

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas Câmpus de Rio Claro

MATEUS VIDOTTI FERREIRA

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AO ESTUDO DA
DISSECAÇÃO E ENERGIA DO RELEVO: PROPOSTA E
AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS COMPUTACIONAIS

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Coorientadora: Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci

Rio Claro - SP

2015

551.42 Ferreira, Mateus Vidotti
F393c Contribuição metodológica ao estudo da dissecação e energia do relevo : proposta e avaliação de técnicas computacionais / Mateus Vidotti Ferreira. - Rio Claro, 2015
229 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel
Coorientador: Cenira Maria Lupinacci

1. Geomorfologia. 2. Geomorfometria. 3. Análise geomorfométrica. 4. Dissecação horizontal. 5. Dissecação vertical. 6. Bacia hidrográfica. 7. Processos morfodinâmicos. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Rio Claro/SP

RESUMO

A análise geomorfométrica do relevo viabiliza a obtenção de dados quantitativos sobre o terreno, os quais auxiliam a avaliar hierarquicamente a potencialidade das características geométricas de suas formas para o desenvolvimento de processos morfodinâmicos. Dentre as diversas variáveis passíveis de mensuração, a dissecação horizontal e a dissecação vertical são muito utilizadas nos estudos geomorfológicos no país por permitirem avaliar os processos relacionados com a intensidade da dinâmica fluvial. A combinação dessas duas variáveis à declividade permite uma análise da energia do relevo, ou seja, uma mensuração do potencial do relevo para o desencadeamento de processos morfodinâmicos. A obtenção desse tipo de dado, que tradicionalmente envolvia um trabalho moroso, em virtude da necessidade de análise detalhada e manual de elementos das bases topográficas, evoluiu significativamente com o desenvolvimento de técnicas cartográficas digitais. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo propor e avaliar novas técnicas automatizadas para a extração de dados da dissecação horizontal e da dissecação vertical e aprimorar a representação desses parâmetros, assim como da energia do relevo. Além disso, considerando a importância desses parâmetros para avaliação do relevo e para o estudo de processos morfodinâmicos, verificou-se a correlação espacial das técnicas propostas com a ocorrência de feições erosivas e escorregamentos. A tese foi desenvolvida a partir de quatro experimentos. Nos experimentos 1 e 2 foram desenvolvidas ferramentas que possibilitaram a automatização de duas técnicas de extração dos dados de dissecação horizontal e dissecação vertical. A avaliação dessas técnicas comprovou a eficiência das mesmas, além de evidenciar sua viabilidade para aplicação em grandes áreas, com ganho significativo de tempo, aumento da confiabilidade nos dados e possibilidade de realizar correções e testes dos dados introduzidos na plataforma do software. O experimento 3 foi realizado com o objetivo de aprimorar os dados de energia do relevo e de verificar sua correlação espacial com os processos erosivos e movimentos de massa. Os resultados mostraram que a energia do relevo apresentou correlação espacial fortemente positiva com os processos de escorregamento e voçorocas. Esse experimento demonstrou que a declividade foi a variável que apresentou maior correlação com os processos analisados, sendo determinante para a correlação positiva obtida na energia do relevo. No experimento 4 foi proposto o emprego de células de fluxo, que contribuem para uma melhor representação espacial, e do SPI, para quantificar a energia do relevo. Para avaliação dos resultados, foi realizada uma comparação com os produtos gerados no experimento 3. Concluiu-se que a energia do relevo é um instrumento melhor para a análise dos processos de escorregamento e voçorocamento e que o SPI não é um parâmetro geomorfométrico equivalente para substituí-la em áreas como as estudadas nesse trabalho. No entanto, a utilização das células de fluxo provou-se vantajosa no que se refere à uma representação mais rigorosa das formas da vertente e a técnica desenvolvida pode contribuir para a análise do escoamento superficial, da perda de solos, do desenvolvimento de processos morfodinâmicos, entre outros estudos geomorfológicos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise geomorfométrica; dissecação horizontal; dissecação vertical; bacia hidrográfica; processos morfodinâmicos.

ABSTRACT

Geomorphometric analysis provides quantitative data about the land, which allows a hierarchical evaluation of the potential of geometric characteristics of their shapes to the development of morphodynamic processes. Among the many variables that can be measure, the horizontal and vertical dissection are widely used in geomorphological studies in Brazil because they enable to evaluate the processes related to the intensity of the fluvial dynamics. The combination of these two variables allows an analysis of relief energy, which means, a measure of relief potential for triggering morphodynamic processes. Obtaining this type of data, that have traditionally involved a time consuming job due the need for a detailed and manual analysis of topographic bases, it has significantly evolved with the development of digital cartographic techniques. In this context, this study aimed to propose and evaluate new automated techniques for horizontal and vertical dissection data extraction and improve the representation of these parameters as well as the relief energy. Besides, considering the importance of these parameters to evaluate the relief and for the study of morphodynamic processes, the spatial correlation between the proposed techniques and the occurrence of erosive features and landslides has been verified. The thesis was developed based on four experiments. Two automatic techniques for extracting horizontal and vertical dissection data were developed in experiments 1 and 2. The evaluation of these techniques proved their efficiency and showed their viability for application in large areas with significant time savings, more reliable data and the possibility of making corrections in digital data. The experiment 3 was conducted with the aim of improve the relief energy data and verifies its spatial correlation with the erosion and mass movements. Results showed that the relief energy presented strong positive spatial correlation with the landslides and gullies. This experiment demonstrated that the slope was the most correlated variable with the analyzed processes, being decisive for the positive correlation obtained in the relief energy. In experiment 4, it was proposed the use of flow cells that contribute to a better spatial representation, and the SPI for quantifying the relief energy. To evaluate the results, a comparison was made with the products of experiment 3. It was concluded that relief energy is a better tool for landslides and gullies analysis and that SPI is not an equivalent geomorphometric parameter to replace it. However, the use of flow cells proved to be gainful in regard to a more accurate representation of landforms. The developed technique to flow cells extraction can contribute to the analysis of runoff, the soil losses, the developing of morphodynamic processes, and other geomorphological studies.

KEYWORDS: Geomorphometric analysis, horizontal dissection, vertical dissection, watershed, morphodynamic processes.

MATEUS VIDOTTI FERREIRA

CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA AO ESTUDO DA
DISSECAÇÃO E ENERGIA DO RELEVO: PROPOSTA E
AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS COMPUTACIONAIS

Tese de Doutorado apresentada
ao Instituto de Geociências e Ciências
Exatas do Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Doutor em Geociências e Meio
Ambiente

Comissão Examinadora

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Profa. Dra. Andréia Medinilha Pancher

Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho

Profa. Dra. Regina Célia de Oliveira

Prof. Dr. Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro, SP 26 de outubro de 2015

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	7
2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	10
2.1 Bacia hidrográfica do córrego do Cavalheiro.....	10
2.2 Bacia hidrográfica do rio da Onça	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Morfometria do relevo ou geomorfometria.....	15
3.2 Energia do relevo	17
3.3 Declividade.....	20
3.4 Dissecação horizontal (DH).....	21
3.5 Dissecação vertical (DV)	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
4.1 Estrutura geral do trabalho	27
4.2 Dados geográficos	30
4.3 Equipamentos e programas computacionais.....	31
4.4 Experimentos e métodos.....	32
4.4.1 Materiais e métodos Experimento 1.....	35
4.4.2 Materiais e métodos Experimento 2.....	43
4.4.3 Materiais e métodos Experimento 3.....	51
4.4.4 Materiais e métodos Experimento 4.....	56
5 RESULTADOS	64
5.1 Artigo Experimento 1	64
5.2 Artigo Experimento 2	90
5.3 Artigo Experimento 3	116
5.4 Artigo Experimento 4	142
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
REFERÊNCIAS.....	173

APÊNDICE A.....	183
APÊNDICE B.....	184
APÊNDICE C	185
APÊNDICE D	186
APÊNDICE E.....	187
APÊNDICE F.....	188
APÊNDICE G	189
APÊNDICE H	190
APÊNDICE I.....	191
APÊNDICE J	192
APÊNDICE L.....	193
APÊNDICE M.....	205
APÊNDICE N	218

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

A análise morfométrica do relevo visa obter dados quantitativos sobre o terreno, os quais auxiliam a avaliar hierarquicamente a potencialidade das características geométricas de suas formas para o desenvolvimento de processos morfodinâmicos. Informações sobre as formas de relevo são essenciais para estudos de avaliação e adequação de terrenos, de erosão, de áreas de risco e vários campos do planejamento regional ou inventários de uso da terra (SPIRIDONOV, 1981; DRĂGUȚ; BLASCHKE, 2006).

Dezenas de parâmetros geomorfométricos são citados na bibliografia nacional e internacional, os quais apresentam diversas denominações e muitas vezes elevado grau de correlação entre si. Importantes propostas de mapeamento do relevo foram publicadas utilizando a dissecação, declividade e parâmetros correlacionados como principais atributos para caracterizar e/ou classificar o relevo. Destacam-se as propostas de Hammond (1954), IPT (1981), Speight (1990), Ross e Moroz (1997), IBGE (2009), entre outras.

Spiridonov (1981) foi o responsável pelo desenvolvimento das metodologias utilizadas no Brasil para a elaboração de cartas de dissecação vertical e horizontal. O autor baseava-se na análise e interpretação de modelo de elevação do terreno e da rede de drenagem presentes nas cartas topográficas. Mendes (1993) propôs integrar as cartas morfométricas de dissecação do relevo de Spiridonov (1981) com a declividade e denominou o produto síntese de carta de energia do relevo. Este produto busca mensurar o potencial do relevo para o desencadeamento de processos morfogenéticos, ou seja, o potencial de acúmulo de energia (HENGL; REUTER, 2008; MACHADO; CUNHA, 2012). Tradicionalmente, a obtenção dos dados de dissecação e de energia do relevo, baseada nas propostas de Spiridonov (1981) e Mendes (1993), caracterizam-se por ser tarefa morosa. Isso ocorre em virtude da necessidade de análise detalhada e manual de elementos das bases topográficas a fim de mensurar as altitudes do relevo através das curvas de nível, assim como a distribuição da rede de drenagem. Zacharias (2001) propôs uma semiautomatização da metodologia de dissecação (vertical e horizontal). Entretanto, sua proposta continuava demandando considerável tempo e obrigatoriamente apresentava elevado grau de subjetividade relacionada aos procedimentos de interpretação do usuário.

Atualmente existe na bibliografia uma preferência pelo processamento de modelos digitais de elevação (MDE) matriciais para o cálculo da dissecação horizontal, vertical e da energia do relevo. A dissecação vertical pode ser calculada por meio de parâmetros como o índice de posição topográfica (topographic position index – TPI) (WEISS, 2001). Para a dissecação horizontal não foi encontrado um parâmetro geomorfométrico com definição equivalente, mas a mesma estaria relacionada à densidade de drenagem definida por Horton (1945). Já para a energia do relevo, destaca-se a proposta de Bagnold (1960), que produz o Índice de Energia Corrente (*Stream Power Index* - SPI).

Os parâmetros calculados a partir de modelos matriciais apresentam grande facilidade de implementação em ambiente computacional, rapidez de processamento e menor subjetividade. Contudo, autores como Moore e Grayson (1991) e Hengl e Evans (2008) consideram que métodos baseados na análise de curvas de nível são mais adequados para parâmetros relacionados ao fluxo de água em superfície (ex: energia do relevo) por razões geomorfológicas e hidrológicas. Porém, estes métodos requerem mais intervenções do usuário para otimização, o que adiciona um grande fator de subjetividade e torna a obtenção mais lenta.

A partir do cenário apresentado, foi estabelecido a seguinte hipótese de trabalho: é possível automatizar o processo de extração de dados da dissecação horizontal e da dissecação vertical do relevo e aprimorar a representação desses parâmetros, assim como da energia do relevo.

Com o intuito de verificar a hipótese, o principal objetivo desse trabalho foi investigar e propor técnicas automáticas para o cálculo dos parâmetros de dissecação horizontal, dissecação vertical e energia do relevo. Além disso, considerando a importância desses parâmetros para avaliação do relevo e para o estudo de processos morfodinâmicos, pretendeu-se verificar a correlação espacial entre os produtos gerados e a ocorrência de feições erosivas e escorregamentos de terra. A tese foi desenvolvida a partir de quatro experimentos com os seguintes objetivos específicos:

- Experimento 1: apresentar e discutir uma nova técnica automática, desenvolvida em meio digital, para a obtenção de dados da dissecação horizontal do relevo, a partir da adaptação de Mauro et al. (1991) para a técnica proposta por Spiridonov (1981);

- Experimento 2: apresentar e discutir uma nova técnica automática, desenvolvida em meio digital, para a obtenção de dados da dissecação vertical do relevo, a partir da adaptação da técnica proposta por Spiridonov (1981);

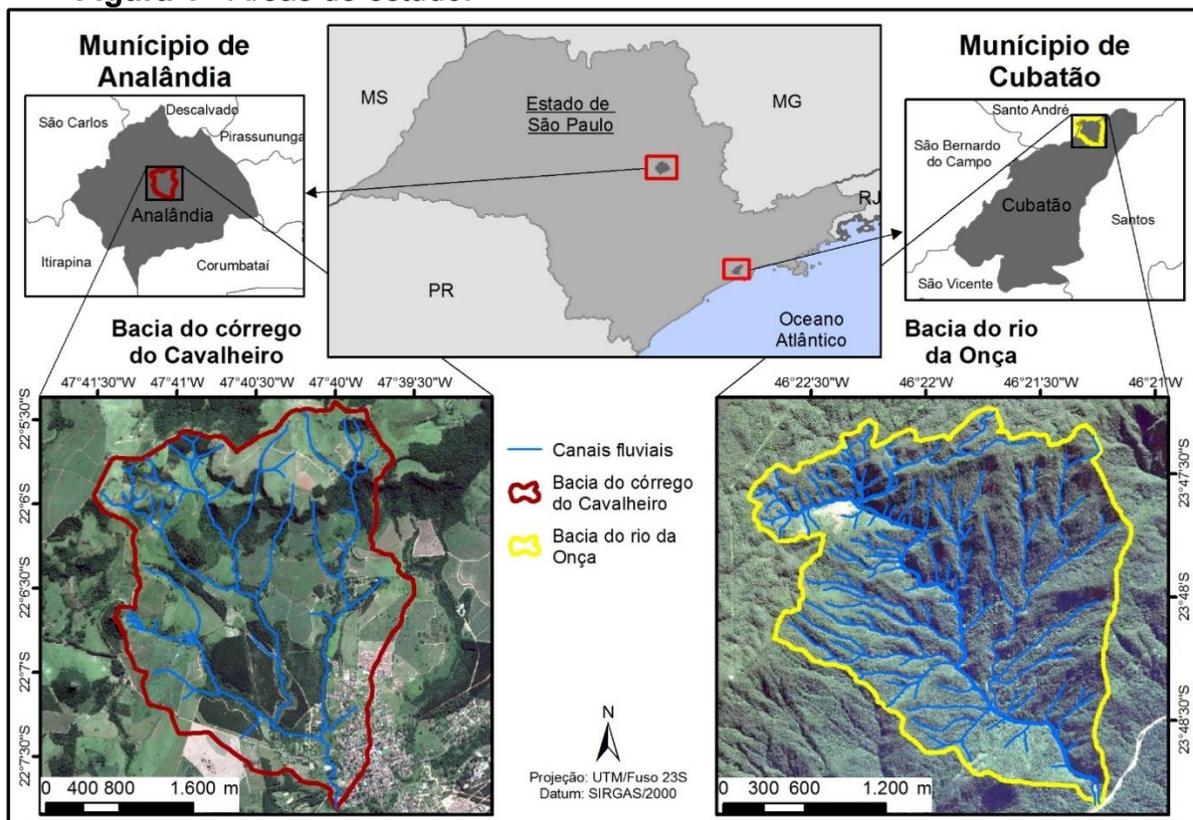
-Experimento 3: verificar a correlação espacial entre a energia do relevo, mapeada segundo a proposta de Mendes (1993), e a ocorrência de escorregamentos de terra e feições erosivas;

-Experimento 4: aprimorar a forma de obtenção de dados da energia do relevo por meio da adaptação das células de fluxo, proposta por Onstad e Brakensiek (1968), em conjunto com a utilização de um parâmetro geomorfométrico (SPI).

2 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As duas áreas de estudo selecionadas para o desenvolvimento dos experimentos estão localizadas no Estado de São Paulo, sendo uma no interior e outra no litoral, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1 - Áreas de estudo.



Fonte: elaborado pelo autor.

2.1 Bacia hidrográfica do córrego do Cavalheiro

O córrego do Cavalheiro está localizado próximo à nascente do Rio Corumbataí, sendo seu afluente na margem esquerda. A bacia hidrográfica do Rio Corumbataí tem uma área de 1700 km², sendo composta pelos municípios de Ipeúna, Rio Claro, Santa Gertrudes, Charqueada, Itirapina, Piracicaba e Analândia, onde está localizado o córrego do Cavalheiro.

O município de Analândia apresenta um clima tropical seco e úmido, segundo a classificação climática de Strahler e Strahler (2005), marcado por uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno. Essas estações ocorrem devido à

alternância de domínio das massas de ar úmidas (massa tropical marítimo e a massa equatorial marítimo) e da massa de ar seca (massa tropical continental) ao longo do ano. O clima do município equivale ao Cwa, segundo a classificação de Koppen (1948), em que a média de temperatura do mês mais quente é superior a 22°. De acordo com o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI-UNICAMP, 2015), a precipitação anual de Analândia é de aproximadamente 1300 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (236 mm) e julho o mais seco (25 mm).

Em 2013 o município apresentava uma população de 4.468 habitantes. A atividade agropecuária é bastante representativa no município, tendo uma participação em 2010 de 37,10% no total do valor econômico adicionado. As atividades agropecuárias de maior relevância econômica em 2010 eram: laranja, cana-de-açúcar, madeira para papel e celulose e café (SEADE, 2014).

A área da bacia do córrego do Cavalheiro é ocupada majoritariamente por atividades agropecuárias como pasto, silvicultura, lavoura permanente (laranja, madeira para papel e celulose e café), cana-de-açúcar, além de pequenos trechos de mata e área urbanizada. Essa área apresentou um elevado número de processos erosivos lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas, já descritos por Cunha e Pinton (2013). O desenvolvimento dessas feições é acelerado pelas intensas chuvas de verão, pelo solo de textura arenosa e pela prática inadequada das atividades agrícolas.

A área estudada está inserida na bacia sedimentar do Paraná e está disposta na transição entre as Cuestas Areníticas-Basálticas e a Depressão Periférica Paulista. Ross e Moroz (1997) classificam o trecho das Cuestas Arenítico-Basálticas como Planalto Residual de São Carlos. Os autores afirmam que predominam formas do relevo denudacionais cujo modelado constitui-se basicamente por colinas de topos convexos e tabulares. Apresentam vales com entalhamento variando de 20 a 80m, dimensão interfluvial média de 250 a 3750m e declividade que pode atingir os 30%. Os autores classificam a fragilidade potencial como média, sujeita ao desenvolvimento de fortes processos erosivos (ROSS e MOROZ, 1997).

Com relação à geologia, a área apresenta sequências sedimentares paleozoicas e mesozoicas sobre um embasamento cristalino. Na Bacia do Paraná as camadas apresentam um caimento suave para noroeste com a presença de basaltos separando as rochas paleozoicas e mesozoicas inferiores dos arenitos cretáceos e pós-

basálticos. A Depressão Periférica e as Cuestas Arenítico-Basálticas formaram-se devido à presença das rochas basálticas, mais resistentes que as que são sotopostas, produzindo uma escavação, desenvolvida por uma erosão diferencial. Já o Planalto Ocidental é um grande relevo estrutural condicionado pelo caimento das camadas (IPT, 1981). De acordo com Ab'Sáber (1969), a gênese desses compartimentos está relacionada com o processo de circundesnudação, de idade pós-cretácea, ocorrido nas margens da bacia sedimentar do Paraná e ambos se desenvolvem sobre litologias cuja deposição ocorreu desde o período Mesozoico (Formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral) (SÃO PAULO, 1984). Constam também na área as Formações Santa Rita do Passa Quatro e Itaqueri vinculadas ao período Cenozóico, no entanto, é necessário destacar que não há um consenso para a datação da última, pois essa já foi considerada inicialmente como série basal do Grupo Bauru e, atualmente, alguns autores indicam que sua formação pode ser posterior ao referido grupo (MELO, 1995).

A partir das condições litológicas e climáticas apresentadas se desenvolvem as seguintes classes de solos: Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Latossolo Vermelho Amarelo, Argissolos Vermelho Amarelo e Nitossolo (KOEFFLER, 1992). Troppmair (1975) afirma que, no geral, esses solos se caracterizam por serem de baixa fertilidade. Oliveira (1999) observa que grande parte dos neossolos litólicos ocorre em relevo fortemente ondulado ou montanhoso e devido a isso, estes são muito susceptíveis à erosão. Com relação aos latossolos, Oliveira (1999) afirma que são, no geral, solos com boas propriedades físicas, tais como uma boa permeabilidade interna e uma boa capacidade de infiltração. Bertoni e Lombardi Neto (2010) acrescentam que estes solos “apresentam boa tolerância à perda por erosão e baixa relação de erosão”.

