicos para o cálculo das suas demais características físicas, tais como tempo de concentração, fator de forma, coeficientes de compacidade e de manutenção e índice de rugosidade (EPAGRI, 1997). É também um importante parâmetro primário para estudos relacionados aos recursos hídricos, como a regionalização de vazões e a determinação da área de contribuição de uma seção de interesse.

Lovell e Atkinson (2004) constataram que o desenvolvimento de ferramentas computacionais integrados a Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornou possível a delimitação automática da área de drenagem, uma vez que, até então, os métodos utilizados para esse fim eram apenas manuais. Os métodos manuais geravam, muitas vezes, resultados inconsistentes, dado o seu caráter subjetivo e o emprego de procedimentos simplificados para minimização de custos e do tempo de projeto (Merkel *et al.*, 2008).

O uso de computadores e o desenvolvimento dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) permitiram que fossem obtidos dados objetivos, mais acurados e consistentes em um período de tempo relativamente curto (Merkel *et al.*, 2008). Sobrinho *et al.* (2010) afirmaram, ainda, que essa evolução permitiu que conflitos quanto à fixação da unidade elementar de gestão dos recursos hídricos no Brasil fossem minimizados.

O MDE é a representação numérica da distribuição espacial da altitude de um terreno, sendo uma importante fonte de informações topográficas para a delimitação automática de bacias hidrográficas em SIG. O MDE é obtido frequentemente de dados resultantes da amostragem feita por sensores espaciais, pois esses dados são simples, facilitam o processamento e possuem eficiência computacional (Martz e Garbrecht, 1992).

Dentre esses sensores, destaca-se o sensor da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM)³, o qual utiliza uma técnica rápida e acurada de amostragem de dados, disponibilizando publicamente dados altimétricos em escala global por intermédio do *United States Geological Survey* (USGS).

Para estudos de natureza hidrológica, o MDE de uma bacia hidrográfica deve garantir a convergência do escoamento superficial ao longo da drenagem mapeada. Assim, antes da utilização dos dados brutos obtidos por radar, os erros de amostragem presentes devem ser corrigidos. O tratamento dos dados altimétricos, bem como a avaliação crítica e checagem dos resultados obtidos são importantes etapas para se garantir a consistência hidrológica do modelo digital (Chaves, 2002).

Dada a constatação de que o conhecimento da área de drenagem de uma bacia e a sua delimitação automática são importantes para a condução de estudos de natureza hidrológica e que as etapas de geração definem a consistência do modelo digital de elevação, o presente trabalho tem por objetivo analisar a influência dos dados amostrais e do pós-processamento na obtenção automática do limite da bacia hidrográfica do rio Grande.

³ <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Situada no médio São Francisco (Figura 1), a bacia do rio Grande representa 12,6% da área de drenagem do rio São Francisco, sendo a sua maior sub-bacia (Pereira *et al.*, 2007). A bacia, localizada no oeste do Estado da Bahia, concentra a fatia mais expressiva do agronegócio do Estado, respondendo por mais de 80% da produção de grãos, com matriz produtiva diversificada, tecnificada e qualificada. Isso ocorre de maneira especial devido a existência de amplas áreas de Cerrado e boas condições de produção, como topografia plana propícia à mecanização, condições climáticas bem definidas, boa disponibilidade de água e luminosidade; que permitem o crescimento da ocupação e do desenvolvimento da região (AIBA, 2010).

