

EXTRAÇÃO DE REDE DE DRENAGEM POR DIFERENTES TIPOS DE MDE

Ulisses Alencar Bezerra ¹
João Maria de Andrade ²
José Benito de Andrade ³
Iana Alexandra Alves Rufino ⁴

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi a extração da rede de drenagem por diferentes produtos de MDE, o SRTM (30m), ALOS/PALSAR (12,5m) e dados LiDAR (10m), e comparar suas respectivas redes de drenagem com a Base Hidrográfica Ottocodificada da Agência Nacional das Águas (ANA). Foi desenvolvido um modelo que extraísse a rede de drenagem automaticamente, para isso utilizou-se o modelador gráfico disponível no QGIS, que permite utilizar diversos algoritmos em um único processo. Este estudo verificou que a rede de drenagem variou de acordo com o tamanho do pixel de cada sensor. Para compatibilizar as redes extraídas pelo algoritmo foi desenvolvido uma equação para encontrar o valor mínimo de acumulação de fluxos para os diferentes tipos de MDE. Foi observado que ao aplicar essa equação, as redes de drenagem dos diferentes MDE obtiveram uma maior semelhança entre si. A extração da rede de drenagem do MDE que obteve o maior percentual em concordância com a da ANA foi a rede de drenagem extraída com o MDE de maior resolução espacial (LiDAR 10m). Este trabalho permitiu destacar a importância da extração da rede de drenagem automática via MDE, uma vez que existem locais em que não possuem uma base cartográfica confiável como a da ANA, sendo assim a escolha de um MDE apropriado que represente a rede de drenagem, envolve diferentes critérios como a resolução espacial e a disponibilidade do produto do MDE.

Palavras-chave: LiDAR, ALOS/PALSAR, Modelador de processamento, *Software* livre.

¹ Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Campina Grande (PB), Brasil. Fone: +55 83 3332-0243 E-mail: ulisses.alencar17@gmail.com;

² Graduado pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, andradejmn@gmail.com;

³ Graduado pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, josebenitoeng@gmail.com;

⁴ Professor Associado da Universidade Federal de Campina Grande, iana.alexandra@ufcg.edu.br;

INTRODUÇÃO

A análise da topografia é uma etapa fundamental para a compreensão hidrológica do local analisado. Pode-se delimitar bacias hidrográficas e compreender o traçado da sua rede de drenagem, além da influência exercida pela topografia entre tantos outros processos físicos que ocorrem na bacia hidrográfica, como infiltração, escoamento superficial, tempo de concentração, entre outros (ENDRENY et al., 2000).

No processo de delimitação automática de bacias hidrográficas em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), são utilizadas informações de relevo, que podem ser representadas por uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada Modelo Numérico de Terreno (MNT), que pode ser obtido por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou através de imagens de sensores remotos (ALVES SOBRINHO et al., 2010).

O uso de MNTs, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE) tem se difundido como superfície base para estudos em diversas áreas da ciência e em grande parte para análises ambientais. Os MDE simulam o relevo e as cotas altimétricas, e podem ser obtidos por processos fotogramétricos, cartas topográficas e sensores variados (FERNANDES et al, 2012).

A utilização de MDE torna-se estratégica especialmente em países como o Brasil que apresenta baixa cobertura de mapeamento topográfico de média e grande escala, pois possibilita a obtenção de variáveis geomorfométricas em regiões não mapeadas (VALERIANO; ROSSETTI, 2012). Assim, o uso de MDE tem favorecido o desenvolvimento de pesquisas em pequenas e médias bacias hidrográficas, auxiliando no reconhecimento de suas características físico-ambientais, algo imprescindível ao processo de gestão dos recursos naturais (MORAES E SALES 2016).

Diante do apresentado este trabalho tem como objetivo principal a extração da rede de drenagem por diferentes produtos de MDE, com resoluções espaciais distintas, entres eles o *Shuttle Radar Topographic Mission - SRTM (30m)*, *Advanced Land Observating Satellite ALOS - (12,5m)* e dados *Light Detection And Ranging - LiDAR (10m)*, e comparar suas respectivas redes de drenagem com a disponibilizada pela Agência Nacional das Águas (ANA).

