



CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA COMO SUBSÍDIO PARA APLICAÇÃO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Fábio Luiz Mação Campos¹
André Luiz Nascentes Coelho²

RESUMO

Diante dos impactos ambientais causados pelo uso da terra, materializado principalmente pelo grande aporte de sedimentos em cursos d'água, a adoção de práticas conservacionistas é cada vez mais demandada. Diante disso, este trabalho visa contribuir para o desenvolvimento de procedimentos que possam auxiliar na definição dos melhores locais para aplicação dessas práticas numa bacia hidrográfica com base nos conhecimentos geomorfológicos e na execução de uma cartografia geomorfológica da bacia. Para isso, foi desenvolvido um procedimento semi-automatizado de mapeamento das feições do relevo mais propícias para implantação das práticas conservacionistas (BMPs) que foi aplicado numa pequena Bacia Hidrográfica no Espírito Santo. Os resultados mostraram a possibilidade de identificação e mapeamento dessas áreas com uso de Sistemas de Informação Geográfica a partir de conceitos advindos da geomorfologia e indicaram que o procedimento pode servir como base para metodologias de planejamento territorial em bacias hidrográficas de maiores escalas.

Palavras-chave: Cartografia geomorfológica, Mapeamento Digital do Relevo, Práticas conservacionistas, Bacia Hidrográfica.

RESUMEN

Ante los impactos ambientales provocados por el uso de la tierra, materializados principalmente por el gran aporte de sedimentos a los cursos de agua, la adopción de prácticas de conservación cada vez más demandadas. Por tanto, este trabajo tiene como objetivo contribuir al desarrollo de procedimientos que puedan ayudar a definir las mejores ubicaciones para la aplicación de estas prácticas en una cuenca hidrográfica a partir del conocimiento geomorfológico y en la ejecución de una cartografía geomorfológica de la cuenca. Para ello, se desarrolló un procedimiento semiautomático de mapeo de los accidentes geográficos más adecuados para la implementación de prácticas de conservación (BMPs), el cual se aplicó en una pequeña Cuenca Hidrográfica en Espírito Santo. Los resultados mostraron la posibilidad de identificar y mapear estas áreas utilizando Sistemas de Información Geográfica a partir de conceptos que surgen de la geomorfología e indicaron que el procedimiento puede servir como base para metodologías de planificación territorial en cuencas hidrográficas de mayor escala.

¹ Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo- UFES, fabiomacao@gmail.com;

² Professor do Programa de pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo-UFES, alnc@gmail.com;



Palabras clave: Cartografia geomorfológica, Mapeo digital de relieve, Prácticas de conservación, Cuenca hidrográfica.

INTRODUÇÃO

Os impactos causados pelo aumento do aporte de sedimentos nos corpos hídricos e pelo aumento da descarga sólida são bem conhecidos da sociedade e o emprego de técnicas e estruturas que contribuam para mitigação desses impactos são necessárias. Contudo, a limitação de recursos para implantação de estruturas ou de políticas de uso e manejo do solo exige que metodologias sejam desenvolvidas para que os recursos disponíveis possam empregados da melhor maneira possível.

Ao se tratar de gestão do uso da terra em bacias hidrográficas, uma abordagem que tem sido muito trabalhada por pesquisas ao redor do mundo é a aplicação de práticas conservacionistas a fim de alcançar o aumento da disponibilidade hídrica e a redução do nível de sedimentos e poluentes nos recursos hídricos. Na literatura internacional utiliza-se o termo BMP para caracterização dessas práticas, abreviação da expressão *Best Management Practices* (BMPs).

A fim de contribuir com o desenvolvimento de metodologias de melhor alocação das BMPs, um procedimento de identificação e mapeamento das áreas mais suscetíveis ao aporte de sedimentos nos cursos d'água é apresentada neste trabalho.

O objetivo do trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia para mapeamento do relevo com vistas à aplicação de BMPs através da criação de procedimentos semi-automatizados no ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para identificação cartográfica das áreas mais apropriadas para aplicação de práticas conservacionistas dentro de uma bacia hidrográfica.

Com base na literatura e conhecimentos provenientes da geomorfologia, uma cartografia do relevo e seleção de áreas prioritárias para aplicação de práticas conservacionistas foi realizada para uma bacia hidrográfica experimental e os resultados da aplicação dos procedimentos são apresentados.

