XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE FERRAMENTAS SIG PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

José Kerlly Soares de Araújo [1] ; Euller Loiola Sena [2]; Francisco Jonatas Alves da Silva [3] & Alan Michell Barros Alexandre [4]

RESUMO – A delimitação automática de bacias hidrográficas com ferramentas SIG é uma etapa importante em estudos hidrológicos e ambientais. Este trabalho comparou o desempenho das ferramentas GRASS e SAGA, no QGIS, e Spatial Analyst Hydrology, ArcHydro e TauDEM, no ArcGIS, na delimitação da bacia hidrográfica do açude Serafim Dias, no Ceará, utilizando Modelo Digital de Elevação SRTM. A avaliação considerou critérios técnicos e operacionais, como número de etapas, tempo de processamento, maturidade, custo, usabilidade e facilidade de acesso a informações. Os resultados indicaram elevada similaridade entre os limites das bacias gerados pelas ferramentas, enquanto as redes de drenagem apresentaram diferenças mais perceptíveis. Na classificação final, o GRASS obteve o melhor desempenho geral, seguido pelo Spatial Analyst Hydrology. Conclui-se que, embora as ferramentas produzam delimitações semelhantes, a escolha da alternativa mais adequada deve considerar também fatores práticos de uso, custo e acesso a informações de apoio.

ABSTRACT– Automatic watershed delineation using GIS tools is an important step in hydrological and environmental studies. This study compared the performance of the GRASS and SAGA tools, in QGIS, and Spatial Analyst Hydrology, ArcHydro and TauDEM, in ArcGIS, for delineating the watershed of the Serafim Dias reservoir, in Ceará, Brazil, using an SRTM Digital Elevation Model. The evaluation considered technical and operational criteria, such as number of steps, processing time, maturity, cost, usability and ease of access to information. The results indicated high similarity among the watershed boundaries generated by the tools, while the drainage networks showed more noticeable differences. In the final ranking, GRASS achieved the best overall performance, followed by Spatial Analyst Hydrology. It is concluded that, although the tools produce similar delineations, the choice of the most appropriate alternative should also consider practical factors related to use, cost and access to supporting information.

Palavras-Chave – Delimitação automática de bacias; Ferramentas SIG; Modelo Digital de Elevação.

[1]) Universidade Federal do Ceará – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici – Bloco 713. Cep: 60400- 900. Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: josekerlly@alu.ufc.br
[2]) Universidade Federal do Ceará – Departamento de Transportes, Campus do Pici – Bloco 703. Cep: 60400- 900. Fortaleza – Ceará, Brasil. E-mail: euller.loiola@det.ufc.br
[3]) Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús - Avenida Professora Machadinha Lima, S/N, Príncipe Imperial, Crateús-CE, CEP 63708-825. Fone: +55 (88) 3691-9700 - e-mail: jonatasw@alu.ufc.br
[4]) Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús - Avenida Professora Machadinha Lima, S/N, Príncipe Imperial, Crateús-CE, CEP 63708-825. Fone: +55 (88) 3691-9700 - e-mail: alanmichell@crateus.ufc.br

INTRODUÇÃO

Um conceito bastante abrangente de bacia hidrográfica é sugerido por Gomes, Bianchi e Oliveira (2021), como um sistema aberto, multidimensional e dinâmico, passível de delimitação espacial a partir de critérios sociais, geológicos e geomorfológicos integrados, conforme a natureza do estudo a ser desenvolvido. Em termos de estudos hidrológicos a bacia hidrográfica é definida como a área de captação natural da água da precipitação, composta por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório (Tucci, 1993). A bacia hidrográfica é necessariamente contornada por um divisor, ou seja, a linha que divide as precipitações, tal divisor segue uma linha rígida em torno da bacia, unindo os pontos de máximas cotas entre as bacias atravessando o curso d'água somente no ponto de saída (Villela, Mattos, 1975).

Em termos de estudos hidrológicos, ferramentas SIG tornaram-se imprescindíveis na caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica e consequentemente da dinâmica da drenagem, a partir do processamento de um Modelo Digital de Elevação - MDE. Estes consistem em uma representação matricial do terreno onde cada célula armazena o valor da elevação em função da sua localização geográfica (Valeriano, 2008; Melo, Sakamoto, Ferrari, 2015).