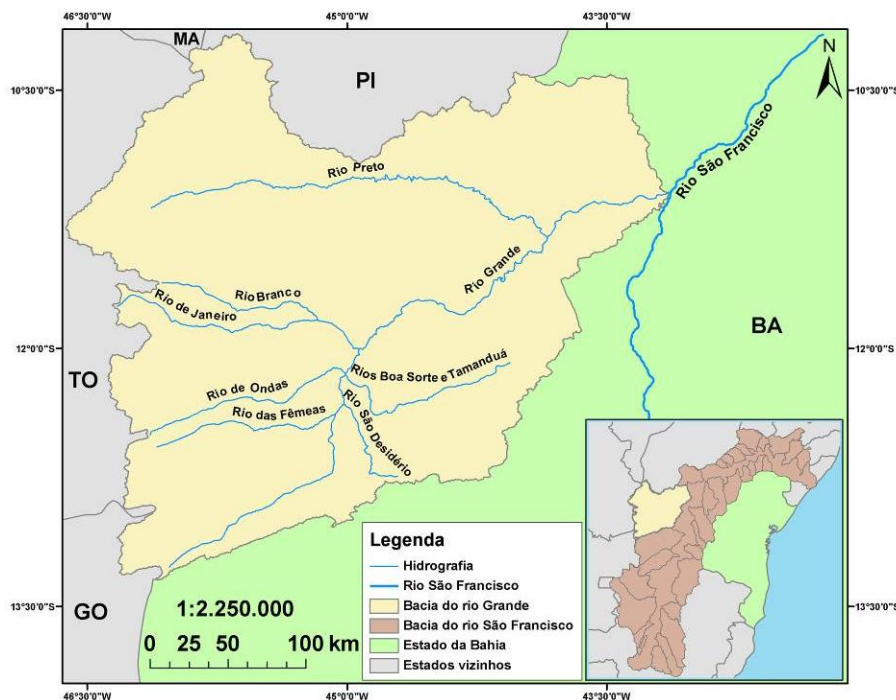


Figura 1 – Localização da Bacia do rio Grande

2.2. Geração do Modelo Digital de Elevação

O modelo digital de elevação (MDE) é o dado básico para a delimitação automática do limite da bacia hidrográfica. A metodologia utilizada para seu desenvolvimento consistiu em cinco etapas, conforme descritas por Chaves (2002) e Pires *et al.* (2005), sendo estas: amostragem, pré-processamento dos dados amostrais, geração do MDE, pós-processamento do MDE e validação do MDE.

Os dados utilizados na amostragem foram a hidrografia da bacia e da região em seu entorno; e os dados altimétricos da região. A hidrografia da bacia do rio Grande (Figura 2a) foi obtida, na escala topográfica de 1:100.000, junto à Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI). Para a hidrografia do entorno, considerou-se apenas a hidrografia das regiões de nascentes das bacias vizinhas à bacia do rio Grande.

Em relação à amostragem dos dados de altimetria, foram utilizados os dados de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (Figura 2b).