2.2 Bacia hidrográfica do rio da Onça

O rio da Onça localiza-se no município de Cubatão, abrange uma área de aproximadamente 5,5 km² e faz parte da bacia do rio Mogi. A bacia está inserida no relevo escarpado da Serra do Mar, que separa o Planalto Paulistano da Baixada Santista.

A área de estudo está situada em uma das regiões do Brasil com um dos maiores índices pluviométricos. Característico do clima tropical úmido, não há estação seca e chove com maior intensidade nos meses de novembro a março, com médias anuais

superiores a 2500 mm (CEPAGRI-UNICAMP, 2015). O clima da região, equivalente ao Af segundo a classificação de Köppen (1948), apresenta a temperatura média do mês mais quente superior a 18 °C e é influenciado pelo relevo da Serra do Mar, que favorece a existência de microclimas em uma área relativamente pequena e funciona como uma barreira para os ventos que sopram do mar para o continente, gerando altos índices pluviométricos. A intensidade e a frequência da pluviosidade tornam a chuva o principal agente deflagrador dos escorregamentos frequentes na região.

A bacia do rio da Onça localiza-se em uma região de Mata Atlântica, mais especificamente em uma área de encosta da mata, abrigando uma floresta pluvial tropical de encosta, com um porte arbóreo de 15 a 20 m de altura em média e de 1 a 1,5 m de diâmetro médio. As copas das árvores são densas, largas contínuas e espessas, sombreando bem o chão e o interior da mata que se apresenta escura, mal ventilada e úmida (RODRIGUES, 1992).

Segundo Almeida (1964), a área de estudo está inserida na divisão geomorfológica denominada Província Costeira, subdividida em Serrania Costeira e Baixada Litorânea. Segundo Augusto Filho e Virgili (1998), Cubatão abrange um relevo de transição entre o Planalto Atlântico e a Baixada Litorânea. As escarpas da Serra do Mar aproximam-se de 1000 m altitude e assumem perfis mais ou menos retilíneos, com altos declives, separadas por vales em "V".

A área é constituída predominantemente por rochas com diferentes graus de metamorfismo do embasamento cristalino, que está dividido em duas grandes unidades litoestratigráficas, representadas pelo Grupo Açungui do Proterozóico superior e pelo Complexo Costeiro do Arqueano. Tais unidades encontram-se compartimentadas pela zona de falhamento transcorrente de Cubatão, que põe em contato rochas de diferentes resistências à erosão: metassedimentos que incluem filitos, metacalcários, xistos e quartzitos no bloco norte, e um complexo gnáissico-migmatítico granítico ao sul (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998).

A Serra do Mar exhibe ora escarpas abruptas, ora escarpas de contornos sinuosos, dependendo do grau de dissecação das encostas. As encostas mais altas e resistentes ao processo erosivo são constituídas por granitos, gnaisses e migmatitos. Já áreas com relevos mais baixos são formadas por xistos e filitos, rochas menos resistentes aos processos erosivos (RODRIGUES, 1992).

Ocorrem na área de estudo basicamente migmatitos, que podem estar associados a rochas graníticas e intercalações de rochas metassedimentares como

quartzo e xistos. Ocorrem também sedimentos terciários pertencentes à Formação São Paulo, e ainda sedimentos recentes classificados como pedimentos, tálus, coluviões e aluviões lagunares, de costa, e flúvio-lacustres, nas planícies fluviais e sopés de encosta (SADOWSKI, 1974).

Atuando como condicionantes geológicos, as discontinuidades como juntas e falhas antigas presentes na área são aproveitadas pelos agentes intempéricos para alterar o solo ou rocha que, posteriormente, sofrerão processos erosivos tornando-se suscetíveis a escorregamentos (IPT, 1985). Essa bacia apresentou a maior densidade de cicatrizes de escorregamento por quilômetro quadrado do município segundo o inventário de 1985 realizado por Lopes et al. (2007).

Com relação aos solos, segundo o Brasil (1983), nas escarpas e planaltos da Serra do Mar predomina a ocorrência de Cambissolos de textura argilosa e areno-argilosa. Oliveira et al. (1999) identificou a presença na área da bacia de neossolos litólicos distróficos, cambissolos háplicos e afloramentos de rochas. Os solos da bacia do rio da Onça, em grande parte, caracterizam-se por serem pouco profundos, muito pobres em nutrientes, ácidos e com teor elevado de alumínio. A floresta, para se desenvolver, depende do eficiente ciclo de nutrientes em que a fauna e a flora decompositora têm um papel fundamental. Todo o material que é decomposto forma uma fina e superficial camada no solo que a planta utiliza para nutrir-se, assim sendo, o sistema radicular para absorver os nutrientes dessa camada é necessariamente superficial. A sustentação do vegetal e a manutenção do solo apenas são possíveis através do entrelaçamento das raízes das árvores (RODRIGUES, 1992).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Morfometria do relevo ou geomorfometria

Os termos morfometria e geomorfometria são utilizados comumente como sinônimos. De acordo com Evans (1972), o prefixo “geo” é necessário para tornar o termo mais específico, diferenciado da morfometria utilizada em outras áreas da ciência. No entanto, nesse trabalho os termos serão utilizados como sinônimos.

Geomorfometria é um campo da ciência dedicado a analisar quantitativamente a superfície da terra (MACMILLAN; SHARY, 2008). Evans (1972) afirma que a geomorfometria tem duas ramificações principais, denominadas geomorfometria específica e geomorfometria geral. A geomorfometria específica trata das formas individuais do terreno (uma colina, uma montanha, um planalto, etc.), enquanto que a geomorfometria geral mensura e analisa as características das formas do terreno para qualquer superfície rugosa contínua. Evans (1972) destaca que cada uma das abordagens tem seus pontos positivos e negativos. A geomorfometria geral trabalha com conceitos bastante objetivos como a altitude de superfície, gradiente, distância e área. No entanto, utiliza outros conceitos não tão objetivos como convexidade, relevo, dissecação e textura, o que permite variações em suas definições de operação. A geomorfometria geral, como um todo, fornece as bases para a comparação quantitativa de diferentes paisagens. Evans (1972) afirma que a geomorfometria específica é mais limitada pois recorre a muitas decisões arbitrárias, deixando um maior espaço para a subjetividade na quantificação dos conceitos. Por outro lado, as variáveis estão mais relacionadas a processos, o que é normalmente utilizado nas definições operacionais.

A análise geomorfométrica do relevo visa obter dados quantitativos sobre o terreno, os quais avaliam hierarquicamente a potencialidade de suas características geométricas para o desenvolvimento de processos morfogenéticos. Tricart (1965) considera os dados morfométricos de extrema relevância na avaliação do relevo e os emprega como uma das bases em sua proposta de mapeamento geomorfológico. Tradicionalmente, a obtenção destes dados caracterizava-se por tarefa morosa em virtude da necessidade de análise detalhada de elementos das bases topográficas a fim de mensurar as altitudes do relevo através das curvas de nível, assim como a distribuição da rede de drenagem.

No entanto, a introdução das técnicas digitais viabilizou uma dinamização no processamento e interpretação das variáveis morfométricas. A partir da década de 1960, alguns pesquisadores passaram a publicar suas experiências. Morse (1968) procurou visualizar o comportamento topológico das superfícies topográficas a partir das curvas de nível em ambiente computacional, mas apontou dificuldades para o tratamento satisfatório dos dados expressos em isolinhas. Evans (1972) introduziu pela primeira vez um sistema integrado de geomorfometria, focado principalmente em dados derivados da altitude. Peucker e Douglas (1975) discutiram os problemas de codificação da superfície topográfica nos sistemas computacionais. Mark e Aronson (1984) avaliaram o uso do modelo da geometria fractal para descrever o comportamento estatístico da superfície terrestre, buscando assimilar a complexidade da topografia de forma mais eficiente em ambiente digital. Dikau et al. (1995) adaptaram para o meio digital uma metodologia de classificação do relevo baseada em dados morfométricos derivados de modelos digitais de elevação (MDEs).

Nos últimos anos, um importante progresso foi alcançado na melhoria da extração de atributos geomorfométricos, com o desenvolvimento de novos algoritmos e *softwares*. Neste contexto, destacam-se os trabalhos de Ehsani e Quiel (2008), Steinke e Sano (2011) e Jasiewicz e Stepinski (2013), que realizaram análises semiautomáticas de dados morfométricos para o reconhecimento de padrões de formas do relevo através de MDEs e, ainda, Ghimire (2014) que identificou e analisou um grupo de variáveis morfométricas para a classificação de bacias hidrográficas de primeira ordem. Além da evolução tecnológica, o desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de análise morfométrica do relevo em ambiente computacional foi motivado pelo interesse em superar a subjetividade relativa às interpretações realizadas manualmente.

No entanto, Evans (1972) aponta alguns problemas e limitações enfrentados pela geomorfometria. A seguir são apresentados os problemas destacados pelo autor e efetua-se algumas considerações tendo como referência publicações recentes:

1- Não há um consenso na forma de se quantificar as formas do terreno, assim cada pesquisador desenvolve sua forma de operacionalização de um conceito (EVANS, 1972).

Esse com certeza é um problema que persiste até hoje. Pesquisando os artigos atualmente publicados, nota-se que surgem cada vez mais parâmetros para avaliar o relevo, mas não existe um consenso da melhor técnica para o cálculo de cada um.

Também há discordâncias quanto aos parâmetros mais relevantes para cada tipo de pesquisa ou cada tipo de terreno.

2- Cada parâmetro é abstraído independentemente e de forma manual. O que demanda muito trabalho e produz uma grande redundância de informação (EVANS, 1972).

Essa limitação foi em parte superada pelo desenvolvimento computacional, o que tornou a extração de muitos parâmetros automática, rápida e mais precisa. Entretanto, o número de parâmetros aumentou e as técnicas estatísticas para seus cálculos e análises se tornaram muito mais complexas, demandando ainda muito tempo para seleção dos parâmetros, análise e interpretação dos resultados.

3- “Estatísticas instáveis” como máximo e mínimo são comumente utilizadas. Essas técnicas sofrem muito com os efeitos de ruídos presentes nos dados (EVANS, 1972).

Esse problema tem sido resolvido com a melhoria das técnicas para a geração dos dados e introdução de novos métodos estatísticos para o tratamento dos mesmos.

4- Uso exagerado de índices, fatores e principais componentes, o que leva os pesquisadores a obterem resultados diferentes do pretendido (EVANS, 1972).

Nas publicações atuais, os autores quase nunca chegam a resultados diferentes do pretendido, os métodos empregados são sempre, de acordo com suas conclusões, considerados precisos e eficientes.

5- Muitos autores têm a falsa sensação de que apenas um parâmetro pode explicar toda a complexidade da superfície (EVANS, 1972).

A tendência atual é exatamente oposta, utilizam-se muitos parâmetros para explicar um fenômeno específico.

6- Muitos parâmetros são construídos com base em uma área específica, não sendo possível aplicá-los em outra área (EVANS, 1972). Esse problema persiste, pois geralmente os métodos são experimentos em uma escala local ou regional, para uma configuração bastante específica do meio físico.

3.2 Energia do relevo

A energia do relevo busca mensurar o potencial do relevo para o desencadeamento de processos morfogenéticos, ou seja, o potencial de acúmulo de energia (HENGL; REUTER, 2008; MACHADO; CUNHA, 2012). De acordo com Dobos

e Hengl (2008), a energia do relevo condiciona a intensidade do escoamento, erosão, deposição e infiltração e pode alterar inúmeras propriedades do solo. Macmillan e Shary (2008) afirmam que a energia disponível para o desenvolvimento de processos geomórficos, pedogenéticos e hidrológicos será fortemente condicionada pelas características geométricas das formas dos terrenos presentes.

Segundo Smith (1935), os primeiros trabalhos calculavam a energia do relevo por meio de uma razão entre a amplitude local do relevo e a porcentagem total da área. Proposta semelhante pode ser encontrada no trabalho de Spiridonov (1981), em que o cálculo é realizado subtraindo o ponto de menor elevação do ponto de maior elevação para uma determinada área considerada. Ambos os autores consideravam para análise dos resultados uma malha regular de quadrados.

Mendes (1993) integra as cartas de dissecação horizontal e vertical, segundo proposta de Spiridonov (1981) e adaptação de Mauro et al. (1991), e a carta de declividade e denomina esse produto de carta de energia do relevo. Essa proposta entende energia do relevo como a combinação das seguintes propriedades da vertente: extensão horizontal (dissecação horizontal), amplitude altimétrica (dissecação vertical) e declividade. Dessa forma, a carta de energia do relevo é uma síntese das cartas morfométricas. Segundo Machado e Cunha (2012), este produto cartográfico tem o objetivo de qualificar as áreas de acordo com o grau de energia potencial que possuem para desencadear processos morfodinâmicos.

A integração das propriedades da vertente ocorre por meio das combinações de suas classes, que são elaboradas pelos pesquisadores de acordo com a área e objetivo do trabalho. O quadro 1 apresenta um exemplo adaptado do trabalho de Cunha e Pinton (2013).

A partir do trabalho de Mendes (1993), muitos estudos foram desenvolvidos no país utilizando a carta de energia do relevo. Destacam-se os trabalhos desenvolvidos pelos pesquisadores da UNESP de Rio Claro, Carpi Jr. (1996), Zacharias (2001), Zacharias, Freitas e Sanchez (2005), Sato e Cunha (2007), Silva e Cunha (2008), Flores e Cunha (2010), Marques Neto e Andrade (2010), Machado e Cunha (2010), Souza e Cunha (2012), Cunha e Pinton (2013) e Machado e Cunha (2013). Merece ênfase também os trabalhos desenvolvidos pelos pesquisadores de Minas Gerais, Leite e Rosa (2012) e Marques Neto (2012) e do Mato Grosso do Sul, Silva e Pinto (2006), Grechia (2011) e Pinto (2012).

Quadro 1 - Classes de energia do relevo.

Classe de energia do relevo	Declividade (%)	Operador	Dissecação Horizontal (m)	Operador	Dissecação Vertical (m)	Ordem de classificação
Muito Forte	> 75	OU	< 10			1 ^a
Forte	45 – 75	OU	10 - 20			2 ^a
	20 – 45			E	> 60	3 ^a
Medianamente Forte	20 – 45	OU	20 - 40	OU	> 60	4 ^a
Média	8 – 20	OU	40 - 80	OU	50 - 60	5 ^a
Fraca	3 – 8	OU	80 - 160	OU	40 - 50	6 ^a
Muito Fraca	> 3	OU	> 160	OU	0 - 40	7 ^a

Fonte: adaptado de Cunha e Pinton (2013)

Atualmente, em âmbito internacional, o índice mais empregado para mensurar a energia do relevo é denominado de Índice de Energia Corrente (*Stream Power Index* - SPI). O SPI estabelece uma correlação entre o caminho do fluxo da água, o acúmulo do fluxo e a vertente que, juntos, definem a energia potencial que a água de superfície tem para erosão. Fundamentalmente é calculado pela multiplicação da declividade e área de contribuição acima de um ponto. O SPI pode ser usado para descrever o fluxo de erosão potencial e a relação com os processos da paisagem. Em uma bacia específica, com o aumento da declividade, haverá um acréscimo na quantidade e velocidade do fluxo de água e conseqüentemente, a energia corrente e o potencial de erosão aumentam (GRUBER; PECKHAM, 2008).

Esse índice foi proposto inicialmente por Bagnold (1960) e, a partir de então, surgiram diversas modificações ao primeiro índice proposto. Os trabalhos de Moore e Burch (1986) e Moore, Burch e Mackenzie (1988) apresentam uma revisão e discussão das equações para o cálculo desse índice. A equação 1 é a mais utilizada para o cálculo do SPI.

$$SPI = \ln(AC \cdot D) \quad (1)$$

Onde: AC é a área de drenagem acima do ponto e D é a declividade em porcentagem.

Pode-se citar alguns trabalhos recentes que empregaram o SPI para análise de processos erosivos: Conforti et al. (2010), Lucà, Conforti e Robustelli (2011), Märker, Pelacani e Schröder (2011), Magliulo (2012), Conoscenti et al. (2013), Conoscenti et al. (2014), entre outros.

3.3 Declividade

A declividade é considerada um parâmetro morfométrico local básico, pois pode ser derivada diretamente do modelo numérico do terreno, sem necessidade de um conhecimento mais profundo da área representada (OLAYA, 2008). Esse parâmetro é empregado em praticamente todos os trabalhos que buscam analisar ou descrever a topografia.

A declividade representa a taxa máxima de mudança da elevação para um determinado ponto. Inicialmente a declividade era calculada manualmente por meio da análise das curvas de nível. Uma proposta bastante empregada no Brasil é a de De Biasi (1970), que utiliza ábaco para elaboração da carta de declividade. Contudo, todas as propostas manuais consomem muito tempo e são consideradas, muitas vezes, inviáveis de serem empregadas em grandes áreas, conforme apontado por Evans (1972).

Em meio digital, a declividade é geralmente calculada através de uma janela móvel com dimensão de 3x3 (OLAYA, 2008), conforme proposto por Young e Evans (1978). A declividade do ponto central é determinada por meio da maior diferença de altitude encontrada em relação aos oito pixels vizinhos. A declividade é calculada em uma janela 3x3 utilizando as equações 2, 3 e 4.

$$G = \frac{Z_{NB3} + Z_{NB6} + Z_{NB9} - Z_{NB1} - Z_{NB4} - Z_{NB7}}{6 \cdot \Delta S} \quad (2)$$

$$H = \frac{Z_{NB1} + Z_{NB2} + Z_{NB3} - Z_{NB7} - Z_{NB8} - Z_{NB9}}{6 \cdot \Delta S} \quad (3)$$

$$\text{Declividade}(em Z_{NB5}) = \sqrt{G^2 + H^2} \quad (4)$$

Onde: G é a primeira derivada na direção x (df/dx), H é a primeira derivada na direção y (df/dy), Z_{NB5} é a célula central, $Z_{NB1,2,3,4,6,7,8,9}$ são as oito células vizinhas, ΔS é o tamanho da célula em metros.

No entanto, Dunn e Hickey (1998) afirmam que a proposta de Young e Evans (1978) pode superestimar a declividade e propõem então calcular a declividade considerando apenas a diferença de elevação do pixel vizinho que estiver na direção do declive do relevo. No entanto, essa sugestão parece ter sido ignorada, visto que não há outros trabalhos que aplicaram e avaliaram essa proposta. O método de Young e Evans (1978) continua sendo o mais utilizado para o cálculo do parâmetro de

declividade, estando implementado em diversos *softwares* comerciais e gratuitos, mas podendo apresentar algumas pequenas variações da proposta original.

3.4 Dissecação horizontal (DH)

A dissecação horizontal pode ser entendida como a distância horizontal entre as linhas de cumeada e os talwegues no interior de uma sub-bacia. Quanto maior o valor da distância horizontal entre a linha de cumeada e os talwegues, menor é a intensidade da dissecação horizontal e, portanto, o terreno é menos dissecado.

O valor da dissecação horizontal tem uma relação inversa com a densidade de drenagem, definida por Horton (1945) e Freitas (1952) como sendo uma razão do comprimento do canal pela área total da bacia considerada. Dessa forma, quanto maior o valor da dissecação horizontal, menor será a densidade de drenagem. O termo textura da drenagem também está relacionado à dissecação horizontal, sendo empregado para designar um menor ou maior espaçamento entre os cursos d'água. A textura é considerada grosseira (maior valor de dissecação) quando existe um maior espaçamento e fina (menor valor de dissecação) para menores espaçamentos (RAY, 1963).

O valor de dissecação horizontal apresenta uma relação direta com o comprimento dos rios. À medida em que aumenta o valor da dissecação horizontal, os comprimentos dos rios aumentam quase que proporcionalmente (STRAHLER, 1952). Também existe a mesma relação direta com as formas do relevo, ou seja, quanto maior o valor da dissecação horizontal, maior a dimensão das formas do relevo.

No Brasil, vários dos estudos de dissecação horizontal desenvolvidos foram baseados na técnica proposta por Spiridonov (1981). O autor propôs que a carta de dissecação horizontal fosse elaborada a partir da delimitação das bacias e sub-bacias de drenagem em uma base topográfica. Dentro dos limites de cada bacia, seriam traçadas as linhas de caída das encostas e nelas se separariam distintas seções desde os talwegues. Os pontos equidistantes dos talwegues seriam unidos mediante curvas, que desta maneira seriam as isolinhas de distância dos talwegues mais próximos. As faixas geradas representariam as classes de dissecação horizontal.

No início dos anos 1990 essa técnica passou por algumas adaptações propostas por Mauro et al. (1991). A primeira etapa foi mantida com a delimitação das bacias e,

em seguida, de todas as sub-bacias, partindo-se das maiores para as de menor extensão. Na etapa seguinte houve a implementação de um ábaco que, deslocado entre o talvegue e os divisores de águas, auxiliaria na delimitação das classes de dissecação horizontal. As áreas seriam classificadas de acordo com a distância, medida entre as projeções ortogonais do divisor de águas e do fundo de vale, em um plano horizontal. Os intervalos considerados representariam a distância do topo do interflúvio ao fundo do vale, medida em um plano horizontal.

Outra importante contribuição foi a de Zacharias (2001), que propôs uma semiautomação da metodologia em ambiente digital, por meio de uma plataforma Computer-aided design (CAD).