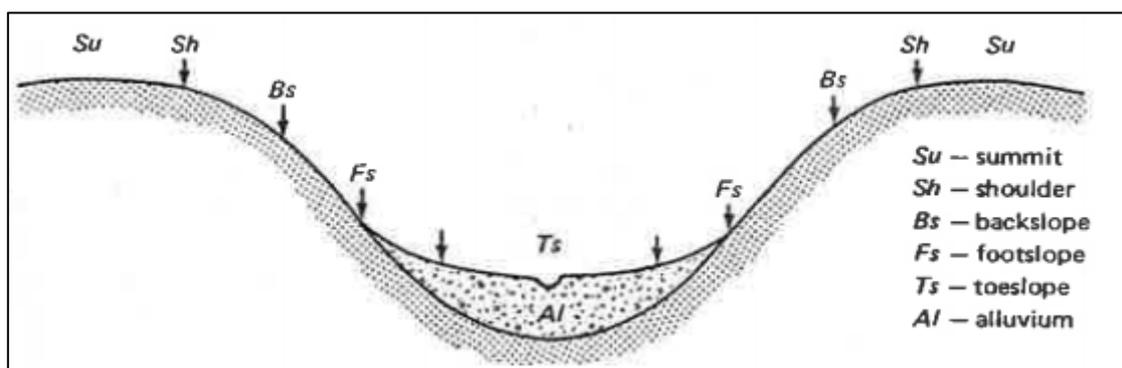
METODOLOGIA

Os padrões de drenagem do escoamento superficial podem ser descritos em função do carácter de dispersão ou concentração a eles vinculados e são controlados pela geometria do terreno (COLANGELO, 1996). Por esse motivo, as formas das de relevo são essenciais para compreensão dos processos erosivos e de transporte de sedimentos em vertentes.

Tratando-se das formas das vertentes, a classificação apresentada por RUHE (1975) aponta que os 3 componentes que caracterizam as vertentes são o seu gradiente (inclinação), sua largura (plano) e seu comprimento (perfil).

No sentido de seu gradiente de inclinação, as vertentes são caracterizadas por 5 diferentes segmentos *summit* (topo), *shoulder* (ombro), *backslope* (meia-encosta), *footslope* (sopé), e *toeslope* (sopé colúvio-aluvial), como apresentado na Figura 1.

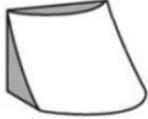
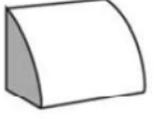
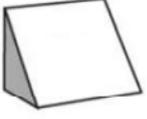
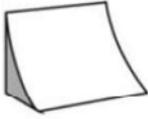
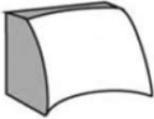
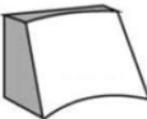
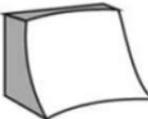
Figura 1 – Componentes geomórficos de uma vertente



Fonte: Ruhe (1975)

Quanto ao plano e ao perfil, as vertentes podem se apresentar como retilíneas, côncavas ou convexas, caracterizando diferentes tendências em relação à movimentação de água e sedimentos em episódios de precipitação pluviométrica. As 9 combinações possíveis são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Segmentos de vertente em plano e perfil de curvatura

		PLANO DE CURVATURA		
		Divergente	Planar	Convergente
PERFIL DE CURVATURA	Convexo			
	Retilíneo			
	Côncavo			

Fonte: Silveira e Silveira (2016)

Geomorfólogos vem estudando o comportamento da erosão e do transporte de sedimentos nesses diversos segmentos das vertentes, o que traz valiosas informações sobre as áreas mais susceptíveis aos processos que levam ao aporte de sedimentos nos corpos hídricos.