Quanto ao emprego dessas ferramentas SIG e base de dados MDE para a delimitação de bacias hidrográficas e geração da hidrografia, a literatura indica uma ampla utilização de programas livres, como o Quantum GIS – QGIS e o uso MDEs derivados da missão espacial SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*). Apesar de ser um software comercial, o ArcGIS da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) também é bastante utilizado em ambientes acadêmicos e empresariais. Ambas são ferramentas poderosas no que tange a capacidade de análise e apresentação de dados geoespaciais, permitindo composições entre diferentes informações como a álgebra de mapas envolvendo relevo, vegetação, clima, solo e hidrografia, entre outras funcionalidades (Sousa *et al*. 2024; Flenniken, Stuglik, Iannone, 2020).

A literatura técnico-científica apresenta uma grande diversidade de ferramentas/plugins ou extensões disponíveis para softwares SIG, destacam-se entre eles: o GRASS e SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) para o QGIS; e ArcHydro, Hydrology (*Spatial Analyst Tools*) e TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) para o ArcGIS. Estes, ampliam a funcionalidade dos softwares SIG, possibilitando a realização de análises mais avançadas e precisas como a modelagem hidrológica, análise de drenagem, delimitação de bacias hidrográficas e análise estatística.

Diante da diversidade de ferramentas disponíveis para automatizar os processos de extração de informações do meio físico de forma eficiente independentemente da escala, diversos estudos promoveram uma comparação dos produtos de diferentes métodos como ArcHydro e TauDEM em Carvalho *et al* (2010) e Leal *et al*. (2017); Hydrology e SAGA em Almeida Junior (2017); Hydrology e TerraHidro em Cunha (2014); Hydrology e TauDEM em Morais (2016), entre mais de duas ferramentas também como TauDEM, SAGA e TerraHidro em Costa (2016); GRASS, SAGA, e ArcHydro em Silva (2019); GRASS, SAGA, ArcHydro e TauDEM em Toniolo (2021); e GRASS, ArcHydro, ArcSWAT e HEC-GeoHMS em Sabino (2017).

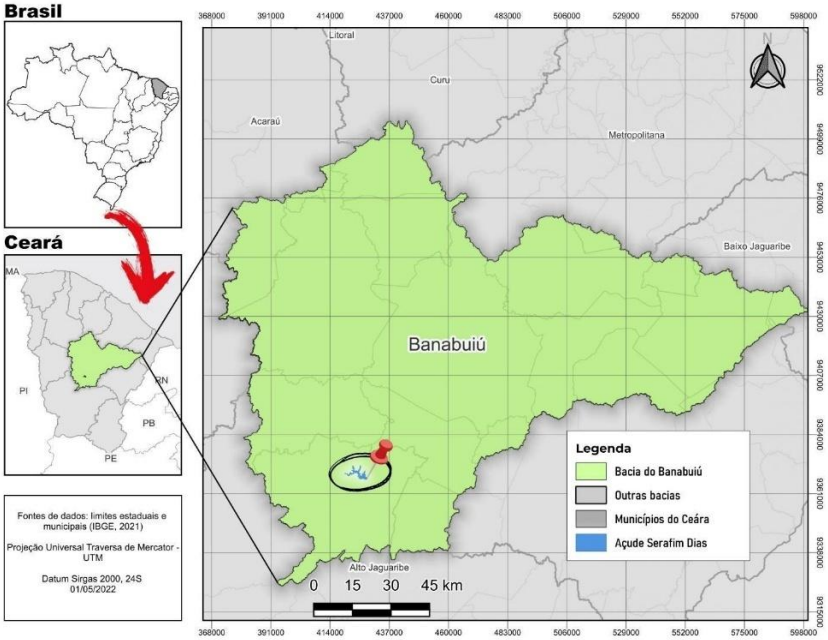
Nesse sentido diversos trabalhos comparam os índices geomorfológicos derivados de diferentes softwares e extensões, porém são escassos os estudos que se concentram na comparação da operacionalidade das extensões, representando assim uma lacuna na literatura. Desta forma, o objetivo deste trabalho é comparar e avaliar os resultados obtidos por meio das ferramentas GRASS e SAGA no QGIS; e ArcHydro, Hydrology e TauDEM no ArcGIS, para a caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do açude Serafim Dias no estado do Ceará, utilizando Modelo Digital de Elevação (MDE) derivado da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