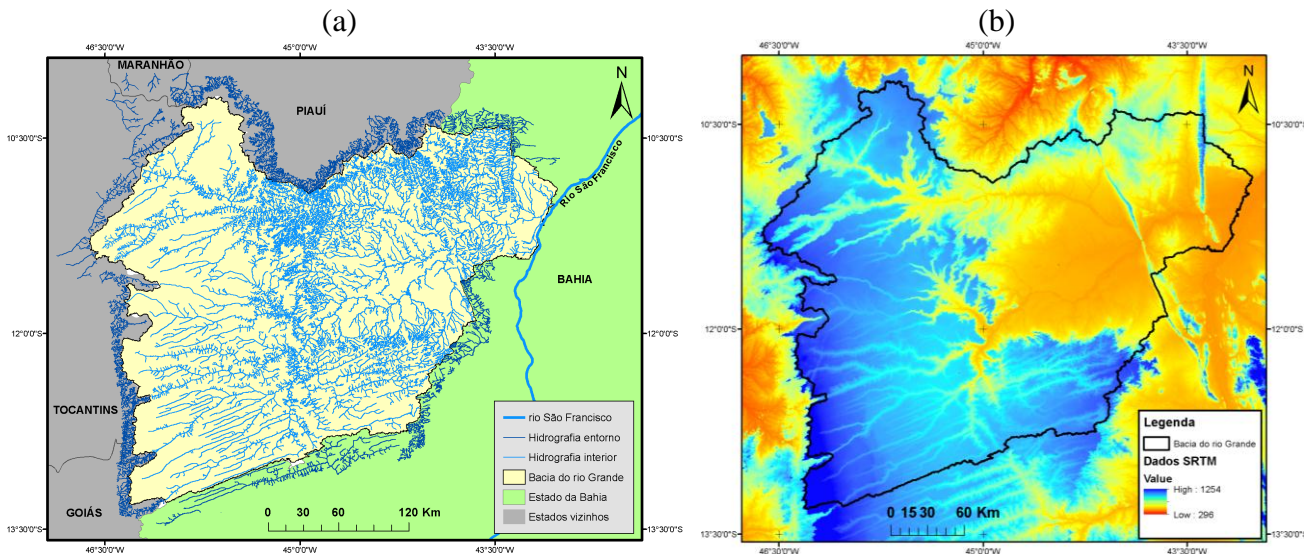


Figura 2 – Dados amostrais da bacia do rio Grande: (a) hidrografia mapeada na escala topográfica de 1:100.000; e (b) dados de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Visando consistir os dados hidrográficos obtidos da SEI, no pré-processamento da hidrografia do interior e do entorno da bacia efetuaram-se operações manuais e automáticas em busca de segmentos descontínuos e sem a ordem de direção de escoamento, bem como a transformação de regiões alagadas e rios de margens duplas em unifilar.

O pré-processamento dos dados altimétricos consistiu na realização de um mosaico das imagens SRTM, que abrangesse a área de estudo; bem como na adequação dos sistemas de coordenadas geográficas dos dados amostrais.

A etapa de geração do MDE foi realizada a partir da interpolação dos dados amostrais. Dada a existência de diferentes algoritmos computacionais para esse fim, utilizou-se o algoritmo TOPOGRID (Topo to Raster), uma vez que nos trabalhos de Pires *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2012), concluiu-se que o TOPOGRID (Topo to Raster) apresentou exatidão hidrológica superior a outros algoritmos na obtenção de modelos digitais de elevação.

O pós-processamento teve como objetivo refinar o modelo digital interpolado, eliminando erros persistentes do processamento. Para isso, utilizou-se a técnica chamada *stream burning*, ou aprofundamento da hidrografia no relevo digital. Essa técnica consiste da imposição da hidrografia mapeada no modelo digital. Sempre que existir uma violação das condições de altimetria, o traçado da drenagem mapeada é respeitado (Hutchinson, 1989).

Ao final das etapas de interpolação e de pós-processamento do MDE, foram eliminadas as depressões espúrias, que são células cujo valor de elevação é menor que os valores das células vizinhas, e que, por esse motivo, provocam descontinuidade no escoamento superficial. Para isso, utilizou-se a ferramenta *Fill* do *software* ESRI ArcGIS. Em seguida, para a validação do MDE, realizou-se a comparação visual entre a drenagem obtida automaticamente utilizando-se o MDE gerado e a hidrografia mapeada (Jenson e Domingue, 1988).

Visando analisar a influência dos dados amostrais e do pós-processamento na obtenção automática do limite da bacia hidrográfica do rio Grande, foram utilizados cinco modelos digitais de elevação (Dados SRTM, MDE11, MDE12, MDE21 e MDE22), conforme se apresenta na Figura 3. Na obtenção dos modelos foram considerados os dados brutos do SRTM (Dados SRTM) e os modelos nos quais foram variados os dados amostrais (hidrografia sem entorno e hidrografia com entorno) e as condições de pós-processamento (sem utilização de *stream burning*-MDE e utilização de *stream burning*).