3.5 Dissecação vertical (DV)

A dissecação vertical representa a dimensão vertical do relevo, sendo comumente calculada como a amplitude da altitude para uma determinada região considerada (SMITH, 1935). Esse parâmetro reflete o grau de entalhamento do relevo, que também é denominado de textura topográfica. Um dos primeiros trabalhos a propor um cálculo para a textura topográfica foi o de Smith (1950), que estabeleceu uma relação entre o número de crênulas de uma determinada curva de nível e o perímetro da bacia. A textura topográfica pode ser utilizada como indicativo do grau erosivo da região.

Evans (1972) apresenta uma importante discussão sobre como calcular a dissecação vertical. O autor afirma que é consenso utilizar a amplitude altimétrica, no entanto, o que varia é a área a ser considerada. O autor realiza uma revisão dos métodos utilizados até então e conclui que todos os métodos apresentam um elevado grau de subjetividade para definição da área. Evans (1972) indica então o método baseado em quadrículas regulares que, apesar da subjetividade na definição do tamanho da quadrícula, é simples e prático de ser utilizado. Pode-se destacar os seguintes trabalhos que utilizaram quadrículas regulares: Hammond (1954, 1964), Hubp (1988), Dikau, Brabb e Mark (1991), entre outros.

Além da amplitude topográfica, outro índice similar que é muito utilizado para mensurar a amplitude do relevo é o índice de posição topográfica (*Topographic Position Index – TPI*). Esse índice mensura a diferença entre a elevação de um ponto central (Z_0) e a média de elevação (Z) do entorno, dentro de um raio (R) predeterminado (WEISS, 2001) e também pode ser denominado de posição topográfica relativa (GALLANT; WILSON, 2000). A equação 5 define o TPI.

$$TPI = Z - Z_0 \quad (5)$$

Onde: Z_0 é a elevação de um ponto central e Z é média da elevação das células do entorno dentro de um raio previamente estabelecido.

Os valores positivos de TPI indicam que o ponto central é mais elevado que a média dos pontos da vizinhança, enquanto que os valores negativos indicam que o ponto central é menos elevado que a média da vizinhança. A amplitude dos valores

de TPI irá depender da altitude e do tamanho do raio. Um raio maior irá revelar unidades maiores do relevo, enquanto um raio menor será mais adequado para feições menores (DE REU et al., 2013).

O TPI pode ser interpretado como a representação da capacidade de erosão ou acumulação do terreno. Esse índice é utilizado atualmente para diferentes análises do meio físico, como classificação de formas do relevo (DE REU et al., 2013), suscetibilidade a escorregamento (POIRAUD, 2014), avaliação do potencial à erosão (CONOSCENTI et al., 2014), avaliação da dinâmica glacial (LOIBL; LEHMKUHL; GRIEßINGER, 2014), entre outras.

Spiridonov (1981) propõe que seja utilizado o limite de sub-bacias hidrográfica como área para cálculo da dissecação vertical quando se necessita de grande detalhe. O autor propôs que a carta de dissecação vertical fosse elaborada a partir da delimitação das bacias e sub-bacias de drenagem em uma base topográfica. Dentro dos limites de cada bacia e para cada curva de nível, é marcado um ponto em que esta intercepta a linha de drenagem. Estes pontos são unidos às linhas de cumeada, respeitando-se a menor distância entre eles. Esta linha representa a máxima caída da vertente. Assim, a dissecação vertical representa a diferença altimétrica observada entre a linha de cumeada e o talvegue, proposta semelhante a de Dury (1951). Esta técnica permite um grande detalhamento das áreas no interior de cada sub-bacia, o que não se alcança com a técnica baseada em quadrículas, sugerida por Evans (1972). No Brasil, a proposta de Spiridonov (1981) foi também adaptada por Mauro et al. (1991) para dissecação vertical e adotada por Mendes (1993) para elaboração da carta de energia do relevo, assim como por todos os trabalhos já citados anteriormente que geraram esse produto cartográfico.

A metodologia de Spiridonov (1981) tem um grau de semelhança à proposta de Onstad e Brakensiek (1968), realizada completamente de forma manual. Neste trabalho também são delimitadas bacias e sub-bacias e são traçadas linhas que conectam a drenagem ao limite de cada sub-bacia. Contudo, essas linhas são traçadas por meio de segmentos que devem ser ortogonais às curvas de nível. As linhas formadas são denominadas de linhas de fluxo (*stream path*) e formam uma rede de fluxo de potencial gravitacional. Essa proposta corresponde a um modelo do terreno baseado em curvas de nível, sendo uma alternativa para os métodos baseados em grades retangulares e triangulares. O fato da proposta de Onstad e

Brakensiek (1968) considerar o fluxo para o traçado das linhas é a principal diferença da metodologia de Spiridonov (1981).

As células delimitadas por Onstad e Brakensiek (1968) são tratadas como elementos da paisagem, em que se assume que tenham propriedades uniformes em seus interiores. Cada célula tem um formato irregular, sendo delimitada pelas curvas de nível e pelas linhas de fluxo.

Foram publicados dois métodos para automatização da proposta de Onstad e Brakensiek (1968), sendo um denominado de TAPE-C (*Topographic Analysis Programs for the Environmental Sciences-Contour*), que é descrito por Moore, O'Loughlin e Burch (1988) e refinado por Moore e Grayson (1991) e outro similar denominado de Topog, descrito por Vertessy et al. (1993) e Dawes e Short (1994). Ambos os métodos constroem um modelo digital do terreno (MDT) formado, em grande parte, por quadrados irregulares e podem calcular para cada quadrado uma série de parâmetros topográficos. Gallant e Wilson (2000) realizam uma importante discussão explicando e comparando as diferenças das propostas TAPE-C e Topog.

Moore e Grayson (1991) comparam os métodos baseados em grade e em curvas de nível. Os autores consideram que a estrutura de curvas de nível é mais adequada para análise do fluxo de água em superfície por razões geomorfológicas e hidrológicas. As estruturas de grade tipicamente restringem o fluxo de um dado ponto para apenas uma de oito direções possíveis, e calculam o caminho do fluxo em forma de "zig zag". Os métodos em grade analisam e tratam o escoamento superficial de uma célula da grade (duas dimensões) como um ponto fonte (zero dimensão) e projeta o movimento encosta abaixo por meio de uma linha (uma dimensão). Já os métodos vetoriais, apoiados na ideia inicial de Onstad e Brakensiek (1968), executam uma análise mais realista fisicamente, pois tratam o escoamento superficial originado em um segmento (uma dimensão) de uma linha equipotencial e projetam encosta abaixo em uma superfície de duas dimensões (MOORE; GRAYSON, 1991).

Hengl e Evans (2008) consideram que propostas como TAPE-C (MOORE; O'LOUGHLIN; BURCH, 1988) e Topog (VERTESSY et al., 1993) têm grande vantagem para aplicações hidrológicas, contudo requerem muitas intervenções do usuário para otimização, o que adiciona um grande fator de subjetividade. Os dados de entrada necessitam dos pontos de picos, dos pontos de sela e das curvas de nível digitalizadas em uma direção consistente e ordenada do menor para o ponto de maior altitude. As propostas requerem intervenção nas áreas em que as curvas são mais

espaçadas. Os autores apontam como desvantagem o espalhamento do fluxo ao longo dos elementos de vertentes mais amplas. O usuário ainda deve intervir com um limiar de área de contribuição e quando esse limiar for menor que a área de alguma drenagem desejável, é necessário inserir mais canais de drenagem (HENGL; EVANS, 2008). Atualmente existe uma grande preferência pelos métodos apoiados em modelos digitais do terreno matriciais, pois não foi possível encontrar nenhum artigo nos últimos cinco anos que tenha empregado ou desenvolvido um método baseado em um MDT de curva de nível.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Estrutura geral do trabalho

O diagrama ilustrado na figura 2 sintetiza o desenvolvimento da pesquisa por meio dos experimentos que serão descritos a seguir.

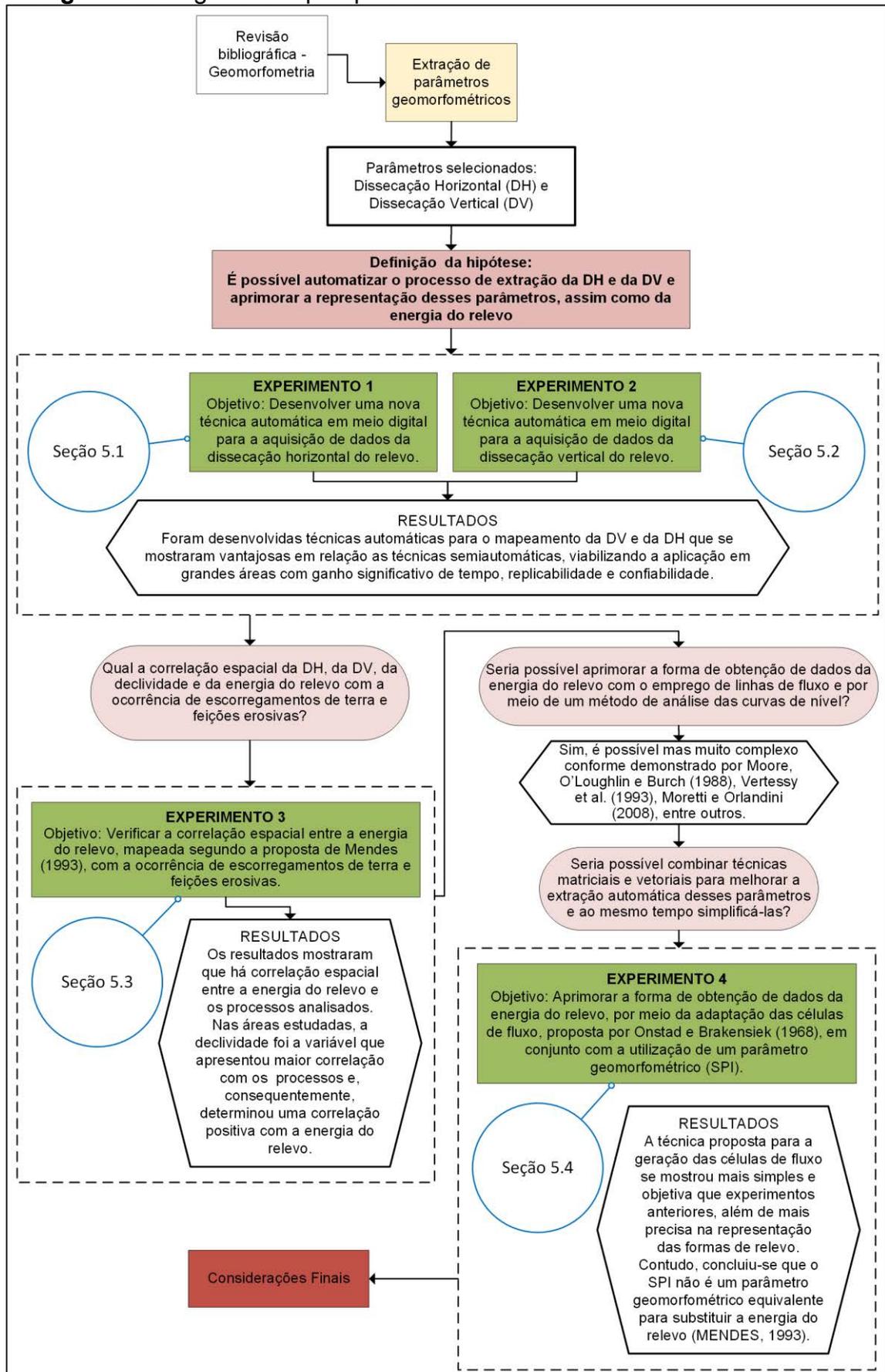
O trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica em Geomorfometria. Nessa etapa foram identificados três temas de interesse: técnicas de visualização, classificação das formas do relevo e extração de parâmetros geomorfométricos. Os dois primeiros temas não foram o foco dessa tese, mas representaram importantes contribuições científicas para o seu desenvolvimento. O terceiro tema foi definido como objetivo dessa pesquisa durante a disciplina “A Cartografia Geomorfológica como Instrumento para a Análise Ambiental” cursada no 2º semestre de 2013. A disciplina é oferecida pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UNESP Rio Claro e ministrada pela Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci.

Durante a disciplina, foram abordadas técnicas manuais e semiautomáticas de elaboração das cartas de dissecação horizontal e vertical e energia do relevo. Após a conclusão da disciplina surgiu a pergunta que conduziu esse trabalho. Seria possível automatizar o processo de extração da dissecação horizontal e vertical e aprimorar a representação desses parâmetros e da energia do relevo?

Para automatizar o processo de extração da dissecação horizontal e vertical foram desenvolvidos os experimentos 1 e 2. Esses experimentos obtiveram sucesso em reproduzir os passos manuais por meio de algoritmos computacionais e com significativo ganho de eficiência. Contudo surgiu uma nova questão, qual a correlação espacial da DH, DV, DEC e energia do relevo com a ocorrência de movimentos de massa e feições erosivas?

Para responder à questão da correlação espacial foi desenvolvido o experimento 3. Nesse experimento concluiu-se que existe uma forte correlação espacial entre a energia do relevo e os processos analisados, tendo a declividade como fator determinante para esse resultado.

Figura 2 - Diagrama da pesquisa.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os três experimentos foram essenciais para definir o que poderia ser aprimorado na obtenção de dados de energia do relevo. Inicialmente, no experimento 4 foi pesquisado o emprego de linhas de fluxo por meio de um método de análise das curvas de nível, de acordo com as propostas de Moore, O'Loughlin e Burch (1988), Vertessy et al. (1993), Moretti e Orlandini (2008), entre outros. Contudo essas propostas mostraram ser de complexa execução, necessitando uma constante intervenção do usuário. Essa ideia foi então abandonada e uma nova abordagem foi elaborada a partir da adaptação da proposta de Onstad e Brakensiek (1968) para geração das células de fluxo por meio da drenagem, curva de nível e área de contribuição, determinada por meio de um algoritmo de fluxo. Ainda, no experimento 4 foi calculado o SPI para as células de fluxo e o produto gerado foi comparado com os resultados alcançados com a energia do relevo para a análise de movimentos de massa e feições erosivas.

4.2 Dados geográficos

Os dados geográficos adquiridos para realização dos experimentos estão apresentados nos quadros 2 e 3.

Quadro 2 – Dados geográficos adquiridos para a bacia do córrego do Cavalheiro.

Dados	Escala	Fonte
Curvas de nível	1:10.0000	IGC ¹ /1979
Drenagem	1:10.0000	IGC ¹ /1979
Pontos cotados	1:10.0000	IGC ¹ /1979
Polígonos de sub-bacias	1:10.0000	Cunha e Pinton (2013)
Carta de dissecação horizontal - método semiautomático	1:10.0000	Cunha e Pinton (2013)
Carta dissecação vertical - método semiautomático	1:10.0000	Cunha e Pinton (2013)

¹Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 3 – Dados geográficos adquiridos para a bacia do rio da Onça.

Dados	Escala	Fonte
Curvas de nível	1:10.0000	AGEM ¹ /2002
Drenagem	1:10.0000	AGEM ¹ /2002
Pontos cotados	1:10.0000	AGEM ¹ /2002

¹Agência Metropolitana da Baixada Santista

Fonte: elaborado pelo autor

4.3 Equipamentos e programas computacionais

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dois computadores. Um computador com processador Intel Core I7 3.2GHz, com 12 GB de memória RAM e sistema Windows Server 2012 e outro com processador Intel Core I7 2.5GHz, com 8 GB de memória RAM e sistema Windows 8. Os programas utilizados foram o ArcGIS Desktop10.2.1 e o Python 2.7.5.

A plataforma ArcGIS foi escolhida por duas razões: 1) possui uma excelente documentação para o desenvolvimento de aplicações e ferramentas; 2) possui uma grande comunidade de usuários e desenvolvedores, o que auxilia no encontro de soluções para as dificuldades surgidas durante o processo.

As ferramentas desenvolvidas para os experimentos foram elaboradas utilizando o ArcObjects, disponível no software ArcGIS, e a linguagem de programação Python.

O ArcObjects é um conjunto de modelos de dados geográficos básicos que oferece serviços para suporte e construção de soluções em sistema de informação geográfica, sendo a base do software ArcGIS (ESRI, 2014).

Python é uma linguagem de programação muito utilizada pois sua sintaxe permite expressar conceitos em poucas linhas de forma simples e clara. O Python foi empregado para acessar, manipular e combinar os ArcObjects com a finalidade de construção das ferramentas propostas nos experimentos.

4.4 Experimentos e métodos

O trabalho foi embasado em quatro experimentos e cada um deles resultou em um artigo científico. O desenvolvimento dos experimentos foi estruturado nas seguintes etapas:

Etapa 1 - Definição do problema e objetivos do experimento – Compreende a definição do problema a ser pesquisado pelo experimento e a proposta do método para sua solução por meio da pesquisa e seleção de conceitos e ferramentas existentes.

Etapa 2 – Projeto e desenvolvimento da ferramenta – Elaboração de um projeto conceitual para a operacionalização dos conceitos e o desenvolvimento do projeto na plataforma ArcGIS.

Etapa 3 - Aplicação e ajuste da ferramenta – A ferramenta desenvolvida é ajustada e refinada por meio de sucessivas aplicações e avaliações dos resultados.

Etapa 4 - Análise, discussão e validação dos resultados – O resultado final é validado por meio de comparação com resultados obtidos por meio de métodos e produtos semelhantes.

Etapa 5 - Redação do artigo científico – Esta etapa é dedicada a redação, seleção dos periódicos e submissões dos artigos.

Os quadros 4, 5, 6 e 7 apresentam uma síntese do desenvolvimento de cada etapa.

Quadro 4 - Desenvolvimento do experimento 1.

Etapas	Observações
Etapa 1	O objetivo deste experimento foi apresentar e discutir uma nova técnica automática desenvolvida em meio digital para a obtenção de dados da dissecação horizontal do relevo, por meio da adaptação de Mauro et al. (1991) para a técnica proposta por Spiridonov (1981).
Etapas 2 e 3	A ferramenta desenvolvida está disponível em: http://1drv.ms/S7ZdgT e seu algoritmo no Apêndice L .
Etapa 4	O resultado final do experimento foi comparado com uma carta de dissecação horizontal produzida a partir do método semiautomático.
Etapa 5	Um artigo foi elaborado e publicado na Revista Brasileira de Geomorfologia. FERREIRA, M. V., TINOS, T. M., PINTON, L. G., CUNHA, C. M. L. Dissecação horizontal como parâmetro morfométrico para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática. Revista Brasileira de Geomorfologia. v.15, p.585 - 600, 2014. Este artigo está disponível na Seção 5.1 deste trabalho.

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 5- Desenvolvimento do experimento 2.

Etapas	Observações
Etapa 1	O objetivo deste experimento foi apresentar e discutir uma nova técnica automática desenvolvida em meio digital para a obtenção de dados da dissecação vertical do relevo, por meio da adaptação da técnica proposta por Spiridonov (1981).
Etapas 2 e 3	A ferramenta desenvolvida está disponível em: http://1drv.ms/1DA98OJ e seu algoritmo no Apêndice M .
Etapa 4	O resultado final do experimento foi comparado com uma carta de dissecação vertical produzida utilizando o método semiautomático.
Etapa 5	Um artigo foi elaborado e aceito para publicação na Revista Brasileira de Cartografia, com o título “A cartografia da dissecação vertical para avaliação do relevo: proposta de técnica digital automática”. Este artigo está disponível na Seção 5.2 deste trabalho.

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 6 - Desenvolvimento do experimento 3.

Etapas	Observações
Etapa 1	O objetivo deste experimento foi verificar a correlação espacial entre a energia do relevo, mapeada segundo a proposta de Mendes (1993), com a ocorrência de movimentos de massa e feições erosivas.
Etapas 2 e 3	Não foi necessário desenvolver uma ferramenta específica para esse experimento. As ferramentas desenvolvidas no experimento 1 e 2 foram combinadas com outras ferramentas do software ArcGIS e cumpriram o propósito desse trabalho.
Etapa 4	A correlação espacial foi verificada a partir de cadastros de escorregamentos de terra e feições erosivas.
Etapa 5	Um artigo foi elaborado e submetido para a Revista Brasileira de Geomorfologia, com o título “Aplicação do mapa de energia do relevo para o estudo de processos morfodinâmicos”. Este artigo está disponível na Seção 5.3 deste trabalho.

Fonte: elaborado pelo autor

Quadro 7 - Desenvolvimento do experimento 4.

Etapas	Observações
Etapa 1	O objetivo deste experimento foi aprimorar a forma de obtenção de dados da energia do relevo, por meio da adaptação das células de fluxo, proposta por Onstad e Brakensiek (1968), em conjunto com a utilização do parâmetro geomorfométrico SPI.
Etapas 2 e 3	A ferramenta foi desenvolvida no software ArcGIS e seu algoritmo está disponível no Apêndice N .
Etapa 4	As células fluxo e o SPI foram comparados com os resultados obtidos com a dissecação vertical e energia do relevo.
Etapa 5	Um artigo foi elaborado, mas ainda não foi submetido a nenhum periódico. Este artigo está disponível na seção 5.4 deste trabalho.