METODOLOGIA

Área de Estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do reservatório Serafim Dias, localizado no município de Mombaça, sertão central do Ceará, e inserido na bacia do Banabuiú. O açude, situado nas coordenadas 05°43'44,87" S e 39°38'52,19" W, barra o rio Banabuiú e foi utilizado como ponto exutório para a delimitação da bacia hidrográfica, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01- Localização da área de estudo



Procedimentos

Para a realização do estudo em questão, utilizou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE) da SRTM, cuja carta utilizada foi a SB-24-V-D, com resolução espacial de 90 m x 90 m, por corresponder ao produto originalmente disponibilizado para o Brasil e ser adequado aos objetivos do estudo, obtido no Brasil em relevo pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Os processos de delimitação da bacia foram executados em diferentes softwares, com o objetivo de obter uma análise mais precisa e detalhada da região estudada. No QGIS, foram utilizadas as ferramentas Grass e SAGA para a delimitação da bacia, enquanto no software ArcGIS, foram utilizadas as ferramentas Spatial Analyst - Hydrology, ArcHydro Tools e TauDEM.

O trabalho foi realizado em único computador do tipo notebook, o aparelho conta com 16GB de memória RAM, processador Core i7 de 9ª geração e a placa de vídeo GTX 1660 Ti com 6 GB. Todos os resultados foram obtidos na máquina, com o objetivo de comparar o desempenho de cada software. Os processamentos foram executados no QGIS 2.18 e 3.18, no ArcGIS - ArcMap 10.8 e no ArcGIS Pro 3.4, este último com licença estudantil.

Delimitação automática com a ferramenta GRASS – QGIS

Na ferramenta GRASS, inicialmente aplicou-se o comando *r.fill.dir* para o preenchimento de falhas no MDE. Em seguida, utilizou-se o *r.watershed* para gerar os rasters de direção de fluxo, drenagem e fluxo acumulado. A delimitação da bacia foi obtida com o *r.water.outlet*, a partir da indicação do ponto exutório. Posteriormente, o *r.stream.extract* foi empregado para gerar a drenagem da área delimitada. Por fim, os rasters da bacia e da drenagem foram convertidos para formato vetorial por meio do *r.to.vect*.

Delimitação automática com a ferramenta SAGA – QGIS

No SAGA, aplicou-se inicialmente o comando *Fill Sinks (Wang & Liu)* para corrigir falhas no MDE. Em seguida, utilizou-se o *Channel Network and Drainage Basins* para gerar a rede de drenagem e as bacias hidrográficas. Após a obtenção das coordenadas do exutório, empregou-se o comando *Upslope Area*, inserindo os parâmetros necessários para delimitar a bacia hidrográfica de interesse.

Delimitação automática com a ferramenta Spatial Analyst Hydrology – ArcGIS

No Spatial Analyst Hydrology, utilizou-se inicialmente a ferramenta *Fill* para corrigir depressões no modelo de elevação. Em seguida, foram aplicadas as ferramentas *Flow Direction* e *Flow Accumulation*, gerando os rasters de direção e acúmulo de fluxo. A ferramenta *Con* foi utilizada para ajustar o fluxo acumulado aos cursos d'água reais. Posteriormente, a bacia foi delimitada com a

ferramenta *Watershed*, a partir do ponto exutório e do raster de direção de fluxo. Por fim, a drenagem foi convertida para formato vetorial com o *Stream to Feature*.

Delimitação automática com a ferramenta ArcHydro – ArcGIS

No ArcHydro, iniciou-se com a ferramenta *Fill Sinks* para corrigir depressões no MDE. Em seguida, foram aplicados os comandos *Flow Direction* e *Flow Accumulation* para gerar a direção e o acúmulo de fluxo. A rede de drenagem foi definida com o *Stream Definition*, seguida pelos comandos *Stream Segmentation* e *Catchment Grid Delineation*, que geraram as microbacias. Posteriormente, utilizaram-se *Catchment Polygon Processing* e *Drainage Line Processing* para converter as microbacias e a drenagem para formato vetorial. Após os processamentos complementares, definiu-se o ponto exutório e realizou-se a delimitação final da bacia com a ferramenta *Watershed Delineation*.