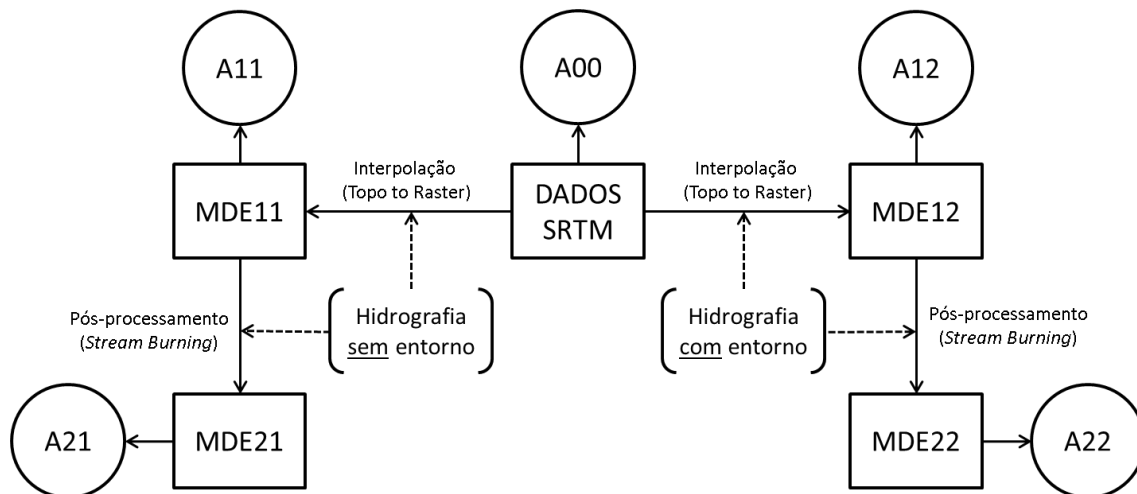


Figura 3 – Nomenclatura utilizada para as áreas de drenagem obtidas automaticamente (A00, A11, A12, A21 e A22) e seus respectivos processos de obtenção.

2.3 Delimitação e análise das áreas de drenagem da bacia

A obtenção automática da área de drenagem dos dados brutos do SRTM, dos modelos sem pós-processamento stream burning e com pós-processamento *stream burning* foi realizada utilizando a ferramenta *basin* do módulo *Spatial Analyst* do software ESRI ArcGIS.

Conforme os MDE, foram geradas cinco áreas de drenagem, sendo elas: A00 – área de drenagem obtida a partir dos dados do SRTM; A11 – área de drenagem obtida do modelo gerado pela hidrografia sem entorno; A12 – área de drenagem obtida do modelo gerado pela hidrografia com entorno; A21 – área de drenagem obtida do modelo gerado pela hidrografia sem entorno e utilizando o pós-processamento com *stream burning*; e A22 – área de drenagem obtida do modelo gerado pela hidrografia com entorno e utilizando o pós-processamento com *stream burning*.

A análise dos modelos foi realizada de forma qualitativa e consistiu na comparação visual das figuras dos traçados obtidos em cada uma das condições de geração dos MDE.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 apresenta-se a bacia do rio Grande delimitada de acordo com as cinco áreas de drenagem (A00, A11, A12, A21 e A22). Pela análise da figura, observa-se que existem diferenças entre as áreas de drenagem obtidas automaticamente a partir dos modelos gerados. Devido a tais diferenças, é necessário realizar uma análise a fim de se determinar qual modelo melhor representa os limites da bacia.