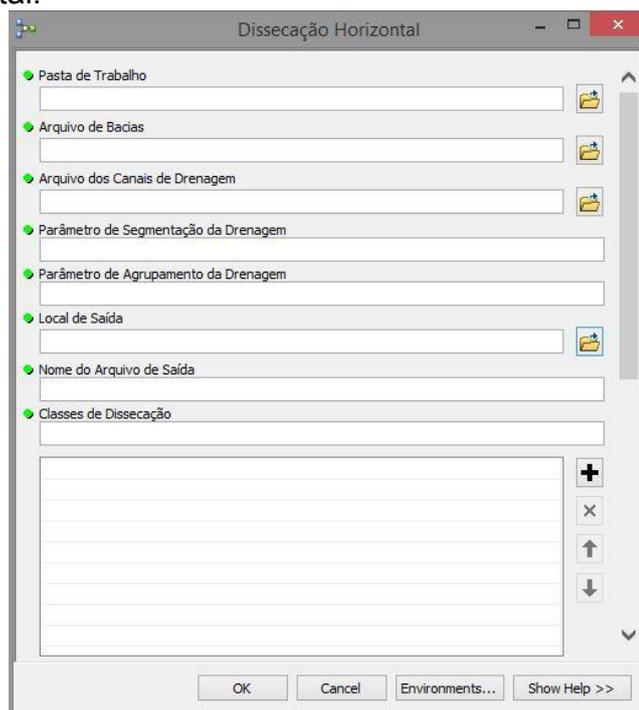
Fonte: elaborado pelo autor

4.4.1 Materiais e métodos Experimento 1

A base cartográfica utilizada nesta pesquisa constitui-se de cartas topográficas executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia - na escala de 1:10.000. A bacia do Córrego do Cavalheiro compreende as folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E), datadas do ano de 1979. A bacia do córrego do Cavalheiro e suas sub-bacias foram delimitadas por meio da interpretação dessas cartas topográficas

O procedimento automático proposto neste artigo é baseado em uma ferramenta específica desenvolvida no interior do software ArcGIS 10.2.1 (ESRI, 2013). A ferramenta encontra-se disponível para download no link <http://1drv.ms/S7ZdgT>. Esta ferramenta tem por objetivo gerar polígonos que representem a dissecação horizontal a partir de linhas que conectem um ponto do canal de drenagem a um ponto mais próximo da borda da sub-bacia, com um ângulo aproximado de 90° em relação ao canal de drenagem. A ferramenta representa uma automatização da proposta Spiridonov (1981) e da adaptação de Mauro et al. (1991). Sua interface pode ser observada na figura 3.

Figura 3 - Interface da ferramenta criada para a técnica digital automática de dissecação horizontal.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados de entrada na ferramenta são os polígonos das sub-bacias e seus respectivos canais de drenagem em formato de linha. É importante que as linhas de drenagem estejam com os pontos finais posicionados no exutório da bacia. Em seguida, deve-se informar três variáveis: um parâmetro de segmentação dos canais de drenagem, ou seja, um valor para a divisão do canal de drenagem em trechos equidistantes; um parâmetro de agrupamento dos canais de drenagem; e os limiares superiores das classes de dissecação desejada.

O estabelecimento do parâmetro de segmentação se dá a partir da escala de trabalho. De acordo com o IBGE (1999), o menor comprimento gráfico que se pode representar em um desenho é $1/5$ de milímetro ou 0,2 mm, pois esse seria o menor valor pontual que a vista humana pode distinguir. Em termos lineares, para um mapa na escala 1:10.000, o valor estabelecido para o erro gráfico é de 2 metros, ou seja, esse é o menor valor linear distinto nesta escala. Assim, o parâmetro de segmentação foi definido como 2 metros.

O parâmetro de agrupamento dos canais de drenagem é uma variável diretamente relacionada a sinuosidade do canal e ao parâmetro de segmentação. Em áreas com canais muito sinuosos a ferramenta tende a apresentar um resultado menos satisfatório, pois a diversidade de direções dos segmentos dos canais de drenagem gera problemas na criação das linhas de dissecação horizontal. Aconselha-se que para cada área sejam testados diferentes valores do parâmetro de agrupamento para se atingir melhores resultados. Neste artigo, definiu-se de maneira empírica um valor do parâmetro de agrupamento igual a 60 (segmentos).

As classes de dissecação também devem ser estabelecidas conforme a escala de trabalho. Assim, para a primeira classe, o valor estabelecido foi menor ou igual a 10m, representando 5 vezes o menor valor linear distinto nesta escala (2m). Seguindo-se a recomendação de Spiridonov (1981), o valor das classes seguintes foi atribuído com base no dobro do limite da classe anterior, até atingir o máximo de distância ainda representativa para a área. As classes de dissecação e suas respectivas cores são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Classes de dissecação horizontal

Intervalo (em metros)	ID da classe	Classes de dissecação	Cores da legenda
< 10	1	Classe 1	
10-20	2	Classe 2	
20-40	3	Classe 3	
40-80	4	Classe 4	
80-160	5	Classe 5	
160-320	6	Classe 6	
≥320	7	Classe 7	

Fonte: elaborado pelos autores.

Abaixo são descritos os passos realizados pela ferramenta para a geração do mapa de dissecação horizontal.

Passo 1: Verifica-se a existência de algum ponto de nascente no interior da bacia. Caso haja, um processamento específico será realizado para esse ponto (**Passo 10**). A verificação é realizada por meio do canal de drenagem fornecido.

Passo 2: Divide-se a linha de drenagem em segmentos de mesma extensão de acordo com o parâmetro de segmentação. Na sequência, é criado um ponto no centro de cada segmento. Esse ponto será o ponto inicial das linhas candidatas a linhas de dissecação horizontal. A figura 4A mostra os pontos centrais criados sobre o canal de drenagem. Neste exemplo, a ferramenta criou 157 pontos com equidistância de 2 metros para uma escala de 1:10.000.

Passo 3: Calcula-se a direção de cada agrupamento de 60 segmentos de drenagem. Optou-se por utilizar a direção de um grupo de segmentos para minimizar a influência das grandes variações que podem ocorrer quando se considera apenas um pequeno segmento. A direção do agrupamento de segmentos utilizada nesta ferramenta é um ângulo que varia de -90 graus a +90 graus. Colocada em um plano cartesiano, essa variação equivale ao primeiro e ao quarto quadrantes. A direção então é associada aos respectivos pontos pertencentes a cada agrupamento. Esse parâmetro será essencial para determinar a linha de dissecação horizontal.

Passo 4: Criam-se pontos equidistantes sobre a borda da bacia, os quais serão candidatos a pontos finais das linhas de dissecação horizontal. A distância entre esses pontos foi definida empiricamente como sendo o tamanho do segmento de drenagem dividido por 4. Desta forma, quanto menor o tamanho do segmento, maior será o número de pontos na borda da bacia. No exemplo apresentado na figura 4A, como a distância definida para o segmento de drenagem foi de 2 metros, a distância entre os

pontos da bacia é de aproximadamente 0,5 metro. A figura 4B apresenta um detalhe dos pontos criados sobre a borda da bacia.

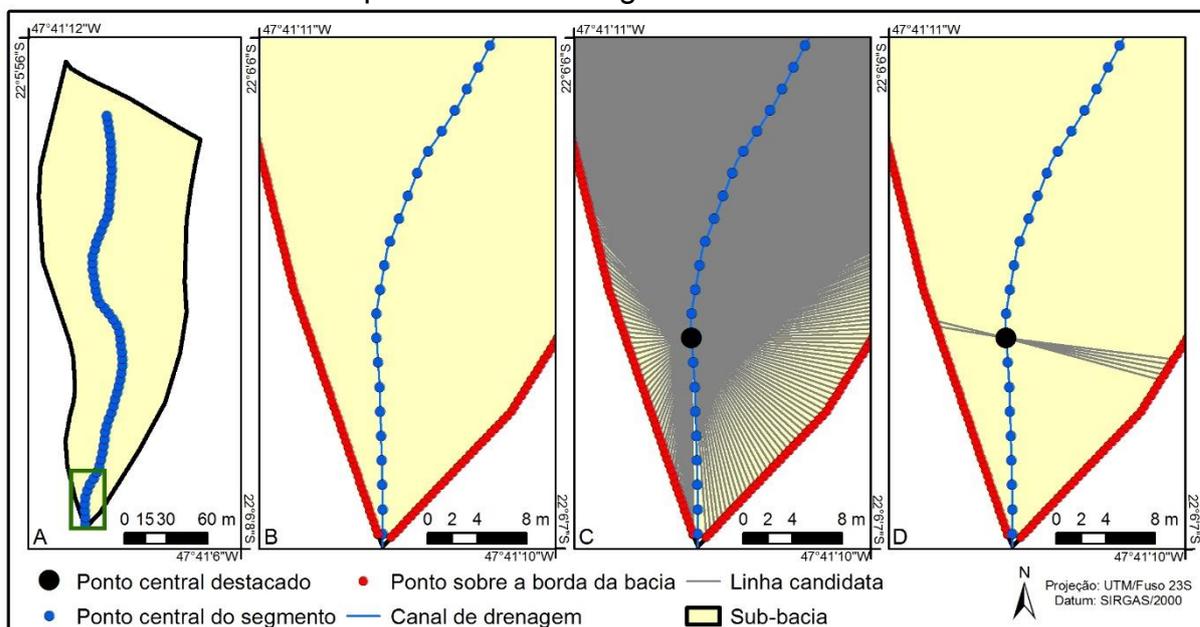
Passo 5: Inicia-se o processamento individual de cada ponto do canal de drenagem para encontrar a melhor linha de dissecação horizontal para o lado direito e para o lado esquerdo do canal. Os pontos são processados das extremidades da linha de drenagem para o centro da mesma de forma alternada, ou seja, inicia-se com o ponto mais próximo da jusante, em seguida processa-se o ponto mais próximo da montante e depois o segundo ponto mais próximo da jusante e assim sucessivamente.

Os procedimentos para escolha das linhas de dissecação serão descritos nos passos seguintes.

Passo 6: Tomando como referência o ponto destacado em preto na figura 4C, cria-se um arquivo com as linhas candidatas a linha de dissecação horizontal. Essas linhas ligam o ponto selecionado a todos os pontos da bacia, como pode ser visualizado na figura 4C. Para cada uma das linhas é calculado o azimute geográfico.

Passo 7: Utilizando a relação entre o azimute de cada linha candidata e a direção do segmento de drenagem calculado anteriormente, encontram-se as linhas que estão próximas a perpendicular do segmento de drenagem. Foi definido um intervalo de busca para as linhas com um ângulo de mais ou menos 5 graus a partir da perpendicular do agrupamento de segmentos de drenagem a qual pertence o ponto. As linhas selecionadas por meio desse critério são apresentadas na figura 4D.

Figura 4 - Dissecação horizontal automática: A - Pontos centrais criados sobre o segmento de drenagem; B - Detalhe dos pontos criados sobre a borda da bacia; C - Linhas candidatas a linha de dissecação horizontal do ponto em destaque; D - Linhas candidatas selecionadas pelo critério do ângulo.



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 8: Aplicam-se então os seguintes procedimentos para encontrar a melhor linha de dissecação da direita e da esquerda do canal de drenagem:

- Utilizando a mesma relação entre direção do segmento de drenagem e o azimute das linhas candidatas, encontram-se as linhas que estão à esquerda do segmento de drenagem;

- Entre as linhas da esquerda selecionadas, excluem-se aquelas que:

- cruzam o canal de drenagem;
- cruzam a borda da bacia;
- interceptam linhas de dissecação horizontal de outros pontos;

- Por fim, seleciona-se a linha que tenha o menor comprimento entre o canal de drenagem e a borda da bacia;

- Repetem-se as últimas três etapas para encontrar a melhor linha da direita.

Passo 9: Repetem-se então os passos 7 e 8 para cada um dos pontos do canal de drenagem restantes.

Se houver uma nascente no interior da bacia, essa será processada no passo seguinte.

Passo 10: Para o processamento da nascente realizam-se as seguintes etapas:

- Aplica-se o mesmo procedimento descrito no passo 6 para construção das linhas. No entanto, utilizam-se os pontos sobre a borda da bacia com espaçamento equivalente ao parâmetro de segmentação do canal de drenagem utilizado;

- Não é aplicado o procedimento do passo 7 de restrição angular da linha.

- Excluem-se as linhas que:

- cruzam a borda bacia;

- cruzam o canal de drenagem;

- interceptam linhas de dissecação horizontal de outros pontos;

A figura 5A apresenta as linhas selecionadas após a aplicação dos passos anteriores.

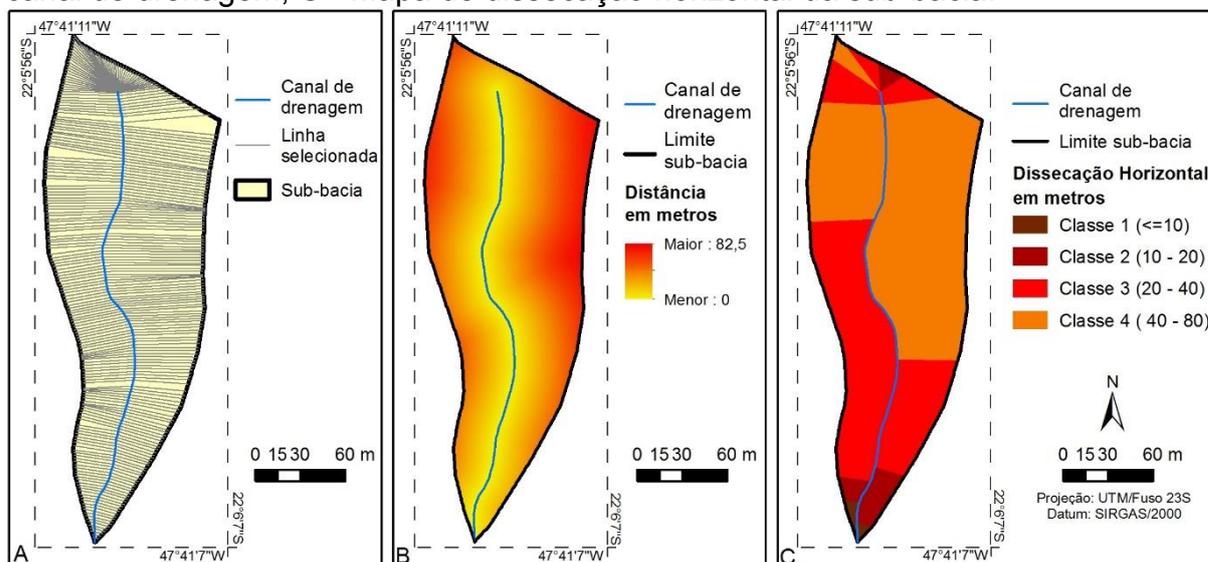
Passo 11: Os polígonos de dissecação são criados utilizando as linhas de dissecação horizontal, a linha da drenagem e o polígono da bacia.

Passo 12: Gera-se um mapa de distância euclidiana a partir do segmento de drenagem. Esse mapa será utilizado para o cálculo da distância máxima dentro de cada um dos polígonos gerados no passo 11. O mapa de distância do canal de drenagem pode ser visualizado na figura 5B.

Passo 13: Por meio de uma análise zonal, utilizando os polígonos de dissecação e o mapa de distâncias, calcula-se para cada polígono sua distância máxima do canal de drenagem.

Passo 14: Baseando-se na distância máxima, cada polígono é então classificado de acordo com as classes previamente definidas (tabela 1). Os polígonos contíguos que pertençam a mesma classe são agrupados. O resultado deste processamento são os polígonos de dissecação horizontal. A figura 5C ilustra a representação espacial deste atributo.

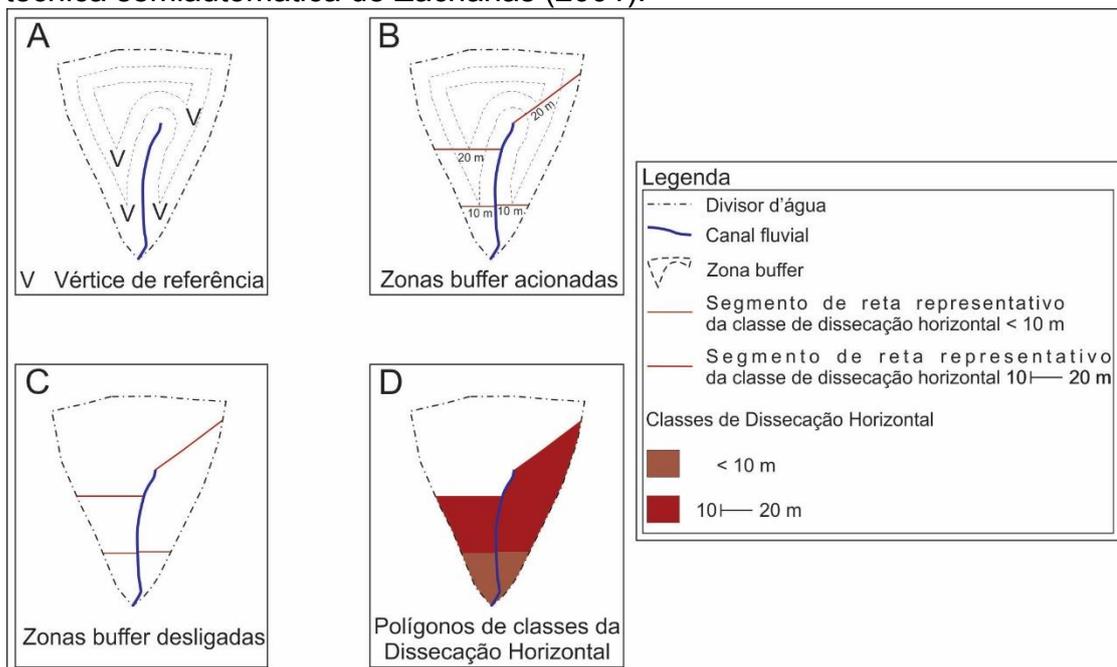
Figura 5 - Dissecação horizontal automática: A – Linhas selecionadas para os lados direito e esquerdo do canal de drenagem; B - Mapa da distância euclidiana do canal de drenagem; C - Mapa de dissecação horizontal da sub-bacia.



Fonte: elaborado pelos autores.

Após o mapa de dissecação horizontal ser produzido utilizando a ferramenta descrita, este foi comparado com um mapa de dissecação horizontal gerado a partir da técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001). Este produto foi selecionado para validação por três motivos: 1. emprega o mesmo referencial teórico para o cálculo da dissecação horizontal (SPIRIDONOV, 1981; MAURO et. al., 1991), o que garante uma comparabilidade; 2. é desenvolvido também em meio digital, o que facilita a análise e diminui possíveis erros de digitalização; 3. é uma técnica muito utilizada para o estudo da dissecação horizontal no Brasil. A figura 6 ilustra a construção da carta de dissecação horizontal através da técnica semiautomática de Zacharias (2001).

Figura 6 - Etapas para a construção da carta de dissecação horizontal através da técnica semiautomática de Zacharias (2001).



Fonte: elaborado pelos autores.

A partir da comparação dos mapas resultantes das duas técnicas, foram quantificadas as áreas de concordância e discordância das classes de dissecação horizontal geradas. Dentre as áreas identificadas como divergentes, avaliou-se o grau de discordância por meio da Equação 6.

$$\text{Grau de discordância} = |ID_{\text{auto}} - ID_{\text{semi}}| \quad (6)$$

Em que: ID_{auto} é o ID da classe gerada pela técnica automática e ID_{semi} é o ID da classe gerada pela técnica semiautomática.

4.4.2 Materiais e métodos Experimento 2

A base cartográfica utilizada nesta pesquisa constitui-se de cartas topográficas executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia - na escala de 1:10.000. A bacia do Córrego do Cavalheiro compreende as folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E), datadas do ano de 1979.

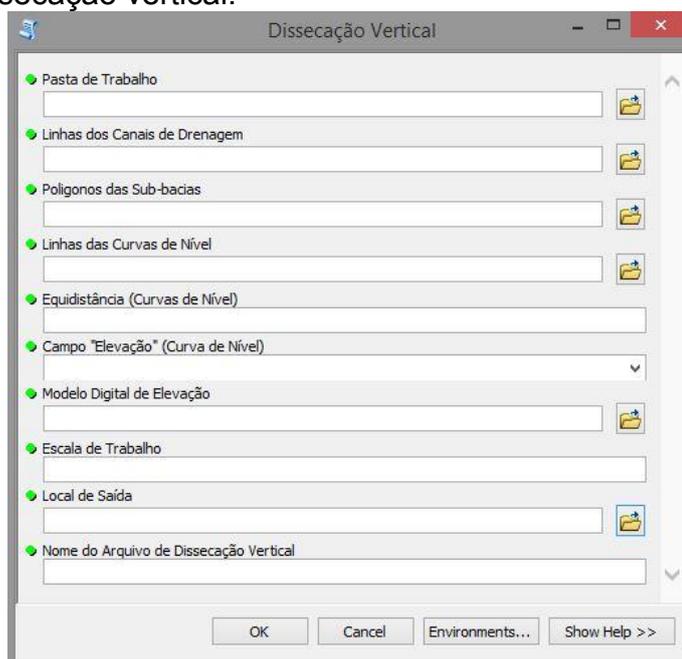
Os limites das sub-bacias, identificados através da interpretação das cartas topográficas, e os seus respectivos canais de drenagem foram empregados nos procedimentos descritos a seguir para a obtenção da dissecação vertical pelo método automático e semiautomático.