METODOLOGIA

Área de Estudo

A motivação da escolha da localização se deu em função das imagens do LiDAR. Os usuários podem fazer o *download* das imagens diretamente no *site* do projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D). Pernambuco possui o acervo de todo o estado, entretanto apenas

algumas regiões estão disponíveis para *download* sem a necessidade de entrar em contato com a Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDEC) que é a responsável pelo projeto (PERNAMBUCO, 2019). Mais detalhes sobre o PE3D podem ser consultados em Cirilo et al. (2014) e em (PERNAMBUCO, 2019). Dessa forma, a área contemplada para esse estudo foi o município de Custódia (Figura 1).

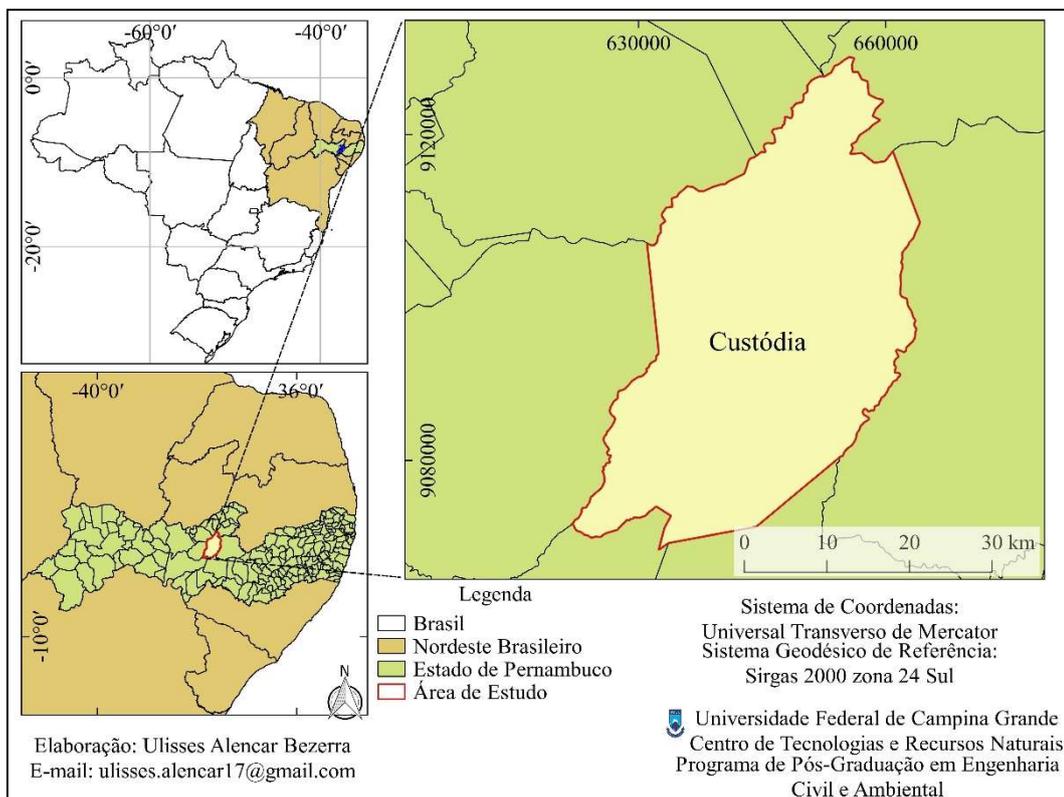


Figura 1 – Localização da área de estudo. Fonte: Autor, (2019).

Aquisição das Imagens dos Modelos Digitais de Elevação

Imagens LiDAR

As imagens dos dados LiDAR foram obtidas gratuitamente no portal do PE3D <<http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php>>, no qual o projeto disponibiliza um tutorial para aquisição das imagens em <<http://www.pe3d.pe.gov.br/documentos/manual.pdf>>.