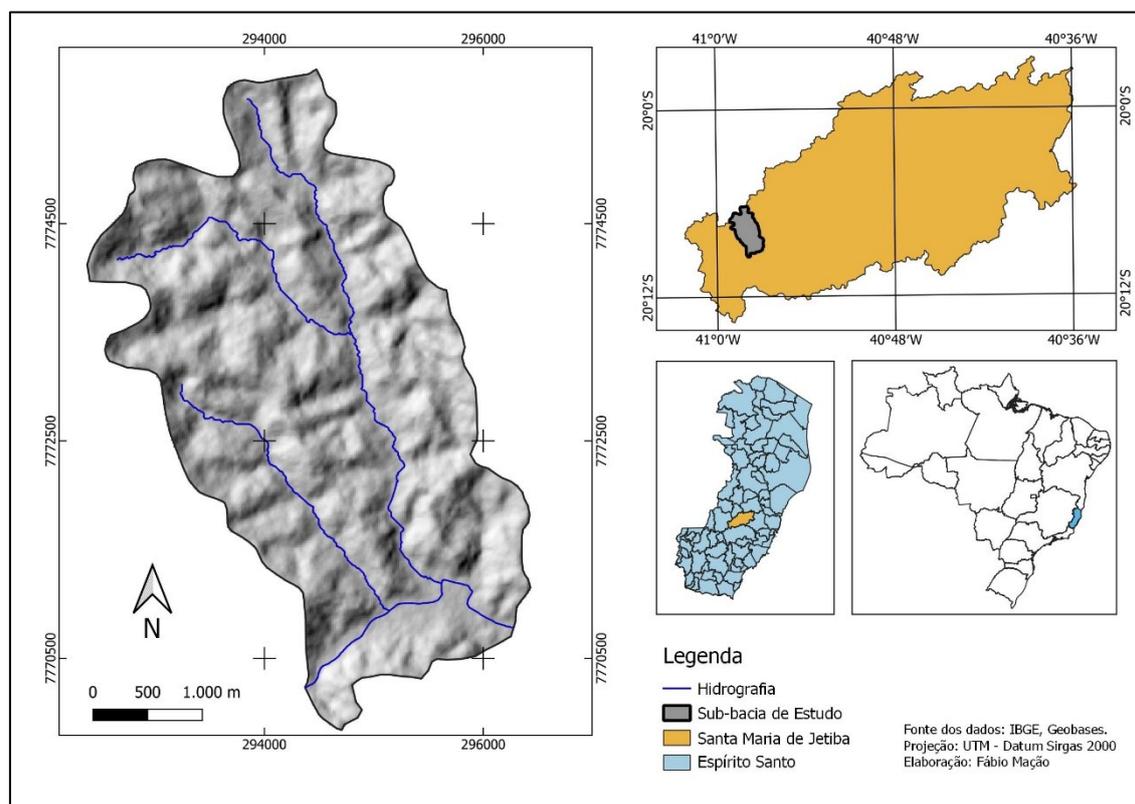
Os apontamentos de SELBY (1982) e RUHE (1975) foram utilizados para identificação das áreas das encostas que contribuem mais ou menos para o fluxo hídrico e a movimentação de sedimentos nas encostas.

Assim, com o objetivo de mapear esses locais de forma semi-automatizada para testagem dos seus efeitos em termos de efetividade da aplicação de BMPs, utilizou-se o *software* QGis e um modelo digital de terreno (MDT) com resolução espacial de 12,5 m proveniente do satélite Alos/Palsar para testagem de um procedimento para elaboração de mapas indicando as áreas mais aptas a aplicação dessas práticas.

Para realização do estudo foi escolhida uma Ottobacia nível 6 composta pelos córregos do Queijo e da Represinha, localizada na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria

da Vitória no município de Santa Maria de Jetibá, estado do Espírito Santo (Figura 3), com área total de 12,96 km².

Figura 3 – Mapa de Localização da Bacia de Estudo



Para o mapeamento das porções altas, médias e baixas das vertentes, foi utilizado o plugin SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) para geração do Índice de Posição Topográfica (IPT). O IPT calcula as diferenças entre valores de cada pixel do arquivo raster (Z^0) com o valor médio dos pixels ao seu entorno (\bar{Z}), a partir de raio (R) definida pelo usuário. O valor médio do entorno foi calculado para um raio de 500 metros.

Outro procedimento consistiu no mapeamento das vertentes relativo ao seu comportamento quanto à concentração e dispersão do fluxo hídrico. Conforme apontado na literatura, as feições que possuem planta e perfil convergente tendem a manter processos mais significativos de erosão e transporte de sedimentos para os cursos d'água. Para identificação dessas feições, foi utilizado um algoritmo do *Módulo Basic Terrain Analysis* no SAGA que identifica a partir do MDT os índices de curvatura horizontal (planta) e vertical (perfil). O valor da curvatura, é medido a partir da declividade do



terreno, estabelecendo valores positivos para feições côncavas, negativos para feições convexas e zero para trechos retilíneos.

Após isso, as áreas mais suscetíveis a erosão e ao aporte de sedimentos nos cursos hídricos locais tanto em termos da posição quanto da forma da vertente foram destacadas para definição das áreas prioritárias para aplicação das BMPs, conforme a combinação mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Definição de áreas prioritárias a serem selecionadas

Prioridade	Planta	Perfil	Posição
1	Côncava	Convergente	Sopé
2	Côncava	Convergente	Meia encosta
3	Côncava	Retilínea	Sopé
4	Côncava	Retilínea	Meia encosta

REFERENCIAL TEÓRICO

Os mapas geomorfológicos são muito importantes para a avaliação e gestão dos recursos naturais e para promover a sustentabilidade, desempenhando um papel essencial na compreensão dos processos da superfície terrestre (BISHOP ET AL. 2012). Além disso, o mapeamento geomorfológico é uma ferramenta clássica para representar a distribuição espacial das formas e processos pela superfície terrestre (THELER ET AL., 2010).