Delimitação automática com a ferramenta TauDEM – ArcGIS

No TauDEM, aplicou-se inicialmente o comando *Pit Remove* para remover depressões espúrias do MDE. Em seguida, foram utilizados *D8 Flow Direction* e *D8 Contributing Area* para gerar os rasters de direção de fluxo e área de contribuição. A drenagem inicial foi obtida com o *Stream Definition by Threshold*. Posteriormente, o *D8 Contributing Area* foi executado novamente com a indicação do ponto exutório, gerando o raster da bacia de interesse. A drenagem da área delimitada foi então refinada e convertida para formato vetorial com o *Stream Reach and Watershed*. Por fim, aplicaram-se os comandos *Watershed Grid to Shapefile* e *Dissolve*, resultando no arquivo vetorial final da bacia hidrográfica.

Explicação dos parâmetros e avaliação das ferramentas

A avaliação das extensões e ferramentas dos softwares foi realizada com base em critérios da NBR ISO/IEC 9126, considerando comportamento em relação ao tempo, maturidade, utilização de recursos e usabilidade. Também foram adotados critérios complementares, como número de etapas, custo de utilização e facilidade de acesso a informações.

O número de etapas corresponde à quantidade de comandos necessários para delimitar a bacia. O custo considera se o software é gratuito ou pago, enquanto a facilidade de acesso se refere à disponibilidade de tutoriais, manuais e materiais de apoio. O comportamento em relação ao tempo avalia a rapidez de resposta e processamento; a maturidade, a ocorrência ou ausência de falhas; a utilização de recursos, a necessidade de instalações adicionais; e a usabilidade, a facilidade de compreensão e operação por usuários iniciantes.

Para cada parâmetro, foram atribuídas notas de 1 a 4. No critério número de etapas, a nota 4 correspondeu a 1–8 etapas; nota 3, a 9–12; nota 2, a 13–16; e nota 1, a mais de 16 etapas. Para o

tempo de processamento, a nota 4 foi atribuída a até 60 segundos; nota 3, até 120 segundos; nota 2, até 180 segundos; e nota 1, acima de 180 segundos. Na maturidade, a nota 4 indicou ausência de falhas, enquanto as demais notas variaram conforme a gravidade das falhas. Os demais critérios foram pontuados conforme sua contribuição para a facilidade, acessibilidade e eficiência no uso das ferramentas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pelas cinco ferramentas são apresentados nas Tabelas 01 e 02, considerando os seis parâmetros avaliados e os critérios previamente definidos para a atribuição das notas. A Tabela 1 apresenta as notas individuais de cada ferramenta, enquanto a Tabela 02 apresenta o ranqueamento final, calculado por meio de média ponderada.

Tabela 01 – Pontuação das ferramentas conforme critérios técnicos e operacionais

Ferramentas	Parâmetros de avaliação						
	N° etapas	Comportamento em relação ao tempo	Maturidade	Custo	Utilização de recursos	Usabilidade	Facilidade de acesso a informações
Hydrology	3	4	4	2	4	4	3
ArcHydro	2	2	4	2	4	3	2
TauDEM	3	4	2	4	3	2	1
Grass	3	4	2	4	4	4	4
Saga	4	4	1	4	2	3	2

Os pesos foram atribuídos de acordo com a importância relativa de cada parâmetro, considerando as informações disponíveis na literatura e sua influência na escolha da ferramenta. O comportamento em relação ao tempo recebeu peso 0,5, uma vez que pequenas diferenças no tempo de processamento não foram consideradas determinantes para a seleção do software. Em contrapartida, o custo e a facilidade de acesso receberam peso 1,5, por serem fatores relevantes para a viabilidade de uso e adoção das ferramentas. Os demais parâmetros receberam peso 1. Com base nos dados apresentados, foi possível comparar o desempenho das ferramentas e identificar diferenças quanto à eficiência, acessibilidade e adequação aos critérios estabelecidos.