Para o município de Custódia foram necessárias 219 imagens, resultando em um total aproximado de 7 gigabytes. Vale salientar que as imagens possuem uma resolução espacial de 1 metro, que foram posteriormente reamostradas para 10 metros para um processamento mais rápido.

Imagens ALOS/PALSAR

O satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) sensor de micro-ondas PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) foi criado para desenvolver pesquisas científicas e aplicadas na área de sensoriamento remoto no Japão e nos demais países

asiáticos. O satélite foi lançado em janeiro de 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* – JAXA (JAXA, 2014).

A aquisição das cenas do sistema-sensor ALOS/PALSAR, para a execução deste trabalho foram adquiridas gratuitamente no portal <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>, e possuem uma resolução espacial de 12,5 metros.

Imagens SRTM-30m

O Programa *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) foi uma missão realizada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em parceria com a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), a Agência Espacial Alemã (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* - DLG) e a Agência Espacial Italiana (*Agenzia Spaziale Italiana* - ASI), cujo objetivo principal era gerar um modelo de elevação para todo o globo terrestre com alta precisão, por meio da obtenção de dados SAR (radar de abertura sintética), que estava a bordo do ônibus espacial Endeavour (FARR et al., 2007; FONI e SEAL, 2004).

Os dados brutos foram processados pela NASA e estão disponíveis com resolução espacial de 1 segundo de arco (aproximadamente 30 m no equador).

Base Hidrográfica Ottocodificada da ANA

A codificação de Otto Pfafstetter, proposta pelo engenheiro homônimo, em 1989, é a codificação oficial de bacias hidrográficas no Brasil (ANA, 2012). Para comparar a extração da rede de drenagem extraída pelos diferentes tipos de MDE, utilizou-se se a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) da Agência Nacional da Águas (ANA). A BHO utilizada pela ANA na gestão de recursos hídricos é obtida a partir do Mapeamento Sistemático Brasileiro. A BHO é gerada a partir da cartografia digital da hidrografia do país e organizada de modo a gerar informações hidrologicamente consistentes (ANA, 2015).

Para tanto, a BHO representa a rede hidrográfica em trechos entre os pontos de confluência dos cursos d'água de forma unifilar. Cada trecho é associado a uma superfície de drenagem denominada ottobacia, à qual é atribuída a codificação de bacias de Otto Pfafstetter. Uma característica essencial dessa representação é ser topologicamente consistente, isto é, representar corretamente o fluxo hidrológico dos rios, por meio de trechos conectados e com sentido de fluxo (ANA, 2015).

Vale salientar que há algumas versões da BHO, neste trabalho foi utilizado a última versão disponibilizada pela ANA, a BHO multiescalas 2017.

Pré-processamento das Imagens LiDAR

Os dados oriundos do LiDAR passaram por um pré-processamento com intuito de acelerar o processo de extração de rede de drenagem. Primeiro foi feito o mosaico das 219 imagens em apenas uma. Entretanto o tamanho do mosaico gerado foi superior a 10 gigabytes, o que tornaria a extração da rede de drenagem muito lenta e inviável para esse estudo.

Dessa maneira optou-se por realizar o procedimento de reamostragem do mosaico LiDAR para a resolução espacial de 10m, com o objetivo de agregar as informações do dado original de alta resolução reamostrando para resoluções mais baixas, e avaliar o efeito da variação da resolução espacial. Para isso foi utilizado o método de interpolação vizinho mais próximo, que realiza a média ponderada dos pixels originais que se localizam ao redor do novo pixel reamostrado.

Esse procedimento possibilitou uma redução significativa no tamanho do raster, com aproximadamente 69,5 megabytes.

Processamento das Imagens dos MDE's

As imagens dos sensores LiDAR; ALOS-PALSAR-2; e SRTM-30 foram convertidas no mesmo sistema de projeção, nesse estudo utilizou-se o Sistema de Projeção “Universal Transverso de Mercator” com o Sistema Geodésico de Referência “Sirgas 2000 zona 24 Sul”.

Após o procedimento de conversão do sistema de projeção, o próximo passo foi fazer um recorte menor para que as etapas de extração de rede de drenagem fossem feitas mais rapidamente.