A classificação dos mapas geomorfológicos pode variar conforme a etapa de elaboração e o objetivo. VERSTAPPEN e ZUIDAM, (1975 apud CUNHA ET AL., 2003) classificam três tipos de mapas geomorfológicos: Mapas preliminares, que são os mapas elaborados antes do trabalho de campo, com base somente na interpretação de pares estereoscópicos de fotografias aéreas; Mapas com fins gerais, que são resultado de investigações geomorfológicas puras, sem fins específicos; e por fim, os Mapas com fins especiais, que visam orientar ou resolver problemas específicos.

Uma tendência observada por GUSTAVSSON (2006) e que pode levar a outra classificação dos mapas geomorfológicos é de que esses mapas tragam uma abordagem



sinéctica, analítica ou pragmática. Segundo o autor, a abordagem analítica constitui um mapa geomorfológico puro que considera os aspectos morfológicos, morfográficos, morfogenéticos e cronológicos, podendo apresentá-los conjuntamente ou de forma separada. A abordagem sinéctica avalia um ou mais aspectos geomorfológicos em conjunto com outros dados como solos, vegetação e hidrografia. Por fim, destaca-se a existência de uma terceira abordagem chamada de pragmática, na qual são coletadas apenas informações limitadas para o atendimento de uma finalidade específica, ou seja tratam-se de um procedimento aplicado.

A partir dessa abordagem mais aplicada, conceitos e conhecimentos oriundos da geomorfologia podem ser utilizados para identificação das áreas com morfodinâmica mais apropriadas para instalação das diversas práticas conservacionistas já consolidadas.

No que concerne à produção e transporte de sedimentos, as vertentes guardam grande relevância para entendimento dos processos. Os padrões de drenagem do escoamento superficial podem ser descritos em função do carácter de dispersão ou concentração a eles vinculados e são controlados pela geometria do terreno (COLANGELO, 1996). Por esse motivo, as formas das de relevo são essenciais para compreensão dos processos erosivos e de transporte de sedimentos em vertentes.

Tratando-se das formas das vertentes, a classificação apresentada por RUHE (1975) aponta que os 3 componentes que caracterizam as vertentes são o seu gradiente (inclinação), sua largura (plano) e seu comprimento (perfil).

No sentido de seu gradiente de inclinação, as vertentes são caracterizadas por 5 diferentes segmentos (*summit, shoulder, backslope, footslope e toeslope*).

Quanto ao plano e ao perfil, o autor destaca que as vertentes podem se apresentar como retilíneas, côncavas ou convexas, caracterizando diferentes tendências em relação à movimentação de água e sedimentos em episódios de precipitação pluviométrica e perfazendo um total de 9 combinações possíveis.

Geomorfólogos vem estudando o comportamento da erosão e do transporte de sedimentos nesses diversos segmentos das vertentes, o que traz valiosas informações sobre as áreas mais susceptíveis aos processos que levam ao aporte de sedimentos nos corpos hídricos.

SELBY (1982) apontou que encostas retas contribuem para os canais de drenagem principalmente por fluxo subsuperficial, enquanto as áreas convexas ou saliências (*Spurs/Noses*) removem água rapidamente e as concavidades (*Hollows*) produzem convergência



de fluxos subsuperficiais e superficiais, promovendo mais movimentos de massa. O arrasto de partículas de solo por escoamento superficial concentra-se na base de encostas de solo adjacentes a canais, em cavidades e concavidades. O autor aponta ainda que há um efeito de reforço em operação com saliências espalhando água sendo menos afetadas pela erosão e as concavidades coletando água e sendo mais afetadas pela erosão.

RUHE (1975) contribui ainda destacando a existência de um cinturão não-erosivo no topo das encostas ou divisores de águas, pois uma distância crítica de escoamento é necessária para que os processos de ravinamento comecem.