Método automático

O procedimento automático proposto neste artigo é baseado em uma ferramenta específica desenvolvida a partir da linguagem de programação Python e os ArcObjects, que representam um conjunto de modelos de dados geográficos básicos, e oferecem serviços para suporte e construção de soluções na plataforma ArcGIS. A plataforma empregada foi o ArcGIS Desktop 10.2.2 (ESRI, 2014), nível de licença ArcInfo e extensões 3D *Analyst* e *Spatial Analyst*. A ferramenta encontra-se disponível para download no link <http://1drv.ms/1DA98OJ>.

O objetivo do método automático é gerar polígonos que representem a dissecação vertical do relevo. Os polígonos são delimitados a partir das curvas de nível, canais de drenagem e linhas retas que conectem um ponto, definido a partir da intersecção do canal de drenagem com a curva de nível, ao ponto mais próximo da borda da sub-bacia com cota igual ou superior àquela do ponto inicial. A ferramenta representa uma automatização da adaptação de Mauro et al. (1991) da proposta de Spiridonov (1981). A sua interface pode ser observada na figura 7.

Figura 7 - Interface da ferramenta criada para a execução da técnica digital automática de dissecação vertical.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados espaciais de entrada na ferramenta são os polígonos das sub-bacias, as linhas dos canais de drenagem e curvas de nível, e um modelo digital de elevação (MDE) em formato raster. É importante que as linhas dos canais de drenagem estejam com os pontos finais posicionados a jusante e que o MDE tenha sido preferencialmente produzido por meio da interpolação dos mesmos dados de entrada. Ademais, é necessário informar a escala dos dados de entrada, visto que parâmetros internos de processamento estão vinculados a essa informação.

A seguir são descritos os passos realizados pela ferramenta para a obtenção de dados da dissecação vertical do relevo.

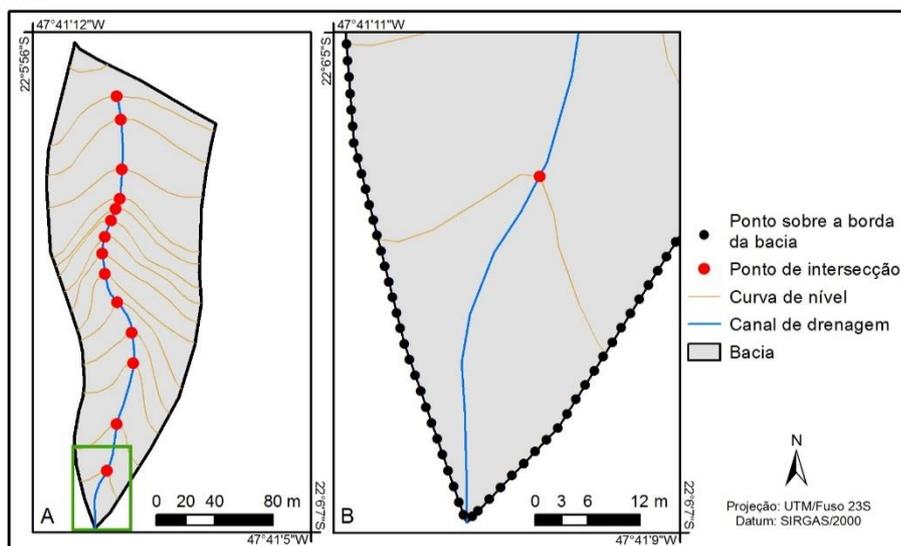
Passo 1: Inicialmente, todos os dados de entrada são recortados na área de cada sub-bacia. Na sequência, executam-se os **Passos de 2 a 11** para cada uma das sub-bacias.

Passo 2: Por meio da intersecção das curvas de nível com os canais de drenagem geram-se os pontos iniciais das linhas de dissecação vertical (figura 8A). Para cada ponto de intersecção é calculado o azimute do trecho do segmento dos canais de drenagem ao qual o ponto pertence.

Passo 3: Pontos equidistantes são criados sobre a borda da sub-bacia, sendo esses candidatos a pontos finais das linhas de dissecação vertical. A distância entre

esses pontos é definida em função do parâmetro de escala informado pelo usuário (figura 8B).

Figura 8 - Dissecação vertical automática: A - Pontos de intersecção das curvas de nível com os canais de drenagem; B - Detalhe dos pontos criados sobre a borda da sub-bacia.

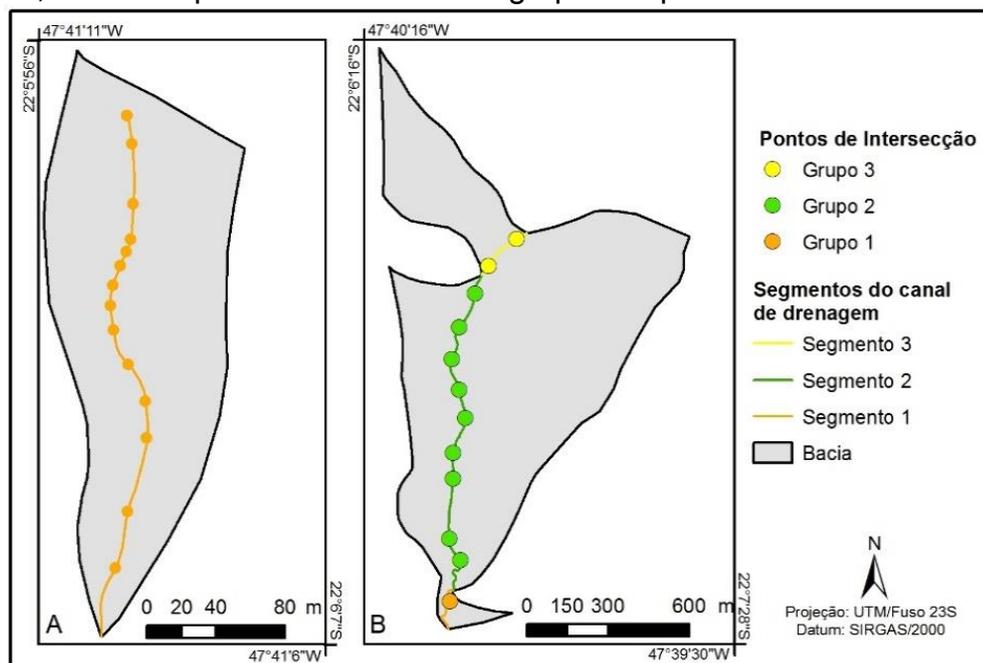


Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 4: Inicia-se o processamento individual de cada ponto de intersecção criado no **Passo 2** para encontrar as linhas de dissecação vertical. Para determinar a ordem de processamento dos pontos, esses são divididos em grupos. Cada intersecção do canal de drenagem com a borda da sub-bacia gera uma divisão na linha do canal de drenagem e, conseqüentemente, delimita um novo grupo de pontos. Essa seqüência de processamento dos pontos é fundamental para garantir uma melhor relação espacial entre as linhas de dissecação que serão criadas.

A figura 9 exemplifica essa divisão para duas sub-bacias, sendo um caso para único grupo gerado (figura 9A), e outro exemplo em que foram gerados 3 grupos de pontos (figura 9B).

Figura 9 - Dissecação vertical automática: A – Exemplo de bacia com um grupo de pontos; B – Exemplo de bacia com três grupos de pontos.



Fonte: elaborado pelos autores.

Cada grupo de pontos é processado das extremidades do segmento do canal de drenagem para o centro do mesmo de forma alternada, ou seja, inicia-se com o ponto de cota mais baixa do grupo, em seguida processa-se o ponto de cota mais alta e depois o segundo ponto de cota mais baixa e assim sucessivamente.

Os procedimentos para a construção e escolha das linhas de dissecação vertical de cada ponto serão descritos nos passos seguintes.

Passo 5: Ao considerar o ponto vermelho destacado na figura 10A como referência, cria-se um arquivo com as linhas candidatas a reta representativa de dissecação vertical. Essas linhas ligam o ponto selecionado a todos àqueles do limite da bacia (figura 10A). Calcula-se o azimute geográfico para cada uma das linhas.

Passo 6: Considerando a relação entre o azimute de cada linha candidata e a direção do segmento do canal de drenagem a qual o ponto pertence, busca-se identificar as linhas que apresentem maior paralelismo ao segmento do canal de drenagem. Essas linhas gerariam classes irrealis de dissecação vertical e precisam ser excluídas. Assim, todas as linhas candidatas que formam um ângulo menor que 10° em relação ao segmento do canal de drenagem são descartadas.

Passo 7: Aplicam-se então os seguintes procedimentos para encontrar a melhor linha de dissecação vertical a direita e a esquerda do canal de drenagem:

- Dentre as linhas candidatas, excluem-se aquelas que:
 - cruzam o canal de drenagem;
 - cruzam o limite da bacia;
 - cruzam as curvas de nível com cota inferior ao ponto de intersecção;
 - cruzam a curva de nível com cota igual ao ponto de intersecção. Para este caso é elaborado um buffer no ponto de intersecção, o qual é utilizado para apagar um trecho da curva de mesma cota, sendo essa empregada para realizar a consulta espacial. Esse procedimento é necessário para não restringir em excesso as opções de linhas candidatas;
 - interceptam linhas de dissecação vertical de outros pontos;

O exemplo da aplicação dos **Passos 6 e 7** pode ser observado na figura 10B.

Passo 8: Utilizando a mesma relação entre a direção do segmento do canal de drenagem e o azimute das linhas candidatas indicada no Passo 6, encontram-se as linhas que estão à direita e a esquerda do ponto sobre o canal de drenagem;

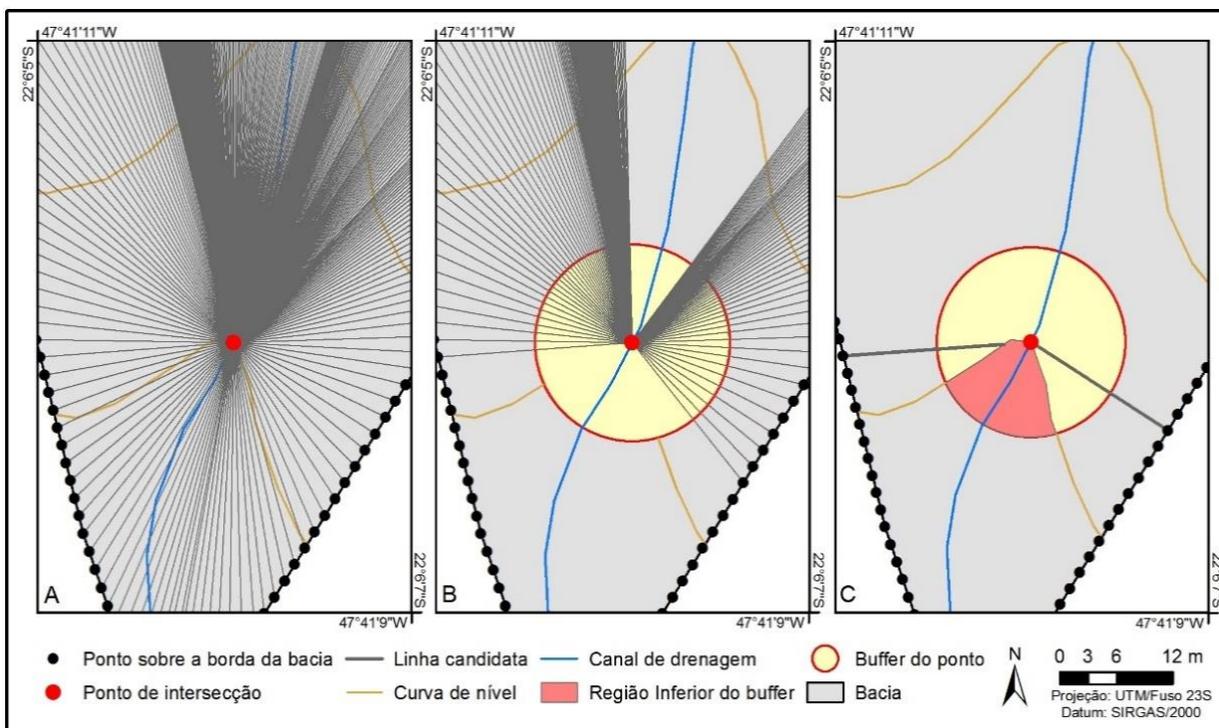
- seleciona-se a linha que apresente o menor comprimento entre o canal de drenagem e o limite da bacia a direita e a esquerda;
- por fim, são apagados trechos das linhas que tenham sobreposição com a região inferior (em relação a curva de nível) do buffer empregado em uma das etapas do **Passo 7**.

O exemplo da aplicação do **Passo 8** pode ser observado na figura 10C.

Passo 9: Repetem-se então os **Passos de 5 a 8** para cada um dos pontos de intersecção restantes (figura 11A).

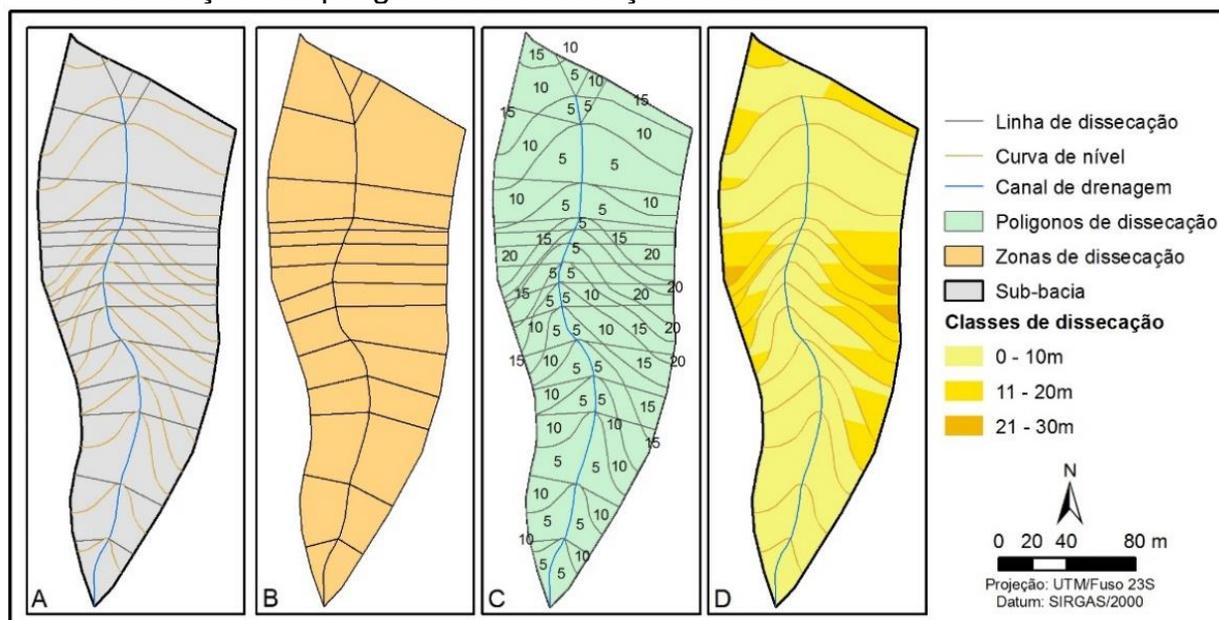
Passo 10: As zonas de dissecação (figura 11B) são criadas utilizando as linhas de dissecação vertical, a linha do canal de drenagem e o polígono da bacia, sendo posteriormente utilizadas para o cálculo da dissecação vertical. Os polígonos de dissecação (figura 11C), por sua vez, são criados a partir das zonas de dissecação e curvas de nível.

Figura 10 - Dissecação vertical automática: A - Linhas candidatas a linha de dissecação vertical do ponto selecionado; B - Linhas candidatas selecionadas pelos critérios estabelecidos nos **Passos 6 e 7**; C - Linhas candidatas selecionadas pelos critérios estabelecidos no **Passo 8**.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 11 - Dissecação vertical automática: A – Linhas de dissecação vertical selecionada; B – Zonas de dissecação vertical; C – Polígonos de dissecação vertical; D – Classificação dos polígonos de dissecação vertical.



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 11: Inicia-se a seleção dos polígonos de dissecação que estão contidos em uma das zonas de dissecação. Dentre os polígonos selecionados, identificam-se aqueles que contenham pelo menos um segmento do canal de drenagem em seu interior. Para esses polígonos é assinado que a dissecação vertical máxima é o valor de equidistância das curvas de nível. Na sequência, são selecionados os polígonos que compartilham a borda com os polígonos já calculados. Para esses polígonos é assinado que a dissecação vertical é duas vezes a equidistância entre as curvas de nível e assim sucessivamente, até calcular a dissecação para todos os polígonos. Repete-se então o **Passo 11** para todas as demais zonas de dissecação.

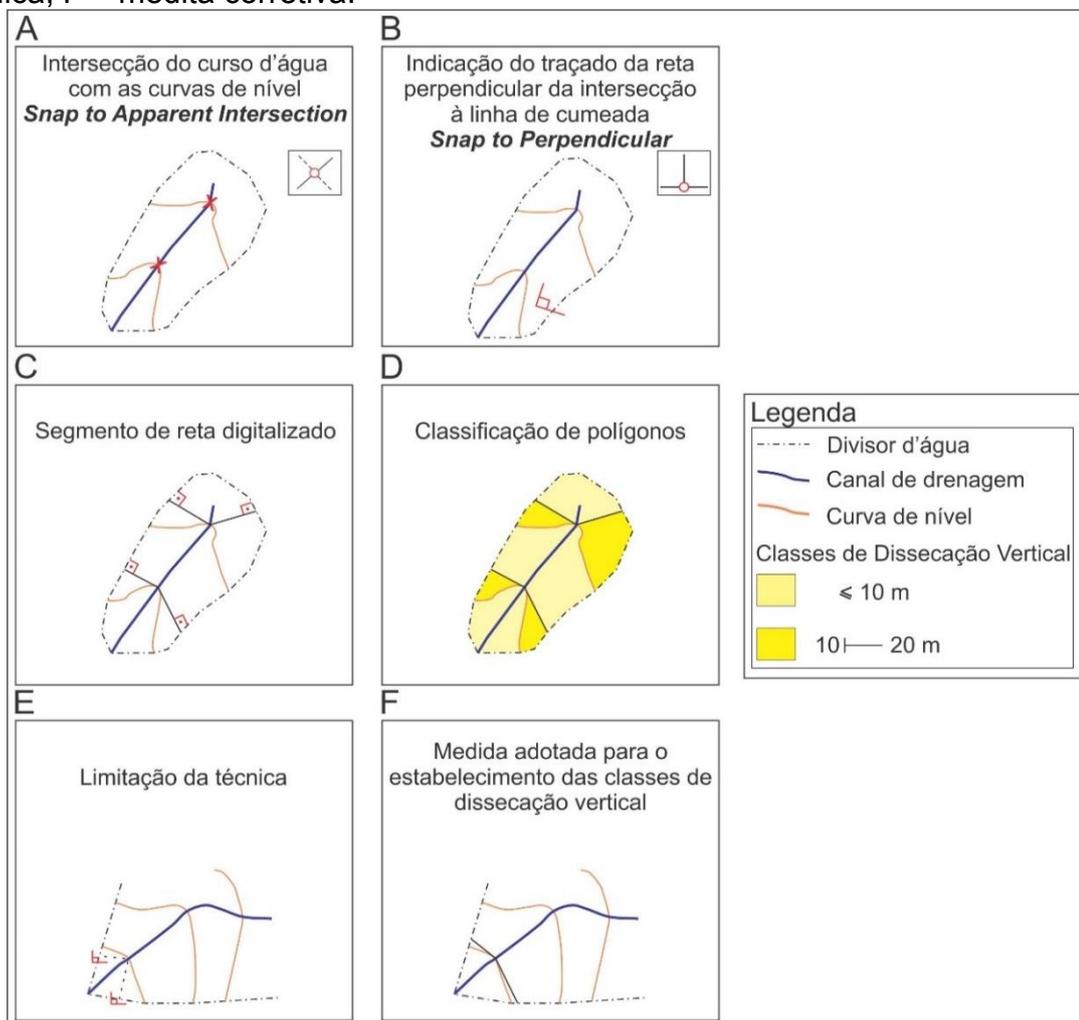
A figura 11C apresenta os polígonos criados com indicação da dissecação vertical calculada e a figura 11D apresenta uma possível classificação para esses polígonos com intervalo de 10m.

Método semiautomático

A proposta metodológica elaborada por Zacharias (2001) para o mapeamento semiautomático da dissecação vertical é executada por meio de comandos de precisão da ferramenta *Object Snap* da plataforma *Computer-aided design* (CAD). Estes comandos permitem a identificação dos pontos onde ocorrem intersecções entre os cursos d'água e as curvas de nível, e a indicação do traçado de reta perpendicular, que é digitalizada posteriormente para unir tais pontos às linhas de cumeadas. De acordo com tal proposta, tais retas correspondem a menor distância entre o talvegue e o limite da bacia. Ressalta-se que, muitas vezes, o software indicava a posição da reta perpendicular em local que afetava a delimitação das classes. Nestas situações, foi necessário adotar medida corretiva, equivalente a definição visual da menor distância entre o ponto de intersecção e o divisor d'água, mesmo que não houvesse a formação de um ângulo de 90°.