As imagens dos sensores passaram também por um processamento para a remoção de depressões existentes nos MDEs. Como as áreas de drenagem são definidas automaticamente, através da direção de fluxo, a imagem não deve apresentar depressões. As depressões são células ou grupos de células de altura inferior à altura de todas as células de sua vizinhança, e são corrigidas acrescentando altura artificialmente.

Este processo ocorre por meio de interpolação dos pixels mais próximos à depressão, atribuindo-os um valor comum. A Figura 2a, esquemática, apresenta o preenchimento de uma célula com depressão no centro da imagem, representada pela cor verde com tonalidade escura. O produto gerado a partir deste procedimento foi outra imagem no formato raster, com mudanças quase que imperceptíveis à primeira vista em relação às imagens originais (GADELHA et al., 2017).

Após o preenchimento das depressões, torna-se possível determinar as direções de fluxo, que indicam o sentido da drenagem para cada pixel, conforme mostra, esquematicamente, a Figura 2b.

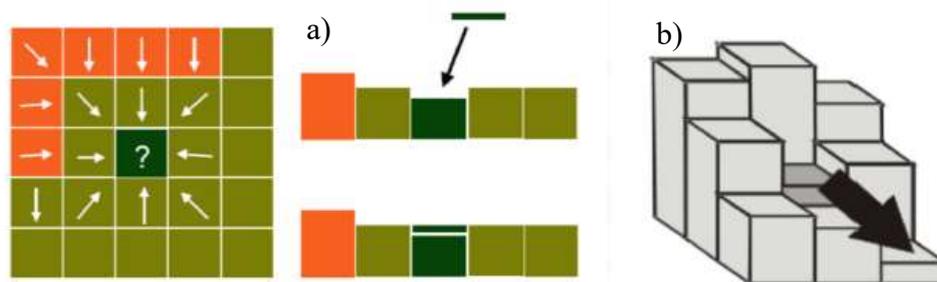


Figura 2 – (a) Esquema do preenchimento de depressões. (b) Representação esquemática da direção do fluxo. Fonte: Gadelha et al., (2017).

Extração da Rede de Drenagem

A etapa da extração da rede de drenagem dos diferentes tipos de MDE's dos sensores, foi realizada utilizando os mesmos parâmetros, e mesma metodologia para todos os sensores para isso foi elaborado um modelo que extraísse a rede de drenagem automaticamente. Para a construção desse modelo intitulado “*Extrair Drenagem 2*” utilizou-se o “Modelador de Processamento” disponível no *software* QGIS.

O modelador gráfico ou de processamento permite criar modelos complexos usando uma interface simples e fácil de usar. Ao trabalhar com um SIG, a maioria das operações de análise não é isolada, mas parte de uma cadeia de operações. Usando o modelador gráfico, essa cadeia de processos pode ser agrupada em um único processo, portanto, é mais conveniente executar como um único processo posteriormente em um conjunto diferente de entradas. Não importa quantas etapas e algoritmos diferentes envolva, um modelo é executado como um único algoritmo, economizando tempo e esforço, especialmente para modelos maiores (QGIS, 2019).

Foram utilizados os seguintes algoritmos para o modelador de processamento:

- *R.fill.dir*: Algoritmo que filtra e gera um mapa de elevação sem depressão e um mapa de direção do fluxo a partir de um determinado mapa raster de elevação;
- *R.stream.extract*: Algoritmo que executa extração de rede de fluxo. Nesta etapa foi adotado um valor mínimo de acumulação de fluxos igual a 20.000.

Estes são alguns dos algoritmos que estão disponíveis no módulo GRASS (GRASS *Development Team*, 2019), que é implementado e acoplado no *software* QGIS.

Para analisar os resultados, e o produto que mais aproximou a rede de drenagem calculada para aquela gerada pela ANA, foi aplicado o método PWB (*Percentage within Buffer*) que visa comparar o percentual em que o traçado do rio observado de referência coincide com os traçados gerados a partir dos produtos de satélite, com uma margem de erro considerada de 30 metros (que é o *buffer* – criação de polígonos em uma distância específica ao redor de um

objeto escolhido – adotado como sendo o tamanho do pixel do MDE de menor resolução espacial, seguindo abordagem de Zhou e Chen, 2011).