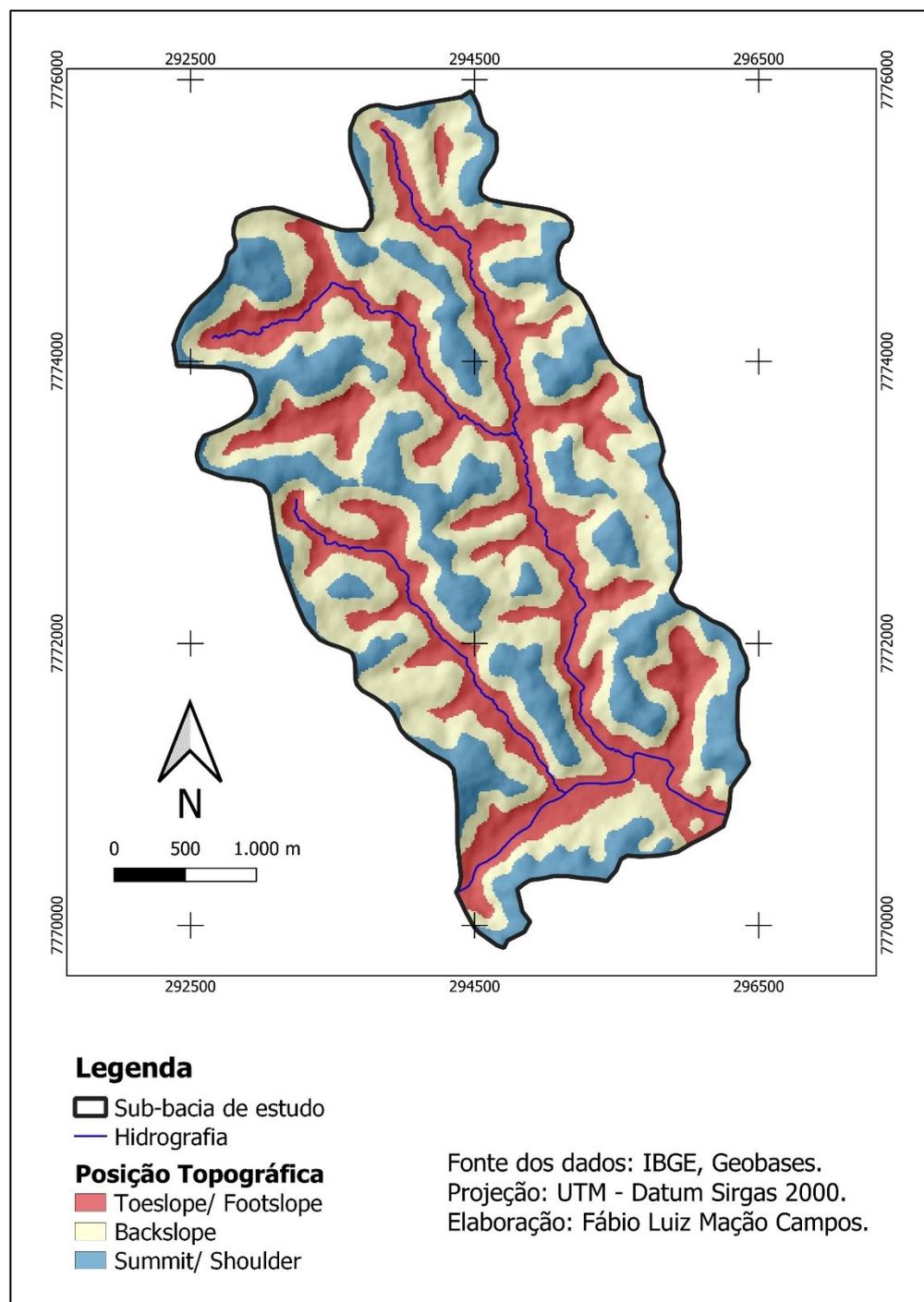
Desta forma, é possível identificar que os processos erosivos tendem a ocorrer a partir do meio da encosta (*backslope*) e, não havendo condições de ravinamento que alcance os corpos hídricos, tende a haver deposição em seu sopé (*footslope* e *toeslope*). Havendo condições de ravinamento, os sedimentos desprendidos tendem a serem transportados para os corpos hídricos.

A retirada e a transferência de sedimentos, então, tende a ocorrer nas áreas côncavas das vertentes e sem suas porções médias e baixas, sendo essas áreas teoricamente as mais apropriadas para aplicação de práticas conservacionistas (BMPs) a fim de reduzir o aporte de sedimentos nos cursos d'água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito na metodologia, a geração do Índice de Posição Topográfica (IPT), foi capaz de identificar diversas porções da vertente desde as mais baixas e adjacentes às linhas de drenagem (*toeslope/ footslope*) até os topos e cristas (*summit/ shoulder*) atribuindo valores menores (negativos) e maiores (positivos) respectivamente. Valores próximos a zero representam as porções médias das vertentes (*backslope*). A definição do limiar numérico que separava topos, meias-encostas e pés de encosta foi realizada a partir da comparação com o relevo local através do MDT e do modelo sombreado. Assim, foi gerado um mapa destacando as porções médias e inferiores das vertentes (Figura 4), mais suscetíveis à erosão e ao ravinamento, conforme preconizado pela literatura.