Tabela 02 – Classificação final das ferramentas avaliadas

Posição	Ferramenta	Nota Final
1º	Grass	3,60
2º	Hydrology	3,27
3º	Saga	2,80
4º	ArcHydro	2,67
5º	TauDEM	2,60

De modo geral, as ferramentas avaliadas apresentaram desempenhos distintos em relação aos critérios adotados. O GRASS obteve bom desempenho, com nota 3 para número de etapas e nota 4 para comportamento em relação ao tempo. Por ser gratuito, integrado ao QGIS, possuir comandos intuitivos e ampla disponibilidade de tutoriais, mostrou-se uma alternativa acessível e eficiente. Entretanto, foi identificado um erro de geometria na versão 3.18, o que interferiu na avaliação de sua maturidade.

O Spatial Analyst Tools – Hydrology também apresentou bom desempenho, com nota 3 para número de etapas e nota 4 para tempo de processamento. A ferramenta não apresentou falhas e possui comandos descritivos e de fácil compreensão. Contudo, por fazer parte do ArcGIS Pro, apresenta limitação quanto ao custo, apesar da boa disponibilidade de tutoriais.

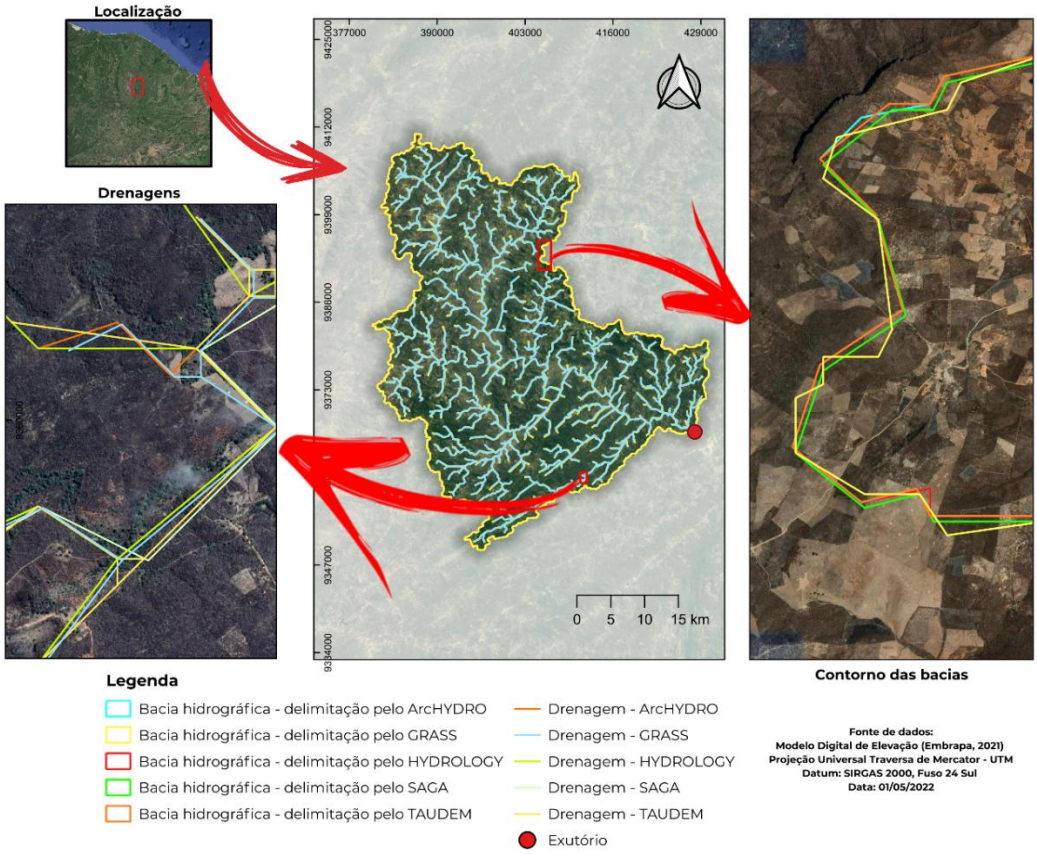
O SAGA destacou-se pelo baixo número de etapas e pelo bom tempo de processamento, recebendo nota 4 em ambos os critérios. Além disso, é gratuito e integrado ao QGIS. Porém, foram observadas incompatibilidades em algumas versões do QGIS, além da necessidade de comandos externos para completar a delimitação e da menor disponibilidade de tutoriais.