Com a geração dos *buffers* nas redes de drenagens foi feito o procedimento de intersecção para se determinar o quanto que o percentual do traçado da rede da ANA coincide com os traçados gerados a partir dos produtos dos MDE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é apresentada as comparações entre a rede de drenagem da ANA e as extrações de drenagem obtidas com sensores analisados, por meio do algoritmo *Extrair Drenagem 2*, com o valor mínimo de acumulação de fluxos igual a 20.000.

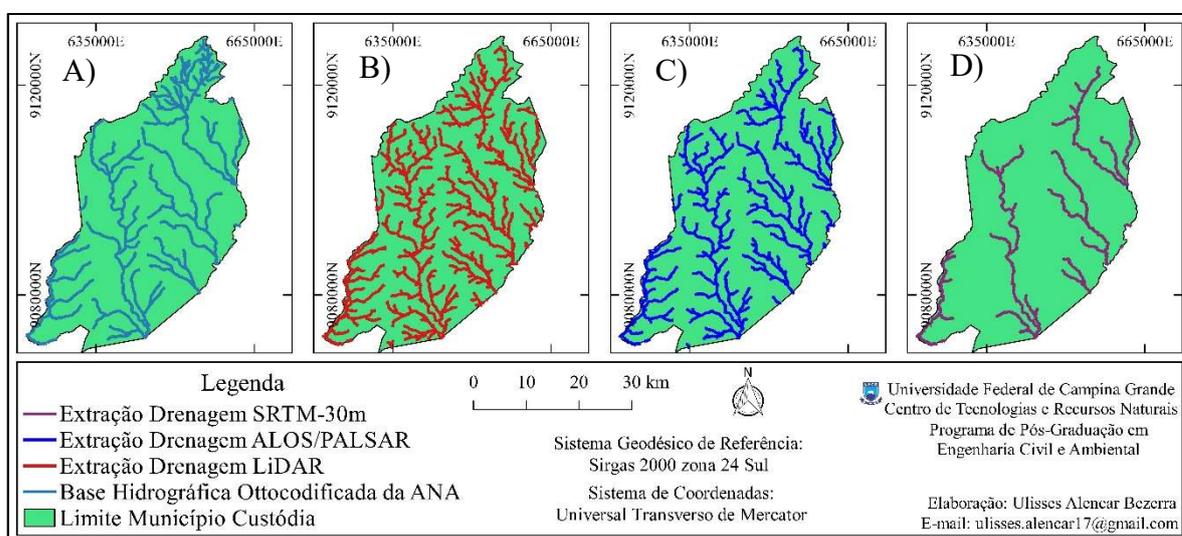


Figura 3. Comparativo entre a rede de drenagem da ANA e as extrações de drenagem obtidas com sensores analisados. A) Base Hidrográfica Ottocodificada da ANA; B) Drenagem Sensor LiDAR; C) Drenagem Sensor ALOS/PALSAR e D) Drenagem Sensor SRTM-30m.

Constata-se que a extração da rede de drenagem variou de acordo com o tamanho do pixel de cada sensor, onde aquele com maior resolução espacial, o LiDAR (10m), apresentou uma rede de drenagem muito mais volumosa e com mais de detalhes, semelhante ao ALOS/PALSAR. O inverso foi constatado no sensor com resolução de 30m (SRTM), apresentando uma rede mais simples.

Estes resultados condizem com Santos e Francisco (2011), que utilizaram MDE com resoluções espaciais de 90 e 30 metros, e também verificaram uma maior densidade de drenagem com o aumento da resolução espacial dos MDE.