Por fim, foram delimitados polígonos correspondentes aos setores das sub-bacias, classificados de acordo com a adaptação proposta por Mauro et al. (1991). A figura 12 ilustra a construção da carta de dissecação vertical através da técnica semiautomática de Zacharias (2001), bem como a sua limitação e a medida corretiva adotada no estabelecimento das classes de dissecação vertical.

Figura 12 - Etapas para a construção da carta de dissecação vertical através da técnica semiautomática de Zacharias (2001): A – intersecções entre os cursos d'água; B – indicação do traçado da reta perpendicular da intersecção à linha de cumeada; C – segmento de reta digitalizado; D – classificação da dissecação vertical dos setores das sub-bacias; E – limitação da técnica; F – medida adotada para o estabelecimento das classes de dissecação vertical.



Fonte: adaptado de Zacharias (2001).

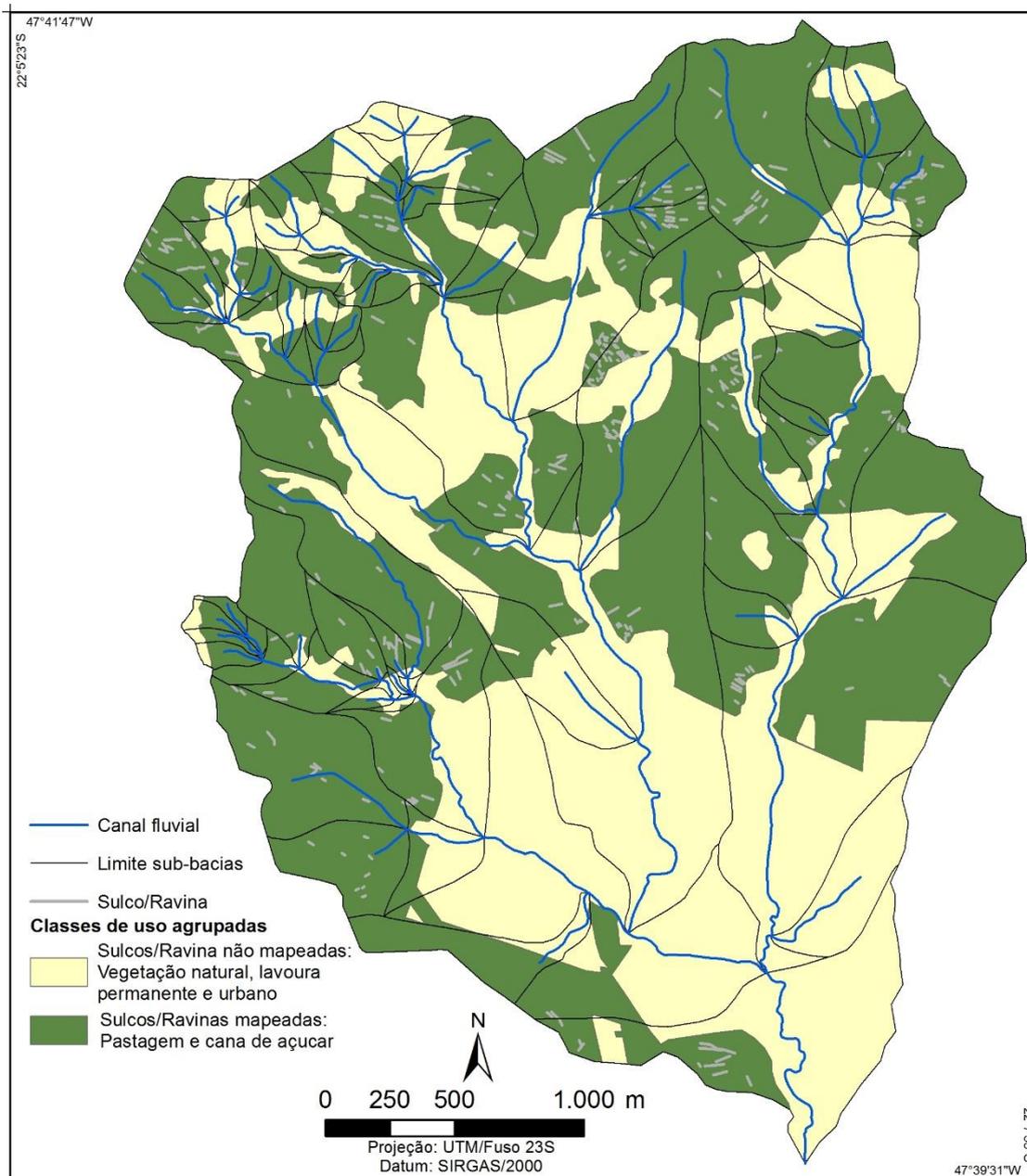
4.4.3 Materiais e métodos Experimento 3

A base cartográfica utilizada para as duas áreas constitui-se de cartas topográficas na escala 1: 10.000. Para Analândia as cartas foram executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia - compreendendo as folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E). Para a área de Cubatão as cartas foram executadas pela Agência Metropolitana da Baixada Santista folhas 4215 e 4216. A partir das cartas topográficas foram extraídas as curvas de nível, drenagem e pontos cotados, que foram interpolados para produção de modelos digitais de elevação (MDEs) para ambas as áreas. Com essas informações foram também delimitadas sub-bacias de drenagem por meio da interpretação visual.

Para área de Cubatão foi utilizado um cadastro de cicatrizes de escorregamento existente e para a área de Analândia foi produzido um cadastro de voçorocas, sulcos erosivos e ravinas. O cadastro de cicatrizes de escorregamento foi produzido em trabalho anterior (LOPES, 2006), por meio da interpretação visual de fotografias aéreas de 1985. Foram delimitados os corpos principais dos escorregamentos, ou seja, as áreas que deram origem ao processo. Foram extraídas 339 cicatrizes que somadas totalizaram uma área de aproximadamente 120907m². O cadastro de voçorocas, sulcos e ravinas foi realizado por meio de interpretação visual de imagem orbital de alta resolução do satélite GeoEye, adquirida por meio do serviço Bing Maps da empresa Microsoft, com data de 2011.

Na área de Analândia foram extraídas 12 voçorocas que somadas totalizaram uma área de 59538m². As ravinas e sulcos foram analisados conjuntamente devido à dificuldade de estabelecer um critério objetivo para sua diferenciação por meio da interpretação das imagens. Foram extraídas 325 feições de sulcos e ravinas totalizando uma extensão de 8766m. Não foram extraídos sulcos e ravinas nas áreas de vegetação natural, lavoura permanente e urbana devido a impossibilidade de visualizar essas feições nessas áreas por meio de imagens. Os usos presentes na área em que foi possível mapear os sulcos e ravinas foram pastagem e cana-de-açúcar. A figura 13 apresenta as classes de uso da terra agrupadas de acordo com a possibilidade de mapeamento de sulcos e ravinas.

Figura 13 - Classes de uso da terra agrupadas de acordo com a possibilidade de mapeamento de sulcos e ravinas.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os mapas de dissecação horizontal (DH) e vertical (DV) foram produzidos por meio de ferramentas implementadas no programa ArcGIS, em parte, apresentadas por AUTOR. (2014). A ferramenta de DH tem por objetivo gerar polígonos que representem a dissecação a partir de linhas que conectem um ponto do canal de drenagem a um ponto da borda da sub-bacia de acordo com a distância desejada, com um ângulo aproximado de 90° em relação ao canal de drenagem. As classes de DH representam o comprimento aproximado das vertentes. A ferramenta de dissecação vertical (DV) delimita os polígonos a partir das curvas de nível, canais de

drenagem e linhas retas que conectem um ponto, definido a partir da intersecção do canal de drenagem com a curva de nível, ao ponto mais próximo da borda da sub-bacia com cota igual ou superior àquela do ponto inicial. As classes de DV representam a amplitude vertical do relevo. Ambas as ferramentas representam uma automatização da adaptação de Mauro et al. (1991) da proposta de Spiridonov (1981).

As classes de dissecação horizontal e vertical foram definidas em função da escala de trabalho (1:10.000). Para DH o valor estabelecido foi menor ou igual a 10m, representando 5 vezes o menor valor linear distinto nesta escala (2m). Seguindo a recomendação de Spiridonov (1981), o valor das classes seguintes foi atribuído com base no dobro do limite da classe anterior, até atingir o máximo de distância ainda representativa para a área. A DV também utilizou como limite da primeira classe 10m, contudo foi utilizado intervalos iguais de 10m para a delimitação das outras classes, correspondendo ao desnível altimétrico entre as curvas de nível na escala de trabalho.

O mapa de declividade (DEC) foi gerado a partir dos MDEs produzidos. As classes de DEC foram definidas de acordo com a proposta da Embrapa (1979), que relaciona a DEC com forma do relevo predominante.

O quadro 8 apresenta as classes utilizadas em cada um dos três mapas em ordem crescente de grandeza.

Quadro 8 - Classes de DH, DV e DEC utilizadas.

	Dissecação Horizontal (m)	Dissecação Vertical (m)	Declividade (%)
Classe 1	> 320	<= 10	<= 3
Classe 2	160 - 320	10 - 20	3- 8
Classe 3	80 - 160	20 - 30	8 - 20
Classe 4	40 - 80	30 - 40	20 - 45
Classe 5	20 - 40	40 - 50	45 -75
Classe 6	10 - 20	50 - 60	> 75
Classe 7	< 10	> 60	-----

Fonte: elaborado pelos autores.

O mapa de energia do relevo foi produzido por meio da intersecção dos polígonos dos mapas de DH, DV e DEC. As regras para definição das classes de energia do relevo (quadro 9) foram adaptadas da proposta de Cunha e Pinton (2013), realizada para a mesma área de Analândia. De acordo com essa proposta quanto maior a DH, DV e DEC maior será a energia do relevo. Exemplo 1: Os polígonos são classificados com uma energia Muito Forte quando apresentarem DEC (> 75%) OU DH (< 10m). Exemplo 2: Os polígonos são classificados com uma energia Forte

quando apresentarem DEC (45% – 75%) OU DH (10m – 20m) e a outra possibilidade é apresentarem DEC (20% – 45%) E DV (> 60m).

Quadro 9 - Regras para definição das classes de energia do relevo.

Classe de energia do relevo	Declividade (%)	Operador	Dissecação Horizontal (m)	Operador	Dissecação Vertical (m)	Ordem de classificação
Muito Forte	> 75	OU	< 10			1 ^a
Forte	45 – 75	OU	10 - 20			2 ^a
	20 – 45			E	> 60	3 ^a
Medianamente Forte	20 – 45	OU	20 - 40	OU	> 60	4 ^a
Média	8 – 20	OU	40 - 80	OU	50 - 60	5 ^a
Fraca	3 – 8	OU	80 - 160	OU	40 - 50	6 ^a
Muito Fraca	> 3	OU	> 160	OU	0 - 40	7 ^a

Fonte: elaborado pelos autores.

Com relação às regras de definição das classes de energia do relevo apresentadas no quadro 9, o uso do operador OU indica que cada variável envolvida determinou diretamente a classe de energia e o uso do operador E indica que houve uma combinação das variáveis na determinação da classe de energia. Dessa forma, houve apenas uma situação de combinação de variáveis; nas demais situações apenas uma variável foi determinante da classe de energia. É possível notar que a DV não influencia na determinação da classe de energia Muito Forte e tem uma pouca relevância para determinar as classes de energia Forte e Medianamente Forte. Para as classes Média, Fraca e Muito Fraca a DV tem a mesma relevância que DH e DEC. Importante notar que existe um agrupamento das classes de menor dissecação na ponderação, as classes 1 e 2 da DH e as classes 1, 2, 3 e 4 da DV são consideradas conjuntamente pelas regras de classificação. Contudo, todas as classes de declividade são consideradas separadamente. Desta forma podemos ordenar as variáveis em termos de relevância em DEC>DH>>DV e afirmar que, de acordo com essa proposta, a DV tem relevância muito menor que DEC e DH na determinação da energia do relevo.

Para cada classe das variáveis DEC, DH, DV e Energia do Relevo verificou-se a densidade de ocorrência de cicatrizes de escorregamentos na área de Cubatão e ocorrência de voçorocas e sulcos/ravinas na área de Analândia. Buscou-se com essa análise verificar a correlação existente entre essas variáveis e os processos considerados nesse trabalho. Foi calculada a densidade normalizada das feições em

cada classe das variáveis, dividindo a soma da área ou perímetro de um processo em uma classe pelo total da área da mesma classe. Os valores de densidade foram normalizados dividindo-os pelo máximo de densidade observado entre as classes da variável. Os valores foram normalizados para permitir a comparação entre os valores de densidade diferentes.

As classes com áreas relativas menores que 1% do total das áreas das bacias e com menos de 1% de ocorrência do processo analisado não foram consideradas para o cálculo da densidade normalizada. O coeficiente de correlação Pearson (CCP) foi calculado para as classes das variáveis e suas respectivas densidades normalizadas para verificação da correlação espacial.

4.4.4 Materiais e métodos Experimento 4

A base cartográfica utilizada para as duas áreas constitui-se de cartas topográficas na escala 1:10.000. As folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E), referentes a área de Analândia, foram executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia. Para a área de Cubatão foram utilizadas as folhas 4215 e 4216, executadas pela Agência Metropolitana da Baixada Santista. A partir dessas cartas topográficas foram extraídas as curvas de nível, canais fluviais e pontos cotados que foram interpolados para produção de modelos digitais de elevação (MDEs) para ambas as áreas.

Mapa de energia do relevo

O mapa de energia do relevo segundo a proposta de Mendes (1993) foi produzido em trabalho anterior (FERREIRA et al., 2015, não publicado), a partir da delimitação manual de sub-bacias e intersecção dos polígonos dos mapas de DH, DV e DEC. As regras para definição das classes de energia do relevo (quadro 10) foram adaptadas da proposta de Cunha e Pinton (2013), realizada para a mesma área de Analândia. De acordo com essa proposta quanto maior a DH, DV e DEC maior será a energia do relevo. Exemplo 1: Os polígonos são classificados com uma energia Muito Forte quando apresentarem $DEC > 75\%$ OU $DH < 10m$. Exemplo 2: Os polígonos são classificados com uma energia Forte quando apresentarem DEC entre $45\% - 75\%$ OU DH de $10m - 20m$ e a outra possibilidade é apresentarem DEC de $20\% - 45\%$ E $DV > 60m$. Dessa forma podemos afirmar que, de acordo com o quadro 10, a declividade e a dissecação horizontal têm maior relevância que a dissecação vertical na determinação das classes de maior energia do relevo.

Quadro 10 - Regras para definição das classes de energia do relevo.

Classe de energia do relevo	Declivida de (%)	Operador	Dissecação Horizontal (m)	Operador	Dissecação Vertical (m)	Ordem de classificação
Muito Forte	> 75	OU	< 10			1 ^a
Forte	45 – 75	OU	10 - 20			2 ^a
	20 – 45			E	> 60	3 ^a
Medianamente Forte	20 – 45	OU	20 - 40	OU	> 60	4 ^a
Média	8 – 20	OU	40 - 80	OU	50 - 60	5 ^a
Fraca	3 – 8	OU	80 - 160	OU	40 - 50	6 ^a
Muito Fraca	> 3	OU	> 160	OU	0 - 40	7 ^a

Fonte: elaborado pelos autores.

A carta de dissecação vertical empregada na elaboração do mapa de energia do relevo foi utilizada também para uma comparação com as células de fluxo propostas na nova técnica. De acordo com a adaptação de Mauro et al. (1991) da metodologia de Spiridonov (1981), a dissecação vertical é calculada a partir das curvas de nível, canais de drenagem e linhas retas que conectem um ponto, definido a partir da intersecção do canal de drenagem com a curva de nível, ao ponto mais próximo do limite da sub-bacia com cota igual ou superior àquela do ponto inicial.

Células de fluxo e cálculo do SPI

Com o emprego da rede de canais fluviais e do MDE foi delimitada a sub-bacia de cada canal fluvial a partir de sua área de contribuição. Essa etapa foi executada com base no método de vizinhança única que indica a direção do fluxo para um pixel como sendo o pixel de maior caída (O'CALLAGHAN; MARK, 1984). Esse algoritmo é denominado também de D8, sendo o mais simples e mais usado para o cálculo da área de contribuição. O D8 apresenta uma série de limitações principalmente para áreas em que ocorrem divergências de fluxo (áreas de pico e de vertentes convexas), mas é recomendado para delimitação da área de fluxo que converge para um ponto específico (GRUBER; PECKHAM, 2008) e por isso foi utilizado nessa etapa. Para esse procedimento foi necessário que os canais fluviais duplos presentes na bacia do rio da Onça fossem simplificados. Importante destacar que, apesar desse método ter sido utilizado para identificar as áreas de contribuição para a delimitação das sub-bacias, esse não foi empregado para o cálculo da área de contribuição das células de fluxo. Para gerar as células de fluxo e cálculo do SPI foi desenvolvida uma ferramenta, implementada por meio da linguagem de programação Python e os ArcObjects, que

representam um conjunto de modelos de dados geográficos básicos, e oferecem serviços para suporte e construção de soluções na plataforma ArcGIS. A plataforma empregada foi o ArcGIS Desktop 10.2.2 (ESRI, 2014), nível de licença ArcInfo e extensões *3D Analyst* e *Spatial Analyst*. O Algoritmo está disponível no **Apêndice N** do trabalho e a seguir são descritos os passos realizados pela ferramenta para a geração das células de fluxo e cálculo do SPI.

Passo 1: Determinação de células de fluxo.

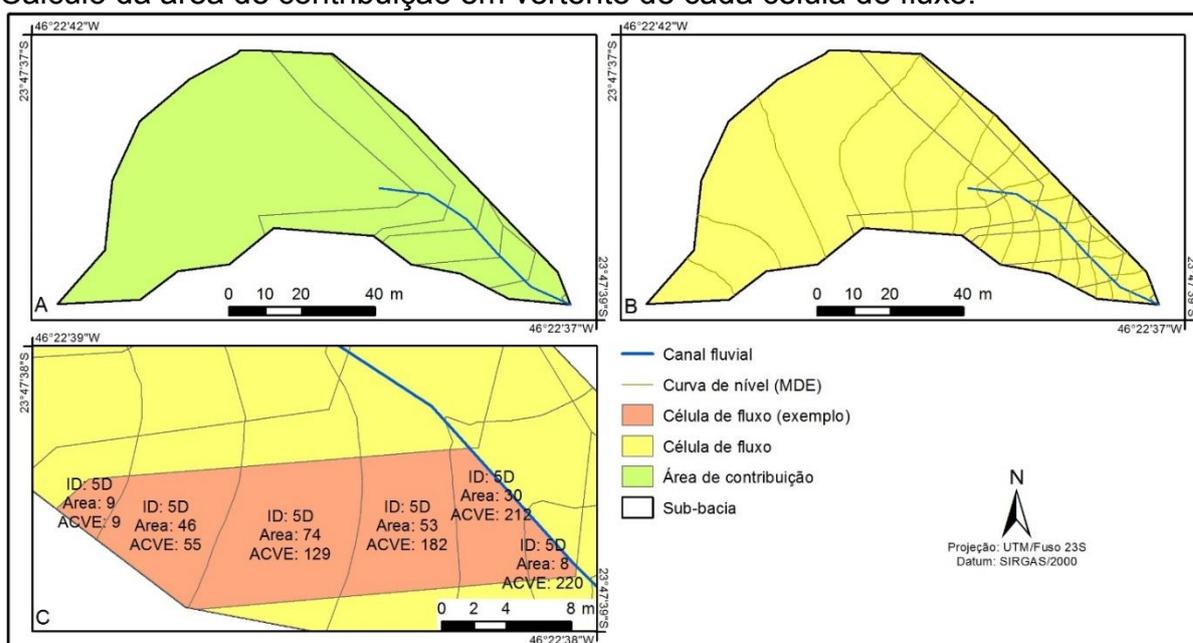
A) Seleciona-se o canal fluvial no interior de uma das sub-bacias. Esse canal é dividido em segmentos de mesmo comprimento. Nesse trabalho, os canais foram divididos em segmentos de 10m, que representa 5 vezes a menor distância linear distinta na escala. Por meio do método D8 é determinada a área de contribuição de cada segmento do canal fluvial (figura 14A);

B) A partir do MDE são extraídas as curvas de nível;

C) O resultado é interseccionado com o canal fluvial e com as curvas de nível para formar o que foi denominado de células de fluxo (figura 14B);

D) São calculadas a área e a altitude média de cada célula de fluxo.

Figura 14 - Determinação das células de fluxo. A) Delimitação da área de contribuição dos segmentos do canal fluvial. B) Delimitação das células de fluxo. C) Cálculo da área de contribuição em vertente de cada célula de fluxo.



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 2: Cálculo da área de contribuição em vertente (ACVE).