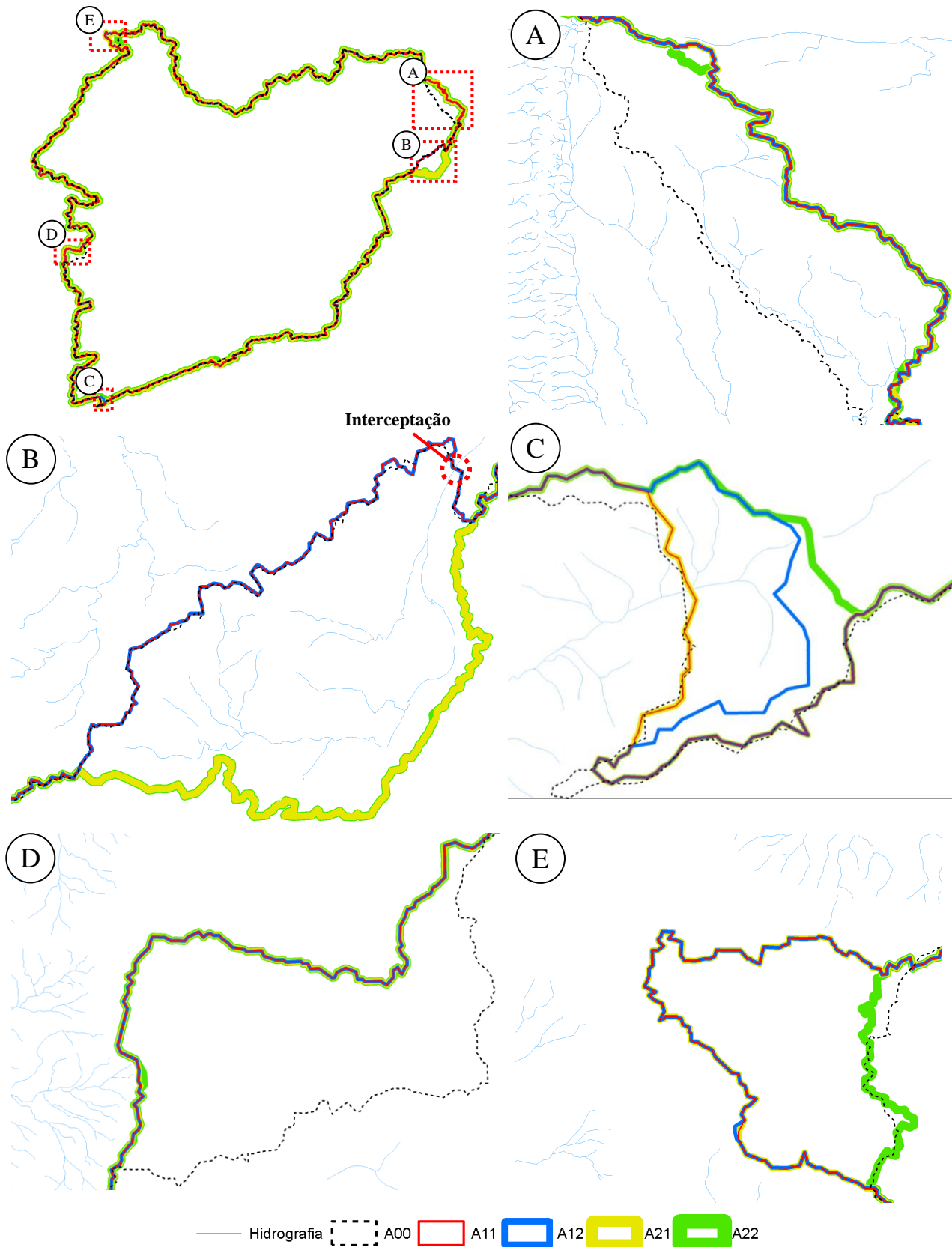


Figura 4 – Comparação entre as áreas de drenagem obtidas para a bacia do rio Grande, destacando-se as áreas de maior divergência na delimitação (A a E).

Nas Figuras 4A e 4D percebe-se que as etapas de processamento (interpolação) e pós-processamento (*stream burning*) corrigem o traçado da bacia obtido a partir do MDE original (A00), fato evidenciado na Figura 4A, em que uma área de aproximadamente 490 Km² foi desconsiderada como pertencente à bacia do rio Grande pela delimitação utilizando apenas os dados SRTM sem tratamento.

Na Figura 4B verifica-se que as áreas A11 e A12 foram delimitadas de modo inconsistente, pois seus limites interceptam a drenagem mapeada e desconsideram toda área de drenagem (~450 Km²) à montante desse ponto de intersecção. Não houve influência da hidrografia do entorno, devido ao fato de, na escala de estudo (1:100.000), ela não estar presente. Por outro lado, o aprofundamento da hidrografia influenciou na delimitação, como se observa pelo traçado das áreas A21 e A22. Esse resultado mostra a importância do aprofundamento da calha do rio para a correta delimitação topográfica da bacia.