Foi observado que esse fato tem relação com o valor mínimo de acumulação de fluxos e a área do tamanho do pixel, sendo assim uma analogia pode ser definida de acordo com a Equação 1.

$$VMAF_{RG} = \frac{Ap_{AR} \times VMAF}{Ap_{RG}} \quad (1)$$

Sendo:

$VMAF_{RG}$ o valor mínimo de acumulação de fluxos do MDE com resolução mais baixa;

Ap_{AR} área do pixel do MDE de alta resolução;

$VMAF$ o valor mínimo de acumulação de fluxos do MDE, nesse estudo foi adotado como 20.000;

Ap_{RG} área do pixel do MDE de resolução mais baixa.

Ao aplicar a Equação 1, foi obtido um valor $VMAF_{RG}$ para o MDE SRTM-30 igual a 2.222,22, e para o MDE ALOS/PALSAR de 12.800. As redes de drenagem obtidas com esses valores para o SRTM-30 e ALOS/PALSAR são apresentadas na Figura 4.

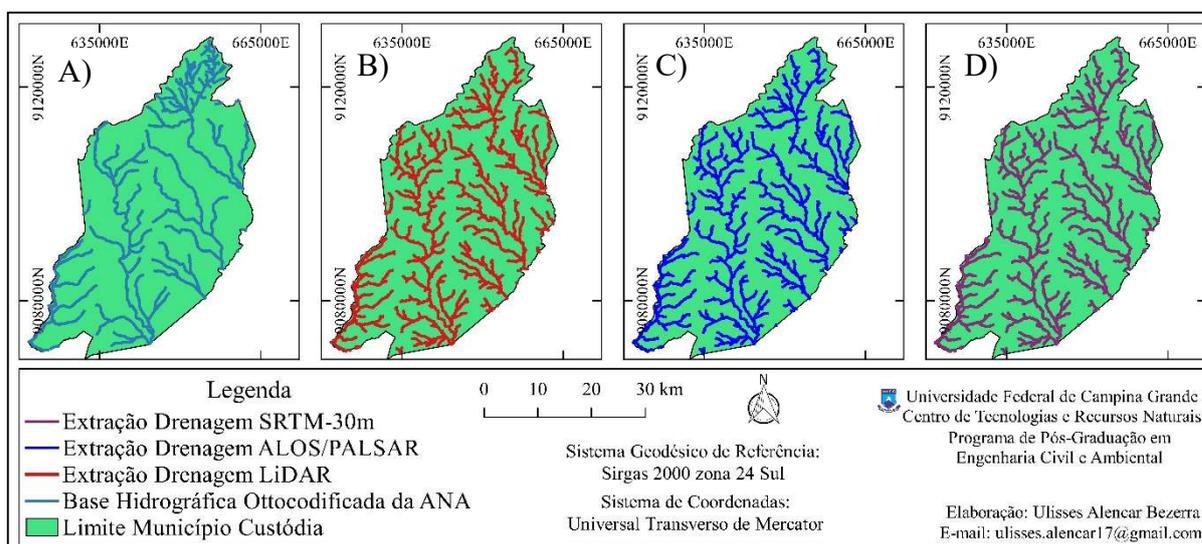


Figura 4. Comparativo entre as redes de drenagem da ANA e as extrações de drenagem obtidas com sensores analisados. A) Base Hidrográfica Ottocodificada da ANA; B) Drenagem Sensor LiDAR; C) Drenagem Sensor ALOS/PALSAR com $VMAF_{RG} = 12.800$ e D) Drenagem Sensor SRTM-30m com $VMAF_{RG} = 2.222,22$.

Constata-se que de fato, a rede de drenagem obtida com o sensor SRTM-30 com o $VMAF_{RG} = 2.222,22$, ficou mais próximas das demais redes de drenagem.

A seguir é apresentado a Figura 5 que mostra as intersecções dos *buffers* das redes de drenagem dos MDE com a rede de drenagem da ANA. Indicando que onde a drenagem esteja contínua (Figuras 5B, 5C e 5D) é porque, a extração da rede dos MDE coincidiu com a rede de referência, ou seja a rede de drenagem da ANA.