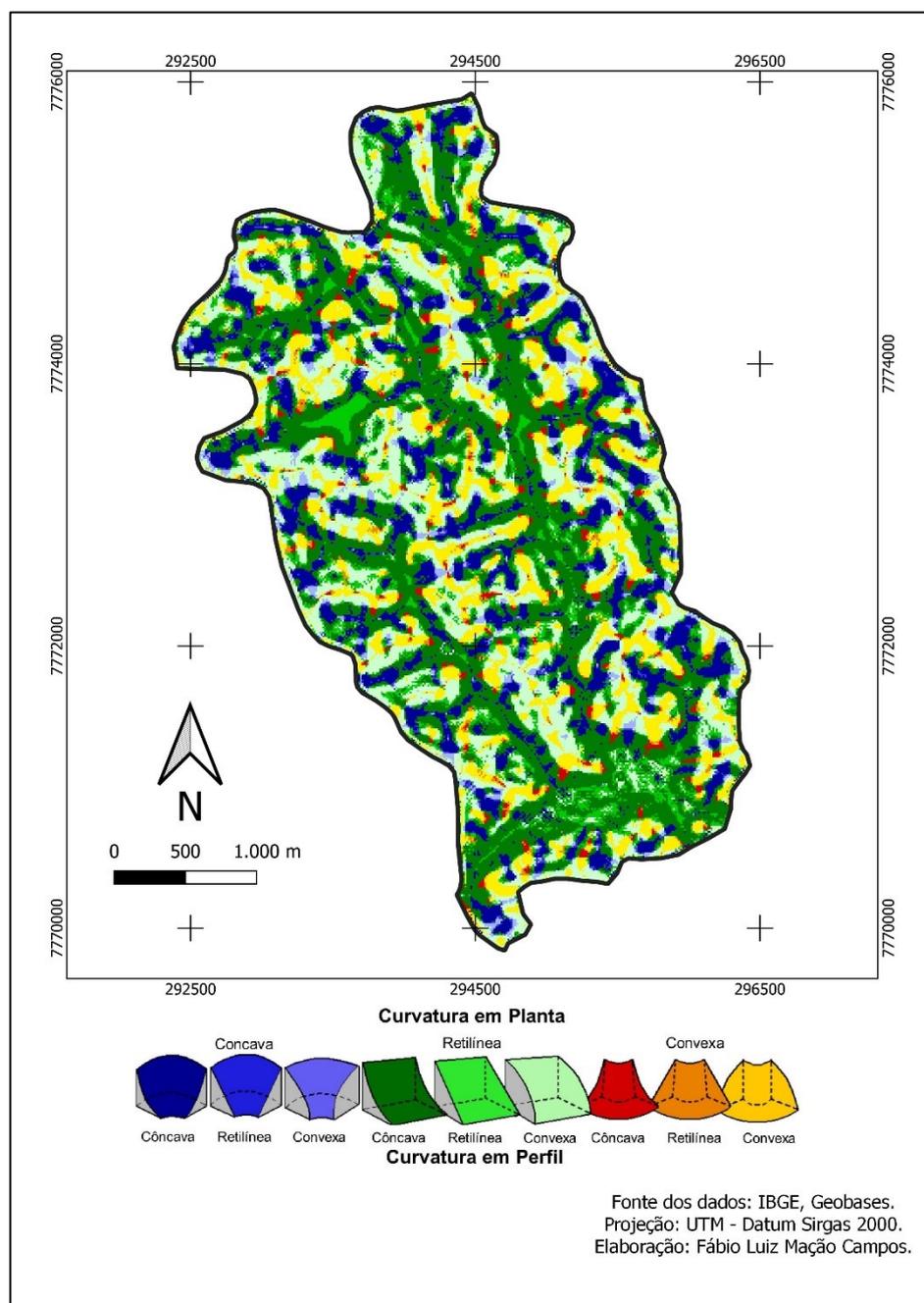
Figura 4 – Mapa demonstrando o mapeamento das porções altas, médias e baixas das vertentes.