Na Figura 4C verifica-se que o uso da hidrografia do entorno gerou as feições mais consistentes (ver traçados de A12 e A22). Por outro lado, as áreas A11 (interpolação usando apenas a hidrografia do interior) e A21 (interpolação e pós-processamento usando apenas a hidrografia do interior) geraram uma delimitação que intercepta parte da rede de drenagem do entorno da bacia.

A comparação entre as áreas A21 e A22 mostra que, mesmo fazendo-se o pós-processamento com aprofundamento da calha dos rios, não considerar a drenagem circunvizinha na etapa de interpolação pode gerar erros de delimitação da área de drenagem. A observação da área A12 (interpolação usando a hidrografia com o entorno) da Figura 4C, por sua vez, permite inferir que o processo de interpolação evitou ao máximo que a área delimitada interceptasse a drenagem do entorno. A área A22 possui uma delimitação mais consistente, isto é, que mais se aproxima de uma divisão de águas entre a drenagem do interior e a do entorno.

Na Figura 4E, os limites de A11, A12 e A21 se sobrepõem, enquanto que os limites de A22 e A00 desconsideram a área incluída por aqueles limites. A região entre as áreas delimitadas possui uma diferença de cota de apenas 30 m (considerando-se os dados de elevação sem tratamento), podendo assim, ocorrer significativas exclusões e inclusões de áreas devido a erros nos processos de interpolação e pós-processamento.

De modo geral, verifica-se que os processos de interpolação e pós-processamento dos dados amostrados foram importantes para a correção dos erros de delimitação. As áreas A11 e A21, que não consideraram a hidrografia circunvizinha, apresentaram erros de delimitação. Já as áreas A12 e A22 mostraram que a consideração da drenagem do entorno corrige o traçado da bacia, com destaque para A22. As drenagens próximas ao limite da bacia interferem na delimitação automática. Essa interferência pode ser bastante significativa na delimitação de bacias de pequeno porte ou que tenham grande densidade de drenagem próxima de seus limites.

4. CONCLUSÕES

A análise dos resultados permite concluir que a melhor delimitação foi obtida a partir do modelo digital de elevação gerado com a hidrografia do interior da bacia e os segmentos de rios de seu entorno, e passou pelos processos de interpolação e aprofundamento da hidrografia mapeada.

5. AGRADECIMENTOS: À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (2010). *Anuário da Região Oeste da Bahia: Safra 2009/2010*. Barreiras: Editora Gazeta Santa Cruz. 55 p.
- BARBOSA JUNIOR, A. R. (2012). *Bacia hidrográfica*. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~carloveduardo/11Bacia_Hidrografica.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2012.
- BRASIL, Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (1997). Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 1997002E
- CHAVES, Marcelo de A. (2002). *Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica*. Viçosa, MG: UFV. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- EPAGRI (1997). *Plano de gestão e gerenciamento da bacia do rio Araranguá*. Florianópolis-SC.
- HUTCHINSON, M. F. (1989). 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.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, p. 1593-1600.
- LOVELL, T. L.; ATKINSON, E. (2004) From Slide Rules to GIS: A 35-year Evolution in Hydrologic and Hydraulic Engineering. *Water Resources and Environmental History*, p. 5-10.
- MARTZ, L. .; GARBRECHT, J. (1992). Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models. *Computers & Geosciences*, v. 18, n. 6, p. 747-761.
- MERKEL, W. H.; KAUSHIKA, R. M.; GORMAN, E. (2008). NRCS GeoHydro - A GIS interface for hydrologic modeling. *Computers & Geosciences*, v. 34, n. 8, p. 918-930.
- OLIVEIRA, A. H. *et al.* (2012). Consistência Hidrológica de Modelos Digitais de Elevação (MDE) para Definição da Rede de Drenagem na Sub-bacia do Horto Florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 36, n. 4, p. 1259-1267.
- PEREIRA, S. B. *et al.* (2007). Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 6, p. 615-622.
- PIRES, J. M. *et al.* (2005). 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.
- SOBRINHO, T. A. *et al.* (2010). Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, v. 30, n. 1, p. 46-57.