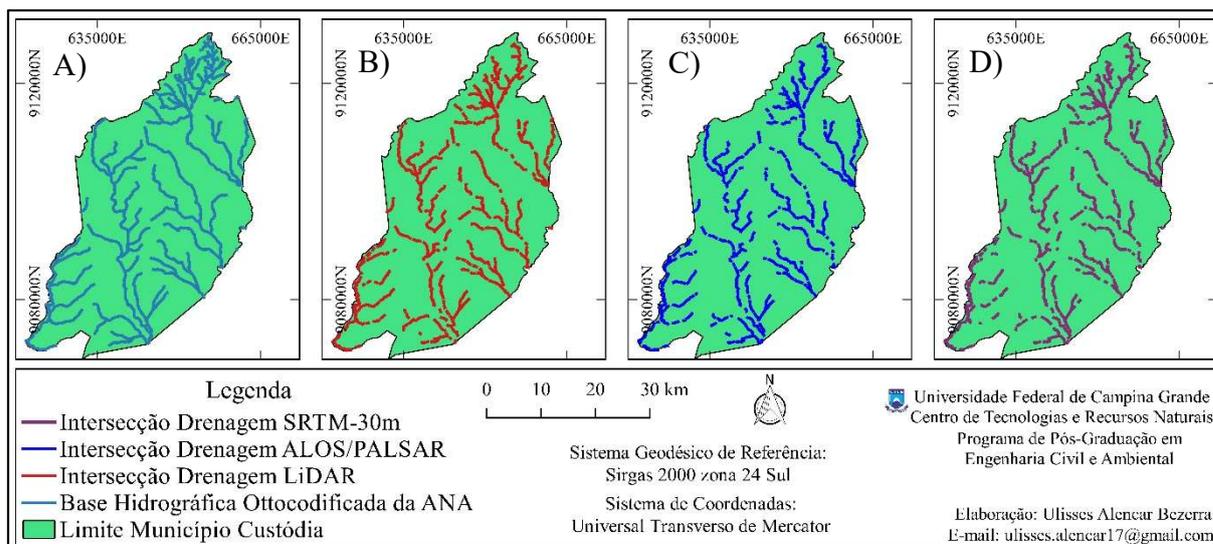


Figura 5. Intersecção entre a redes de drenagem da ANA e as extrações de drenagem obtidas com sensores analisados. A) Base Hidrográfica Ottocodificada da ANA; B) Intersecção Sensor LiDAR; C) Intersecção Sensor ALOS/PALSAR e D) Intersecção Sensor SRTM-30m.

A Tabela 1 mostra o comprimento total da rede de drenagem da ANA e das intersecções dos respectivos MDE, bem como o percentual de cada uma em relação a rede da ANA.

Tabela 1. Comprimento total da rede de drenagem da ANA e das intersecções dos respectivos MDE, e percentual de cada uma em relação a rede da ANA.

	ANA	LiDAR	ALOS/PALSAR	SRTM-30m
Comprimento Total (m)	515.973,74	192.432,61	186.603,42	168.231,39
Percentual (%)	100	37,29	36,17	32,60

Observa-se que mesmo ao alterar o valor mínimo de acumulação de fluxos para o SRTM-30, ainda assim a rede de drenagem extraída com o MDE de menor pixel (LiDAR 10m) obteve o maior percentual (37,29 %) da rede de drenagem da ANA.

CONCLUSÃO

Tendo como objetivo a extração da rede de drenagem por diferentes produtos de MDE, com resoluções espaciais distintas, entres eles o SRTM (30m), ALOS/PALSAR (12,5m) e dados LiDAR (10m), e comparar suas respectivas redes de drenagem com a disponibilizada pela Agência Nacional das Águas (ANA), foi desenvolvido um modelo que extraísse a rede de drenagem automaticamente, para isso utilizou-se o modelador gráfico disponível no QGIS, que permite utilizar diversos algoritmos em um único processo. Para a construção deste modelo utilizou-se os algoritmos *R.fill.dir* e *R.stream.extract* disponíveis no módulo GRASS.