A) Para o cálculo da área de contribuição em vertente (ACVE), cada célula de fluxo é identificada de acordo com o segmento do canal fluvial a que está relacionada e com sua posição em relação ao segmento, que pode ser à direita ou à esquerda;

B) As células de fluxo relacionadas a um mesmo segmento do canal fluvial e localizadas em um mesmo lado, são processadas em ordem decrescente de altitude. Para a célula de maior altitude é calculada como ACVE o valor de sua área. Para a segunda célula de maior altitude é calculada como ACVE da área da primeira célula mais a sua respectiva área e assim por adiante, como pode ser observado na figura 14C;

C) O passo 2B é repetido para todas as demais células de fluxo de acordo com o identificador criado em 2A.

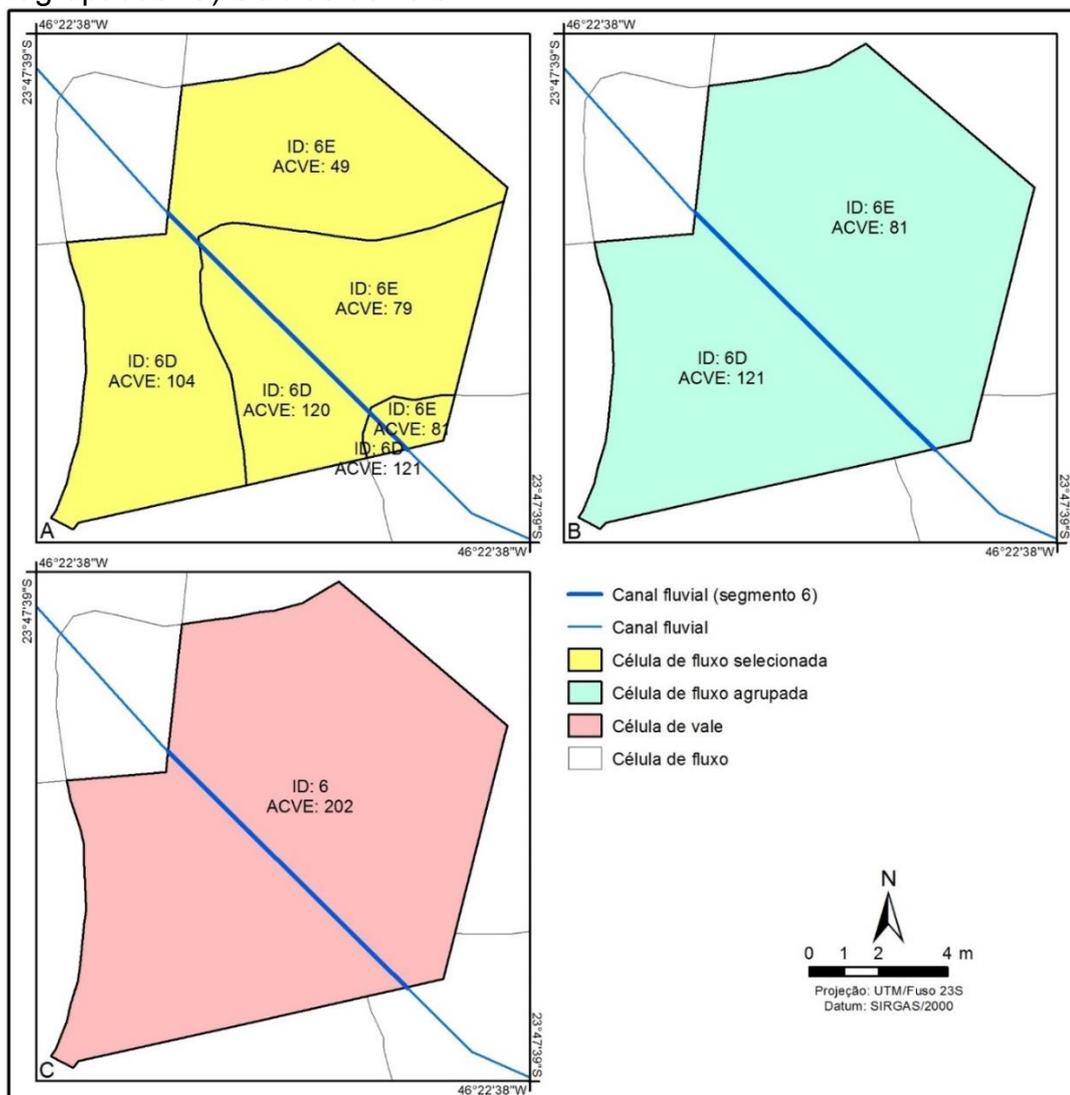
Passo 3: Determinação das células de vale.

A) As células que interseccionam o canal fluvial são selecionadas para o cálculo da área de contribuição em vale (ACVA). Na figura 15A pode-se observar em detalhe as células selecionadas com os seus respectivos identificadores e áreas de contribuição. No exemplo existem seis células com o identificador 6 (sendo três 6D e três 6E), ou seja, originadas do mesmo segmento do canal fluvial.

B) As células selecionadas no passo 3A e localizadas no mesmo lado do canal fluvial são agrupadas e o valor máximo de ACVE é atribuído para os polígonos resultantes conforme a figura 15B;

C) Os polígonos resultantes do passo 3B e originados do mesmo segmento do canal fluvial são agrupados e os valores de ACVE são somados, conforme a figura 15C. Os polígonos resultantes desse passo receberam o nome de células de vale.

Figura 15 - Determinação das células de vale. A) Célula de fluxo. B) Célula de fluxo agrupadas. C) Células de vale



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 4: Cálculo da área de contribuição em vale (ACVA).

A) Para o cálculo da área de contribuição em vale (ACVA) as células de vale de todas as sub-bacias são processadas conjuntamente. Partindo de uma nascente, são selecionados os canais até chegar no exutório da bacia. No exemplo apresentado na figura 16, partindo da nascente 3, foram selecionados os 3 canais (1, 5, 6) subsequentes até chegar ao exutório (7) da bacia;

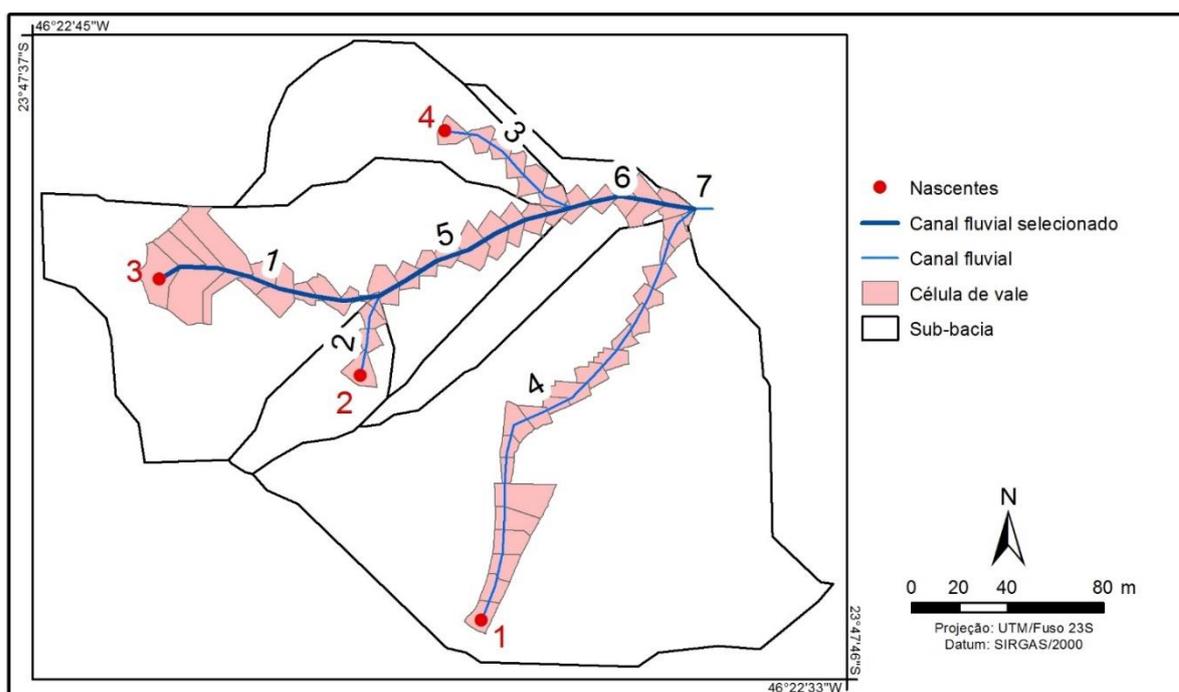
B) As células de vale que interceptam os canais selecionados no passo 4A são então processadas. Segue-se a mesma ordem estabelecida para os canais, da nascente até o exutório da bacia. As células de vale de cada canal são ordenadas pela elevação média em ordem decrescente;

C) Nos canais de primeira ordem, à primeira célula de vale é atribuído apenas o valor de ACVE para ACVA. Para a segunda célula o valor de ACVA é definido como sendo o valor de ACVE da segunda célula mais o valor de ACVA da primeira célula. Assim sucessivamente até atingir a célula de menor elevação;

D) A partir dos canais de segunda ordem, as células receberão o fluxo de outras bacias, e por isso serão processadas mais de uma vez. No exemplo observado na figura 16, as células do canal 6 serão processadas 3 vezes, pois estão conectadas às nascentes 2, 3 e 4. No primeiro processamento, o valor de ACVA de determinada célula do canal 6 será definido como o valor de ACVE mais o valor de ACVA da célula anterior. A partir do segundo processamento, o valor de ACVA de cada célula do canal 6 será definido como o valor do ACVA das mesmas mais o ACVA da célula de menor elevação da bacia de primeira ordem da nascente que está sendo processada no momento.

E) Um novo arquivo de células de fluxo atualizadas é criado a partir desses procedimentos. Para esse arquivo a ACVE passa a ser denominada apenas de área de contribuição (AC). As células que interseccionam o canal fluvial são substituídas pelas células de vale e como AC é atribuído o valor de ACVA.

Figura 16 - Células de vale para cinco bacias selecionadas



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 5: Cálculo do SPI.

A) Calcula-se a média de declividade para cada célula de fluxo atualizada.

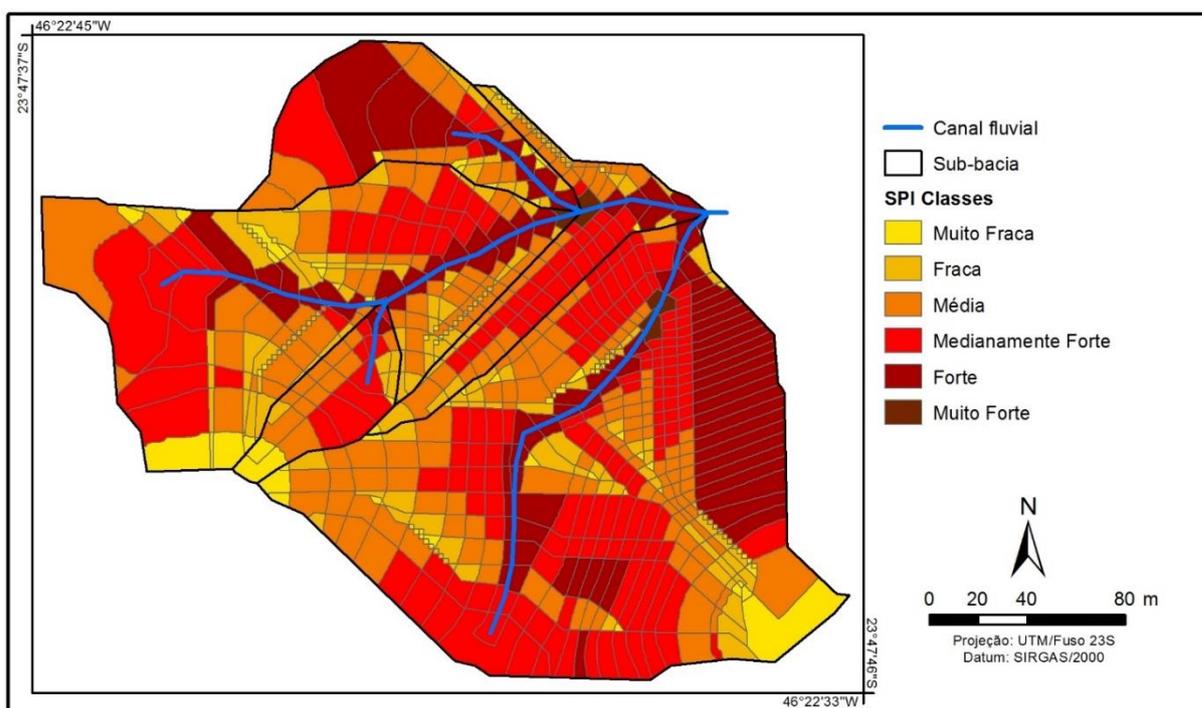
B) Calcula-se o SPI (*Stream Power Index*) por meio da equação 7.

$$SPI = \ln(AC.D) \quad (7).$$

Em que: AC é a área de contribuição e D é a declividade média da célula de fluxo em porcentagem.

C) Para permitir a comparação do SPI com a energia do relevo, os valores de SPI foram classificados nas mesmas seis classes de energia apresentadas no quadro 11. Para o agrupamento foi utilizado um método de classificação denominado de quebras naturais (*natural breaks*). Esse método busca reduzir a variância no interior de cada classe e aumentar a variância entre as classes. A figura 17 representa o SPI com os valores classificados reorganizados de forma qualitativa.

Figura 17 - Classificação qualitativa do SPI para as células de fluxo



Fonte: elaborado pelos autores.

Validação

Para área de Cubatão e Analândia foram utilizados cadastros de cicatrizes de escorregamento, sulcos/ravinas e voçorocas pré-existente. O cadastro de cicatrizes

de escorregamento foi elaborado por Lopes (2006) por meio da interpretação visual de fotografias aéreas de 1985. Foram delimitados os corpos principais dos escorregamentos, ou seja, as áreas que deram origem ao processo. Foram extraídas 339 cicatrizes que somadas totalizaram uma área de aproximadamente 120907m². O cadastro de voçorocas, sulcos e ravinas foi elaborado por Ferreira et al. (2015, não publicado) por meio de interpretação visual de imagem orbital de alta resolução do satélite GeoEye, adquirida por meio do serviço Bing Maps da empresa Microsoft, com data de 2011. Foram extraídas 12 voçorocas que somadas totalizaram uma área de 59538m². As ravinas e sulcos foram analisados conjuntamente, devido à dificuldade de estabelecer um critério objetivo para sua diferenciação por meio da interpretação das imagens. Foram extraídas 325 feições de sulcos e ravinas totalizando uma extensão de 8766m. Não foram extraídos sulcos e ravinas nas áreas de vegetação natural, silvicultura e urbana, devido à impossibilidade de visualizar essas feições nessas áreas por meio de imagens.

Para cada classe de energia do relevo e SPI verificou-se a densidade de ocorrência de cicatrizes de escorregamentos na área de Cubatão e a densidade de ocorrência de voçorocas e sulcos/ravinas na área de Analândia. Buscou-se com essa análise verificar a correlação existente entre os produtos resultantes dessas técnicas e os processos considerados nesse trabalho. Foi calculada a densidade normalizada das feições em cada classe das variáveis, dividindo a soma da área ou perímetro de um processo em uma classe pelo total da área da mesma classe. Os valores de densidade foram normalizados dividindo-os pelo máximo de densidade observado entre as classes da variável. Os valores foram normalizados para permitir a comparação entre os valores de densidades diferentes.

As classes com áreas relativas menores que 1% do total das áreas das bacias e com menos de 1% de ocorrência do processo analisado não foram consideradas para o cálculo da densidade normalizada. O coeficiente de correlação Pearson (CCP) foi calculado para as classes das variáveis e suas respectivas densidades normalizadas para verificação da correlação espacial.

5 RESULTADOS

Os resultados de cada um dos quatro experimentos estão descritos e discutidos nos quatro artigos que seguem.

5.1 Artigo Experimento 1 – Trabalho publicado na Revista Brasileira de Geomorfologia. v.15, p.585 - 600, 2014.

A DISSECAÇÃO HORIZONTAL COMO PARÂMETRO MORFOMÉTRICO PARA AVALIAÇÃO DO RELEVO: PROPOSTA DE TÉCNICA DIGITAL AUTOMÁTICA

Horizontal dissection as a morphometric parameter to evaluate the relief: proposal for a digital automatic technique

Mateus Vidotti Ferreira¹,

Thais Minatel Tinós²,

Leandro de Godoi Pinton³,

Cenira Maria Lupinacci da Cunha⁴

RESUMO

A morfometria do relevo constitui-se em parâmetro importante para a avaliação da potencialidade morfogenética dos terrenos. Dentre as diversas variáveis passíveis de mensuração, a dissecação horizontal ganha relevância ao permitir avaliar os processos morfogenéticos relacionados com a intensidade da dinâmica fluvial. A obtenção desse tipo de dado, que tradicionalmente envolvia um trabalho moroso, evoluiu bastante com o desenvolvimento de técnicas cartográficas digitais. O objetivo desse artigo é apresentar e discutir uma nova técnica automática desenvolvida em meio digital para a aquisição de dados da dissecação horizontal do relevo. Apresenta-se ainda uma análise comparativa

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: mateusvidotti@yahoo.com.br

² Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: thaistinos@gmail.com

³ Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: lgpgeo@yahoo.com.br

⁴ Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: cenira@rc.unesp.br

de mapeamentos realizados de forma semiautomática e automática da bacia hidrográfica do Córrego do Cavalheiro (Analândia - SP), na escala de 1:10.000. Os resultados obtidos demonstram que a técnica digital permite maior precisão e demanda menor tempo para ser executada. Além disso, a replicabilidade é garantida em razão do uso de algoritmos computacionais, dispensando a subjetividade inerente aos processos analógicos.

PALAVRAS-CHAVE: análise morfométrica, mapeamento automático, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The morphometry of the relief is an important parameter to evaluate the morphogenetic potential of the land. The horizontal dissection, one of the several variables that can be measured, is relevant, because it allows the evaluation of the morphogenetic processes related to the intensity of fluvial dynamics. The digital mapping techniques have greatly evolved; therefore, it is much easier to obtain this type of data. The objective of this paper is to present and discuss a new automatic technique to obtain horizontal dissection data of the relief. In addition, a comparative analysis of mappings developed through the semi-automatic and automatic techniques in Cavalheiro Stream Basin – Analândia city (SP), on scale of 1:10.000 is presented. The results demonstrate that the digital technique allows greater precision and require less time to be processed. Furthermore, the replicability is guaranteed by the use of computer algorithms, eliminating the inherent subjectivity of analogical processes.

KEYWORDS: morphometric analysis, automatic mapping, watershed.

INTRODUÇÃO

A análise morfométrica do relevo visa obter dados quantitativos sobre o terreno, os quais avaliam hierarquicamente a potencialidade de suas características geométricas para o desenvolvimento de processos morfogenéticos. Tricart (1965) considera os dados morfométricos de extrema relevância na avaliação do relevo e os emprega como uma das bases em sua proposta de mapeamento geomorfológico. Tradicionalmente, a obtenção destes dados caracterizava-se por tarefa morosa em virtude da necessidade de análise detalhada de elementos das bases topográficas a fim de mensurar as altitudes do relevo através das curvas de nível, assim como a distribuição da rede de canais de drenagem.

No entanto, a introdução das técnicas digitais na cartografia, viabilizou uma dinamização no processamento e interpretação das variáveis morfométricas. A partir da década de 60, alguns pesquisadores passaram a publicar suas experiências. Morse (1968) procurou visualizar o comportamento topológico das superfícies topográficas a

partir das curvas de nível em ambiente computacional, mas apontou dificuldades para o tratamento satisfatório dos dados expressos em isolinhas. Evans (1972) introduziu pela primeira vez um sistema integrado de geomorfometria, focado principalmente em dados derivados da altitude. Peucker e Douglas (1975) discutiram os problemas de codificação da superfície topográfica nos sistemas computacionais. Mark e Aronson (1984) avaliaram o uso do modelo da geometria fractal para descrever o comportamento estatístico da superfície terrestre, buscando assimilar a complexidade da topografia de forma mais eficiente em ambiente digital. Dikau et al. (1995) adaptaram para o meio digital uma metodologia de classificação do relevo baseada em dados morfométricos derivados de modelos digitais de elevação (MDEs).

Nos últimos anos, um importante progresso foi alcançado na melhoria da precisão altimétrica, com o desenvolvimento de novos algoritmos e *softwares* para calcular atributos do relevo. Neste contexto, destacam-se os trabalhos de Ehsani e Quiel (2008), Steinke e Sano (2011) e Jasiewicz e Stepinski (2013), que realizaram análises semiautomáticas de dados morfométricos para o reconhecimento de padrões de formas do relevo através de MDEs e, ainda, Ghimire (2014) que identificou e analisou um grupo de variáveis morfométricas para a classificação de bacias hidrográficas de primeira ordem. Além da evolução tecnológica, o desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de análise morfométrica do relevo em ambiente computacional foi motivado pelo interesse em superar a subjetividade relativa às interpretações realizadas manualmente.

Florenzano (2008) destaca a importância das cartas morfométricas como possíveis sistemas de mapeamento do relevo que abarcam uma linguagem universal já que se trata de documentos que realizam análises quantitativas do relevo e, portanto, o grau de interpretação dos dados é menor.