O ArcHydro apresentou desempenho inferior nos critérios número de etapas e tempo, recebendo nota 2 em ambos, devido à maior quantidade de procedimentos e ao maior tempo de processamento. Apesar disso, não foram identificadas falhas e seus comandos foram considerados intuitivos. Como limitações, destacam-se o fato de ser uma ferramenta paga, a possível necessidade de recursos externos e a baixa disponibilidade de tutoriais.

O TauDEM recebeu nota 3 quanto ao número de etapas e nota 4 quanto ao tempo de processamento. Entretanto, apresentou erro na renomeação da camada em formato TIF, o que afetou sua maturidade. Além disso, por ser utilizado no ArcGIS, possui limitação de custo. Seus comandos foram considerados menos intuitivos, houve necessidade de alguns comandos externos e a disponibilidade de tutoriais foi considerada baixa.

Na sequência, a Figura 02 apresenta, em um mapa integrado, as delimitações obtidas pelas diferentes ferramentas e suas respectivas redes de drenagem. Para facilitar a análise visual, foram destacadas duas áreas por meio de ampliações: uma voltada à comparação dos limites das bacias e outra à comparação das drenagens geradas. A partir dessa representação cartográfica, observa-se que as diferenças entre as delimitações produzidas pelas ferramentas avaliadas são pouco expressivas.

Figura 02 - Análise comparativa das delimitações automáticas da bacia hidrográfica



De modo geral, observa-se que os limites gerados pelo GRASS, SAGA, Hydrology, ArcHydro e TauDEM apresentam elevada similaridade, indicando que todas as ferramentas foram capazes de representar adequadamente a área de contribuição da bacia analisada. As diferenças entre os contornos são pontuais e ocorrem principalmente em trechos específicos da borda da bacia, como evidenciado no recorte ampliado à direita.

Nota-se ainda que algumas ferramentas apresentam pequenas variações no traçado, essas diferenças podem estar associadas aos algoritmos utilizados por cada ferramenta para correção do Modelo Digital de Elevação, definição da direção de fluxo e cálculo da área de contribuição. Apesar dessas variações, os limites permanecem próximos entre si, demonstrando que não houve discrepâncias expressivas na delimitação final da bacia hidrográfica.

Em relação às drenagens, o recorte ampliado à esquerda evidencia diferenças mais perceptíveis entre as ferramentas. Embora a rede de drenagem principal apresente tendência semelhante, ocorrem variações no posicionamento e na extensão de alguns trechos. Essas diferenças podem estar relacionadas aos critérios de extração da drenagem, aos limiares de fluxo acumulado adotados e às particularidades dos algoritmos de cada software. Ainda assim, as drenagens geradas mantêm coerência espacial com a área delimitada e com o padrão geral de escoamento da bacia.

CONCLUSÕES

A análise visual dos produtos gerados indicou que as diferenças entre os limites das bacias foram pouco expressivas, concentrando-se principalmente em trechos específicos do contorno. Em relação às drenagens, observaram-se variações mais perceptíveis no posicionamento e na extensão de alguns canais, possivelmente associadas aos algoritmos de cada ferramenta, aos procedimentos de correção do MDE e aos critérios adotados para extração da rede de drenagem.

Considerando a avaliação ponderada dos parâmetros, o GRASS apresentou o melhor desempenho geral, destacando-se pela gratuidade, boa usabilidade, menor dependência de recursos externos e ampla disponibilidade de informações de apoio. Em seguida, o Spatial Analyst Hydrology também apresentou desempenho satisfatório, principalmente quanto ao tempo de processamento, maturidade e facilidade de uso, embora tenha como limitação o fato de ser uma ferramenta paga. O SAGA, apesar do bom desempenho em número de etapas e tempo de processamento, apresentou limitações relacionadas à maturidade e à menor disponibilidade de tutoriais. Já o ArcHydro e o TauDEM obtiveram menores pontuações finais, principalmente em razão do maior número de etapas, menor facilidade de acesso, menor usabilidade ou necessidade de recursos complementares.