Este estudo verificou que o algoritmo utilizado para extração da rede de fluxo, *R.stream.extract*, no qual utiliza o valor mínimo de acumulação de fluxos está diretamente

relacionado com o tamanho do Pixel do MDE. Constatou-se que a rede de drenagem variou de acordo com o tamanho do pixel de cada sensor.

Com o intuito de compatibilizar as redes extraídas pelo algoritmo foi desenvolvido uma equação para encontrar o valor mínimo de acumulação de fluxos para diferentes resoluções espaciais de diferentes tipos de MDE. Foi observado que ao aplicar essa equação, as redes de drenagem dos diferentes MDE obtiveram uma maior semelhança.

Apesar da alteração do valor mínimo de acumulação de fluxos para o SRTM-30m, foi constatado que a extração da rede de drenagem do MDE que obteve o maior percentual em concordância com a rede da ANA foi a rede de drenagem extraída com o MDE de maior resolução espacial (LiDAR 10m).

Ressalta-se a importância da extração da rede de drenagem automática via MDE, em áreas em que não exista uma base cartográfica confiável como a da ANA e em escalas adequadas, sendo assim a escolha de um MDE apropriado que represente a rede de drenagem, passa por diversos critérios dentre eles a resolução espacial e a disponibilidade do produto do MDE.

REFERÊNCIAS

ANA -Agência Nacional de Águas. **Base hidrográfica ottocodificada**. -- Brasília: ANA, 2015.

ANA -Agência Nacional de Águas. Codificação de Bacias Hidrográficas pelo Método de Otto Pfafstetter: Aplicação na ANA. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Apoio à Gestão de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, SAG, 2012, 46 p.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, 2010.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 755-763, 2014.

ENDRENY, T. A., WOOD, E. F., LETTENMAIER, D. P. Satellite-derived digital elevation model accuracy:hydrological modelling requirements. **Hydrological Processes** 14, 177-194. 2000.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L.; SEAL, D.; SHAFFER, S.;

SHIMADA, J.; UMLAND, J.; WERNER, M.; OSKIN, M.; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, v. 45, RG2004, 2007.

FERNANDES, M.; AVELAR, A.; MENEZES, P. M. L.; NETTO, A. L. C. Comparação do Uso de Superfície Real e Planimétrica para Análises do Índice de Eficiência de Drenagem: um Estudo de Caso no Maciço da Tijuca - RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 13, n. 1, 2012. pp. 29-37

FONI, A.; SEAL, D. Shuttle Radar Topography Mission: an innovative approach to shuttle orbital control. **Acta Astronautica**, v. 54 p. 565-570, 2004.

GADELHA, A.N. ; PAZ, A. R. ; ALMEIDA, C. N. ; FREITAS, E.S. ; COELHO, V.H.R. ; BARBOSA, L.R. Avaliação do TANDEM-X produto MDE com resolução de 15 metros. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. **Anais do XXII SBRH**. Porto Alegre: ABRH, 2017.

GRASS DEVELOPMENT TEAM (2019). **Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2.0**. Open Source Geospatial Foundation.

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). **ALOS-2/PALSAR-2 Level 1.1/1.5/2.1/3.1 CEOS SAR Product Format Description**. 2014. Disponível em: http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/doc/fdata/PALSAR-2_xx_Format_CEOS_E_r.pdf . Acesso em 12 setembro 2019.

MORAIS, R. C. S.; SALES, M. C. L. Draining automatic extraction: a comparative analysis of different from the tools and databases. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, p. 1849-1860, 2016.

PERNAMBUCO Tridimensional, 2016. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php> . Acesso em: 17 set. 2019.

QGIS. **Documentação do QGIS2.18**. Disponível em: https://docs.qgis.org/2.18/pt_BR/docs/user_manual/processing/modeler.html. Acesso em 18 de set. 2019.

SANTOS, L. C. D. S., FRANCISCO, C. N. Avaliação dos Modelos Digitais de Elevação aplicados à extração automática de redes de drenagem. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D.F., Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography** 32, 300-309. 2012.

ZHOU, Q., AND Y. CHEN (2011), Generalization of DEM for terrain analysis using a compound method, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 66(1), 38–45.