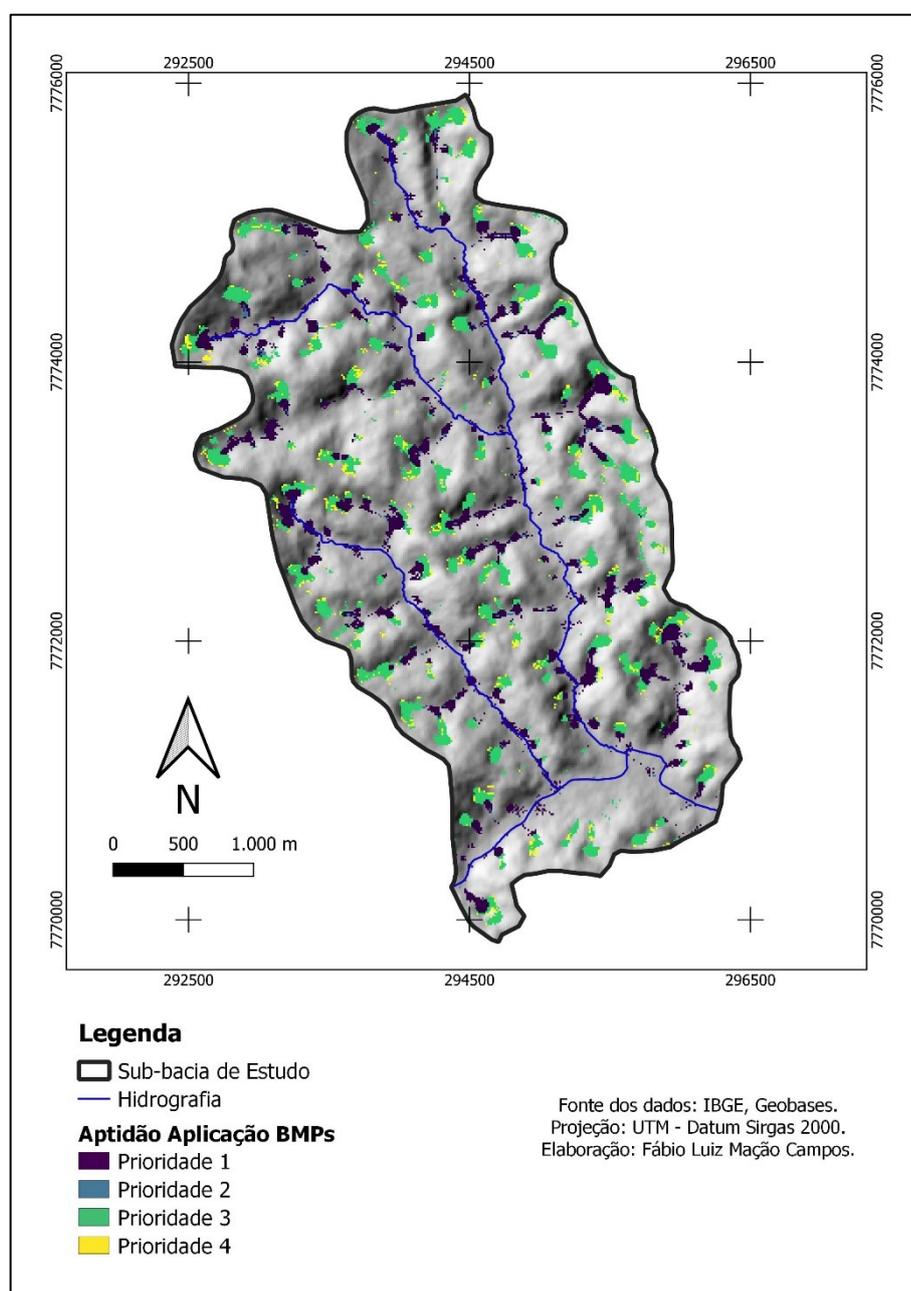
Os índices de curvatura calculados pelo software foram classificados a partir da proposição de VALERIANO (2008). Deste modo cada pixel do MDT da bacia foi reclassificado em côncavo, retilíneo ou convexo, tanto em planta como em perfil. Após isso, uma combinação da curvatura em planta (horizontal) e em perfil (vertical) foi elaborada. O resultado do mapeamento das vertentes é mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Mapa demonstrando o mapeamento das feições encontradas nas vertentes da bacia.