Dessa forma, conclui-se que, embora as ferramentas apresentem resultados cartográficos semelhantes para a delimitação da bacia hidrográfica, a escolha da ferramenta mais adequada deve considerar não apenas o produto espacial gerado, mas também fatores práticos relacionados à operação, custo, disponibilidade de informações e facilidade de uso. Nesse contexto, o GRASS mostrou-se a alternativa mais vantajosa entre as ferramentas avaliadas para a delimitação automática da bacia hidrográfica em estudo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JUNIOR, V. H. de; SOUZA, F. R. M.; SILVA, R. V. da; SANTOS, O. M.; MONGUILHOTT, M. Análise comparativa dos produtos derivados das variáveis geomorfométricas dos algoritmos SAGA/GIS e ArcGIS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 18., 2017, Santos. Anais [...] Santos: INPE, 2017. p. 7867-7874. ISBN 978-85-17-00088-1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR ISO/IEC 9126-1: Engenharia de software — Qualidade de produto — Parte 1: Modelo de qualidade*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

CARVALHO, Paulo Roberto de Souza; GUIMARÃES, Renato Fontes; DE CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio. Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do rio Preto. Revista Espaço e Geografia, v. 13, n. 2, 2010.

COSTA, F.R.; SOUZA, R.F.; SILVA, S.M.P. 2016. Análise comparativa de metodologias aplicadas à delimitação da bacia hidrográfica do Rio Doce – RN. Sociedade & Natureza, v. 28, n. 3, p. 429-422.

CUNHA, H. N. da; CHAVES, R. D.; CASTRO, P. I. de; MIURA, A. K.; FILIPPINI ALBA, J. M.; SALDANHA, D. L. Delimitação da bacia hidrográfica do Camaquã: comparação de métodos automatizados. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 26.; CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 5., 2014, Gramado. Mapas conectando o Brasil e a América do Sul [...]. Gramado: UFRGS/FAURGS, 2014.

FLENNIKEN, Jeffry M.; STUGLIK, Steven; IANNONE, Basil V. Quantum GIS (QGIS): An introduction to a free alternative to more costly GIS platforms: FOR359/FR428, 2/2020. Edis, v. 2020, n. 2, p. 7-7, 2020.

GOMES, R. C.; BIANCHI, C.; OLIVEIRA, V. P. V. de. 2021. Análise da multidimensionalidade dos conceitos de bacia hidrográfica. GEOgraphia, v. 23, n. 51.

LEAL, Rafael Estumano *et al*. Utilização das extensões TauDEM e ArcHydro: um estudo comparativo aplicado à delimitação automática de bacias hidrográficas no Estado do Pará. Revista SEAF, v. 1, p. 204-218, 2017.

MELO, A. L. S.; SAKAMOTO, A. Y.; FERRARI, H. P. Bacia hidrográfica do córrego da onça: análise ambiental por geoprocessamento. In: BENINI, S. M. (Org.). Uso de sistemas de informação geográfica na análise ambiental em bacias hidrográficas. 1. ed. Tupã/SP: ANAP, 2015. p. 98-116.

MORAIS, Reurysson Chagas de Sousa de; SALES, Marta Celina Linhares. Extração automática de drenagem: uma análise comparativa a partir de diferentes ferramentas e bases de dados. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 06, p. 1849-1860, 2016.

SABINO, Hullysses *et al*. Comparação de quatro métodos para a delimitação de uma microbacia hidrográfica de 1km²: GRASS e extensões Spatial Analyst, ArcSwat e Hec-GeoHMS no ArcGIS. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 22, p. 1-8, 2017.

SILVA, Renata Miranda da; PURIFICAÇÃO, Nathalia Rose Silva da; PADILHA, José Artur; SILVA, Daniel Carneiro da; ALCÂNTARA, Lígia Albuquerque de. Delimitação automática de micro e nanobacias hidrográficas para subsidiar a implantação do conceito base zero em áreas rurais do semiárido nordestino. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. Anais [...]. [S. l.]: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2019. p. 1-10. ISSN 2318-0358.

SOUSA, Matheus Natan Ferreira Alves *et al*. Determinação de áreas vulneráveis à erosão e prioritárias à recuperação da bacia hidrográfica do Rio Potengi–RN. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 13, n. 1, p. e24247-e24247, 2024.

TONIOLO, Bruno Pereira *et al*. Estudo comparativo de rede de drenagem na SABESP Oeste com auxílio de provedores SIG. Geografia em Atos (Online), v. 5, p. 1-20, 2021.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 1993.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p. 72-104.

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

WANG, L.; LIU, H. 2006. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. International Journal of Geographical Information Science, London, v. 20, n. 2, p. 193-213.