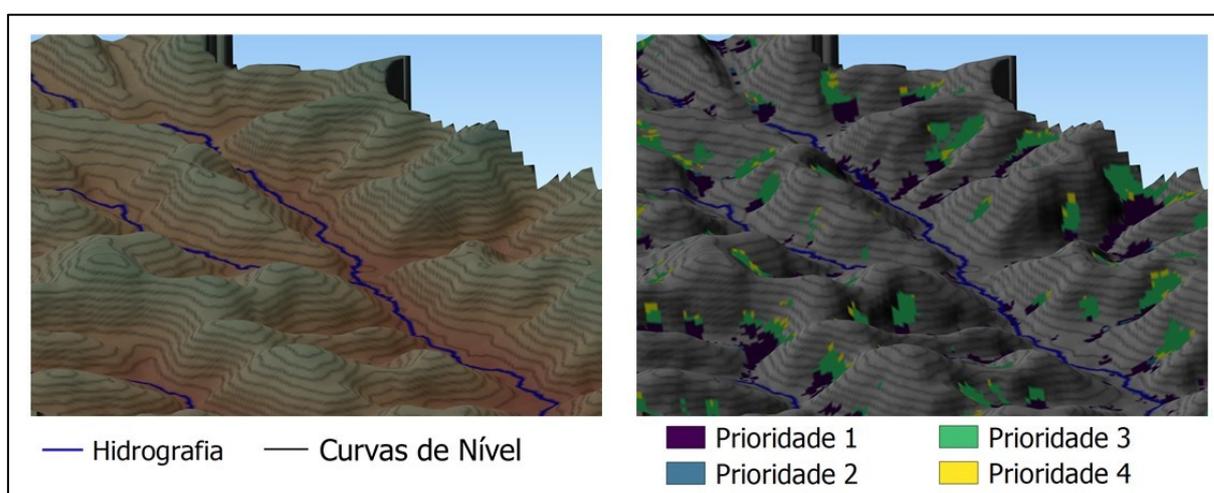
O resultado do mapeamento dessas áreas prioritárias (Figura 6) mostrou que as áreas elencadas com as prioridades 1, 2, 3 e 4 ocuparam respectivamente 6,6 % 0,4 %, 7,2 % e 1,2 % da bacia, representando 15,3% da área total.

Figura 6 – Mapa demonstrando as 4 áreas prioritárias para aplicação de práticas conservacionistas na bacia.



A visualização em 3D de um trecho da bacia (Figura 7), mostra que as áreas com maior prioridade para aplicação das BMPs elencadas no mapeamento, coincidiram com as partes das encostas configuradas por anfiteatros (*hollows*) e próximas aos vales e cursos d'água, conforme demonstrado pela literatura.

Figura 7 – Visualização 3D de parte da bacia, demonstrando a localização das áreas prioritárias.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

As recentes evoluções nas técnicas proporcionadas pela disponibilização gratuita de Modelos digitais de elevação automatizou diversos procedimentos ligados ao mapeamento do relevo, sobretudo dos aspectos morfológicos e morfométricos. As técnicas permitiram realizar um mapeamento prévio sem necessidade da realização de trabalho de campo inicial, o que diminui consideravelmente o tempo para seleção de áreas prioritárias.

O uso dos Sistemas de Informação Geográfica livre e gratuito possibilita que esses mapeamentos sejam realizados para grandes bacias a partir de dados abertos. Contudo, a metodologia desses mapeamentos ainda precisa ser consolidada.

O trabalho mostrou que as possibilidades de uso do mapeamento digital do relevo para posterior combinação com modelos hidrológicos para alocação de BMPs em bacias



hidrográficas é promissora, contudo, novas etapas podem ser acrescentadas ao processo e ao aprimoramento da metodologia.

Algumas previsões para a continuidade do desenvolvimento da metodologia são a de incluir parâmetros de declividade associada e os usos da terra associadas às formas de vertentes, além da disponibilidade de proprietários rurais em implantar BMPs.

A verificação da eficácia dos compartimentos mapeados para redução do aporte de sedimentos e da descarga sólida nos cursos d'água ainda é necessária a fim de avaliar e refinar a metodologia para seleção de áreas. A utilização das áreas mapeadas como prioritárias para testagem da aplicação de BMPs através de modelos hidrológicos a fim de confirmar ou refutar as hipóteses e propostas elencadas são os próximos passos da pesquisa. Isso possibilitará adaptação dos limiares de valores de curvatura e de posição topográfica na vertente.

REFERÊNCIAS

BISHOP, M. P. et al. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. **Geomorphology**, v. 137, n. 1, p. 5–26, jan. 2012.

COLANGELO, A. C. O modelo de feições mínimas, ou das unidades elementares de relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 29–40, 1996.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 4, Nº 1, p. 01-09. 2003.

GUSTAVSSON, M. Development of a detailed geomorphological mapping system and GIS Geodatabase in Sweden. Digital comprehensive summaries. **Uppsala dissertation from de Faculty from Science and Technology**, n. 236, 2006.

RUHE, R. V. **Geomorphology: Geomorphic Processes and Surficial Geology**. Boston: Houghton Mifflin, 1975, p. 87-123

SELBY, M. J. **Hillslope Materials and Processes**. Oxford University Press, Oxford, 1982, p. 83-116.

THELER, D. et al. The contribution of geomorphological mapping to sediment transfer evaluation in small alpine catchments. **Geomorphology**, v. 124, n. 3–4, p. 113–123, dez. 2010.



XIV ENCONTRO NACIONAL DE
PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM
GEOGRAFIA

55 EDIÇÃO ONLINE

10 À 15 DE OUTUBRO DE 2021

ISSN: 2175-8875

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais.** INPE, São José dos Campos. 2008.