Minár e Evans (2008) avigoram tal visão ao proporem que as superfícies sejam classificadas por meio de uma análise geométrica das formas do relevo. Assim, os autores concebem que a homogeneidade morfométrica é reflexo da homogeneidade genética, e as mudanças genéticas estão ligadas com as discontinuidades morfométricas. Desta forma, a identificação das mudanças morfológicas através de modelos geométricos pautados em bases topográficas inseridas nos Sistemas de

Informação Geográfica (SIGs) possibilita a definição de modo matemático das unidades homogêneas de formas do relevo.

Dentre as diversas variáveis passíveis de mensuração para o estabelecimento de uma suposta homogeneidade, a dissecação horizontal, cuja medida corresponde à distância entre as linhas de cumeada e os talwegues, ganha relevância ao permitir avaliar os processos morfogenéticos relacionados com a intensidade da dinâmica fluvial.

Spiridonov (1981) foi o responsável pelo desenvolvimento de uma metodologia para análise desse parâmetro morfométrico. Spiridonov (1981) propôs que a carta de dissecação horizontal fosse elaborada a partir da delimitação das bacias e sub-bacias de drenagem em uma base topográfica. Dentro dos limites de cada bacia, são traçadas as linhas de caimento das encostas e nelas são separadas distintas seções com início nos talwegues. Os pontos equidistantes dos talwegues são unidos mediante curvas, que são equivalentes às isolinhas de distância dos talwegues mais próximos. As faixas geradas representam as classes de dissecação horizontal, sendo coloridas de acordo com a seguinte regra: quanto mais longe do talvegue, menor a dissecação horizontal.

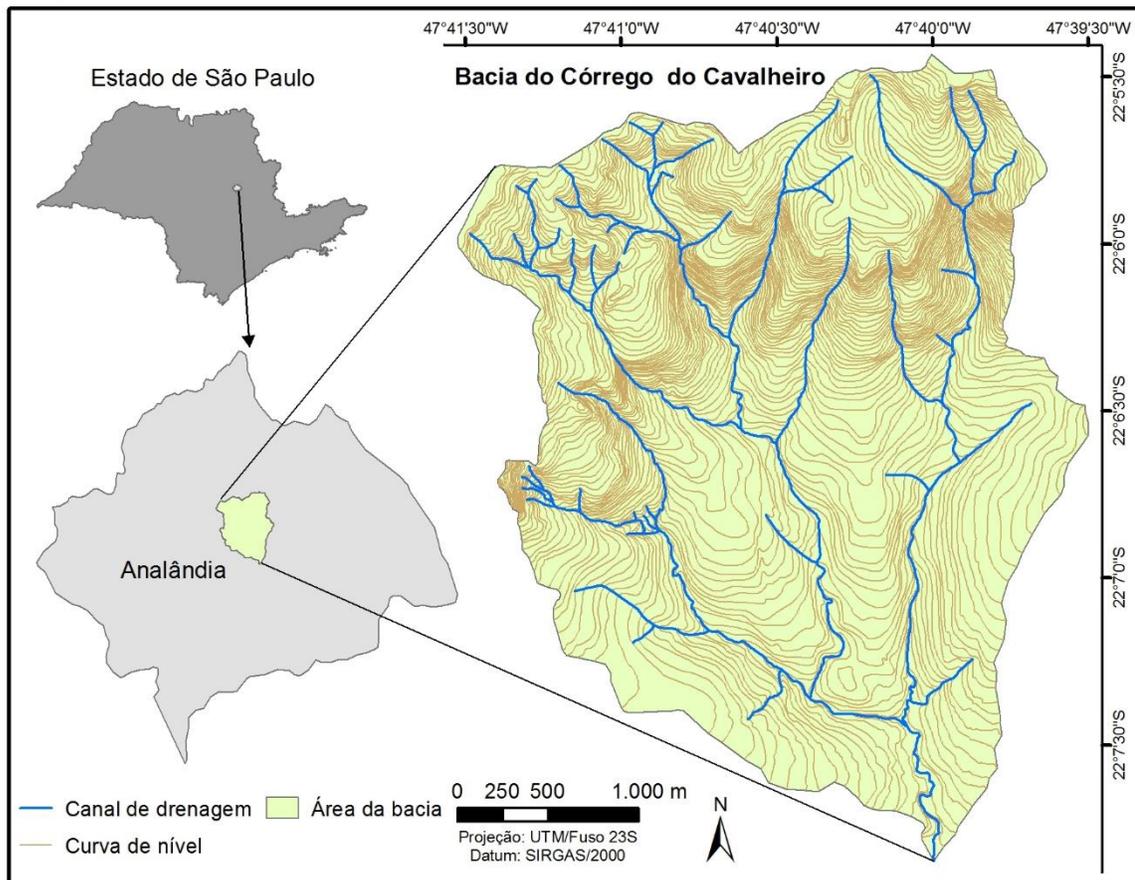
No Brasil, tal metodologia passou por algumas adaptações propostas por Mauro et al. (1991). A primeira etapa foi mantida com a delimitação da bacia e sub-bacias, partindo-se das maiores para as de menor extensão. Na etapa seguinte, houve a implementação de um ábaco que, deslocado entre o talvegue e os divisores de água, auxiliaria na delimitação das classes de dissecação horizontal. As áreas são classificadas de acordo com a distância medida entre as projeções ortogonais do divisor de água e do fundo de vale em um plano horizontal. O trabalho de Mauro et al. (1991) se tornou a base para muitos estudos produzidos no país. Dentre esses estudos, destaca-se o desenvolvido por Zacharias (2001), que propôs uma semiautomatização da metodologia em ambiente digital por meio de uma plataforma Computer-aided design (CAD). A autora alcançou um ganho de operacionalidade, visto que as informações armazenadas em meio digital permitiram aos usuários realizar alterações dos dados em qualquer etapa do trabalho. Entretanto, a metodologia continua demandando considerável tempo e obrigatoriamente apresenta imprecisões relacionada aos procedimentos desenvolvidos manualmente. Desde então, não houve avanços metodológicos nesta área.

O objetivo deste artigo é apresentar e discutir uma nova técnica automática desenvolvida em meio digital para a obtenção de dados da dissecação horizontal do relevo. Para sua validação foi realizada uma análise comparativa com o mapeamento elaborado com base na proposta metodológica semiautomática de Zacharias (2001) na bacia hidrográfica do Córrego do Cavalheiro - Analândia (SP), na escala de 1:10.000.

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Córrego do Cavalheiro localiza-se entre as coordenadas geográficas de 22°05'36" e 22°07'58" de latitude Sul e 47°39'14" e 47°41'28" de longitude Oeste, possuindo uma área de 9,9 km² (figura 18). Esta bacia situa-se na maior unidade geológica do Estado de São Paulo - a bacia sedimentar do Paraná, sendo disposta na transição entre as *Cuestas Areníticas-Basálticas* e a *Depressão Periférica Paulista*.

Figura 18 - Localização da Bacia do Córrego do Cavalheiro.



Fonte: elaborado pelos autores.

De acordo com Ab'Sáber (1969), a gênese de ambos os compartimentos está relacionada com o processo de circundesnudação, de idade pós-cretácea, ocorrido nas margens da bacia sedimentar do Paraná, na qual os “[...] fenômenos de desnudação marginal se processaram de um modo mais generalizado e normal, vindo a corresponder, em conjunto, a um sistema típico de circundesnudação, dos mais extensos de que se tem notícia no relevo terrestre” (AB’SÁBER, 1949). No que tange a morfogênese do relevo de *cuestas* da bacia do Paraná, destaca-se ainda a existência de estudos que indicam que essa pode estar atrelada a influência da morfotectônica (PENTEADO, 1968, 1974; FACINCANI, 2000).

Independentemente da abordagem adotada, a morfogênese responsável por ambos os compartimentos geomorfológicos desenvolve-se sobre litologias cuja deposição ocorreu desde o período Mesozóico ao Cenozóico. De acordo com São Paulo (1984), datadas do Mesozóico, encontram-se as formações pertencentes ao Grupo São Bento - Pirambóia, Botucatu e Serra Geral - e, ainda, a formação Itaqueri. É necessário destacar que não há um consenso para a datação da formação Itaqueri, pois essa já foi considerada inicialmente como série basal do Grupo Bauru e, atualmente, alguns autores indicam que sua formação pode ser posterior ao referido grupo (MELO, 1995). No que se refere às litologias datadas do Cenozóico, encontra-se apenas a formação Santa Rita do Passa Quatro (SÃO PAULO, 1984).

Assim, a bacia do Córrego do Cavalheiro apresenta feições geomorfológicas diversas, tanto em função da litologia como da evolução morfogenética do setor cuestiforme. Essa diversidade de feições foi objeto do mapeamento da dissecação horizontal por meio de duas técnicas diferentes, a seguir apresentadas.

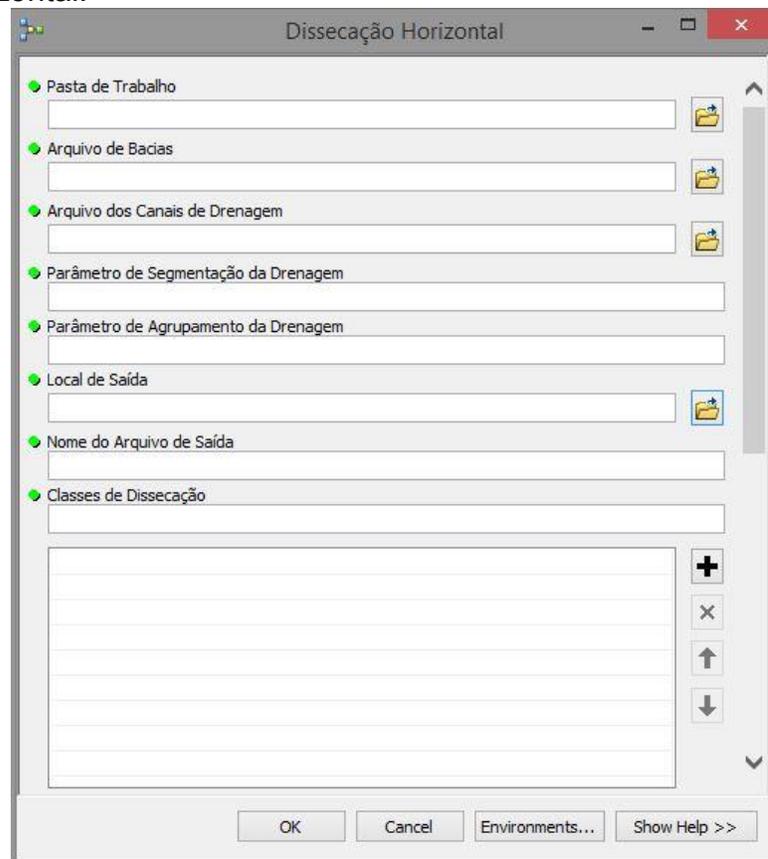
PROCEDIMENTOS PARA O MAPEAMENTO DA DISSECAÇÃO HORIZONTAL

A base cartográfica utilizada nesta pesquisa constitui-se de cartas topográficas executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia - na escala de 1:10.000. A bacia do Córrego do Cavalheiro compreende as folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E), datadas

do ano de 1979. A bacia do córrego do Cavalheiro e suas sub-bacias foram delimitadas por meio da interpretação dessas cartas topográficas

O procedimento automático proposto neste artigo é baseado em uma ferramenta específica desenvolvida no interior do software ArcGIS 10.2.1 (ESRI, 2013). A ferramenta encontra-se disponível para download no link <http://1drv.ms/S7ZdgT>. Esta ferramenta tem por objetivo gerar polígonos que representem a dissecação horizontal a partir de linhas que conectem um ponto do canal de drenagem a um ponto mais próximo da borda da sub-bacia, com um ângulo aproximado de 90° em relação ao canal de drenagem. A ferramenta representa uma automatização da proposta Spiridonov (1981) e da adaptação de Mauro et al. (1991). Sua interface pode ser observada na figura 19.

Figura 19 - Interface da ferramenta criada para a técnica digital automática de dissecação horizontal.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados de entrada na ferramenta são os polígonos das sub-bacias e seus respectivos canais de drenagem em formato de linha. É importante que as linhas de

drenagem estejam com os pontos finais posicionados no exutório da bacia. Em seguida, deve-se informar três variáveis: um parâmetro de segmentação dos canais de drenagem, ou seja, um valor para a divisão do canal de drenagem em trechos equidistantes; um parâmetro de agrupamento dos canais de drenagem; e os limiares superiores das classes de dissecação desejada.

O estabelecimento do parâmetro de segmentação se dá a partir da escala de trabalho. De acordo com o IBGE (1999), o menor comprimento gráfico que se pode representar em um desenho é $1/5$ de milímetro ou 0,2 mm, pois esse seria o menor valor pontual que a vista humana pode distinguir. Em termos lineares, para um mapa na escala 1:10.000, o valor estabelecido para o erro gráfico é de 2 metros, ou seja, esse é o menor valor linear distinto nesta escala. Assim, o parâmetro de segmentação foi definido como 2 metros.

O parâmetro de agrupamento dos canais de drenagem é uma variável diretamente relacionada a sinuosidade do canal e ao parâmetro de segmentação. Em áreas com canais muito sinuosos a ferramenta tende a apresentar um resultado menos satisfatório, pois a diversidade de direções dos segmentos dos canais de drenagem gera problemas na criação das linhas de dissecação horizontal. Aconselha-se que para cada área sejam testados diferentes valores do parâmetro de agrupamento para se atingir melhores resultados. Neste artigo, definiu-se de maneira empírica um valor do parâmetro de agrupamento igual a 60 (segmentos).

As classes de dissecação também devem ser estabelecidas conforme a escala de trabalho. Assim, para a primeira classe, o valor estabelecido foi menor ou igual a 10m, representando 5 vezes o menor valor linear distinto nesta escala (2m). Seguindo-se a recomendação de Spiridonov (1981), o valor das classes seguintes foi atribuído com base no dobro do limite da classe anterior, até atingir o máximo de distância ainda representativa para a área. As classes de dissecação e suas respectivas cores são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Classes de dissecação horizontal

Intervalo (em metros)	ID da classe	Classes de dissecação	Cores da legenda
< 10	1	Classe 1	
10-20	2	Classe 2	
20-40	3	Classe 3	
40-80	4	Classe 4	
80-160	5	Classe 5	
160-320	6	Classe 6	
≥320	7	Classe 7	

Fonte: elaborado pelos autores.

Abaixo são descritos os passos realizados pela ferramenta para a geração do mapa de dissecação horizontal.

Passo 1: Verifica-se a existência de algum ponto de nascente no interior da bacia. Caso haja, um processamento específico será realizado para esse ponto (**Passo 10**). A verificação é realizada por meio do canal de drenagem fornecido.

Passo 2: Divide-se a linha de drenagem em segmentos de mesma extensão de acordo com o parâmetro de segmentação. Na sequência, é criado um ponto no centro de cada segmento. Esse ponto será o ponto inicial das linhas candidatas a linhas de dissecação horizontal. A figura 20A mostra os pontos centrais criados sobre o canal de drenagem. Neste exemplo, a ferramenta criou 157 pontos com equidistância de 2 metros para uma escala de 1:10.000.

Passo 3: Calcula-se a direção de cada agrupamento de 60 segmentos de drenagem. Optou-se por utilizar a direção de um grupo de segmentos para minimizar a influência das grandes variações que podem ocorrer quando se considera apenas um pequeno segmento. A direção do agrupamento de segmentos utilizada nesta ferramenta é um ângulo que varia de -90 graus a +90 graus. Colocada em um plano cartesiano, essa variação equivale ao primeiro e ao quarto quadrantes. A direção então é associada aos respectivos pontos pertencentes a cada agrupamento. Esse parâmetro será essencial para determinar a linha de dissecação horizontal.

Passo 4: Criam-se pontos equidistantes sobre a borda da bacia, os quais serão candidatos a pontos finais das linhas de dissecação horizontal. A distância entre esses pontos foi definida empiricamente como sendo o tamanho do segmento de drenagem

dividido por 4. Desta forma, quanto menor o tamanho do segmento, maior será o número de pontos na borda da bacia. No exemplo apresentado na figura 20A, como a distância definida para o segmento de drenagem foi de 2 metros, a distância entre os pontos da bacia é de aproximadamente 0,5 metro. A figura 20B apresenta um detalhe dos pontos criados sobre a borda da bacia.

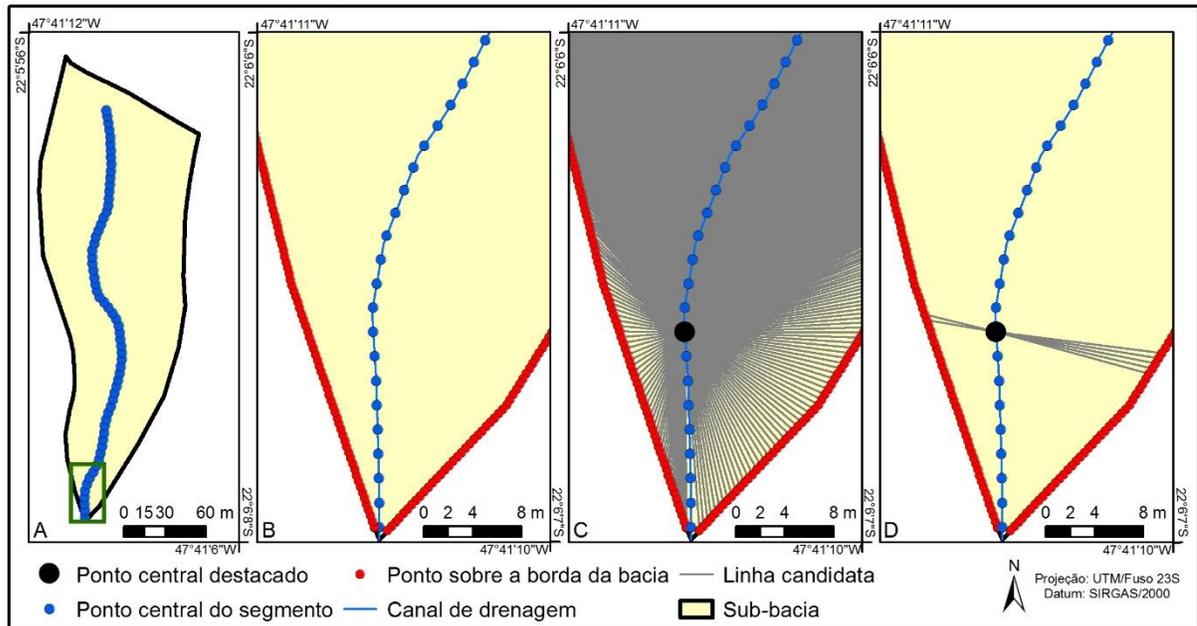
Passo 5: Inicia-se o processamento individual de cada ponto do canal de drenagem para encontrar a melhor linha de dissecação horizontal para o lado direito e para o lado esquerdo do canal. Os pontos são processados das extremidades da linha de drenagem para o centro da mesma de forma alternada, ou seja, inicia-se com o ponto mais próximo da jusante, em seguida processa-se o ponto mais próximo da montante e depois o segundo ponto mais próximo da jusante e assim sucessivamente.

Os procedimentos para escolha das linhas de dissecação serão descritos nos passos seguintes.

Passo 6: Tomando como referência o ponto destacado em preto na figura 20C, cria-se um arquivo com as linhas candidatas a linha de dissecação horizontal. Essas linhas ligam o ponto selecionado a todos os pontos da bacia, como pode ser visualizado na figura 20C. Para cada uma das linhas é calculado o azimute geográfico.

Passo 7: Utilizando a relação entre o azimute de cada linha candidata e a direção do segmento de drenagem calculado anteriormente, encontram-se as linhas que estão próximas a perpendicular do segmento de drenagem. Foi definido um intervalo de busca para as linhas com um ângulo de mais ou menos 5 graus a partir da perpendicular do agrupamento de segmentos de drenagem a qual pertence o ponto. As linhas selecionadas por meio desse critério são apresentadas na figura 20D.

Figura 20 - Dissecação horizontal automática: A - Pontos centrais criados sobre o segmento de drenagem; B - Detalhe dos pontos criados sobre a borda da bacia; C - Linhas candidatas a linha de dissecação horizontal do ponto em destaque; D - Linhas candidatas selecionadas pelo critério do ângulo.



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 8: Aplicam-se então os seguintes procedimentos para encontrar a melhor linha de dissecação da direita e da esquerda do canal de drenagem:

- Utilizando a mesma relação entre direção do segmento de drenagem e o azimute das linhas candidatas, encontram-se as linhas que estão à esquerda do segmento de drenagem;

- Dentre as linhas da esquerda selecionadas, excluem-se aquelas que:

- cruzam o canal de drenagem;
- cruzam a borda da bacia;
- interceptam linhas de dissecação horizontal de outros pontos;

- Por fim, seleciona-se a linha que tenha o menor comprimento entre o canal de drenagem e a borda da bacia;

- Repetem-se as últimas três etapas para encontrar a melhor linha da direita.

Passo 9: Repetem-se então os passos 7 e 8 para cada um dos pontos do canal de drenagem restantes.

Se houver uma nascente no interior da bacia, essa será processada no passo seguinte.

Passo 10: Para o processamento da nascente realizam-se as seguintes etapas:

- Aplica-se o mesmo procedimento descrito no passo 6 para construção das linhas. No entanto, utilizam-se os pontos sobre a borda da bacia com espaçamento equivalente ao parâmetro de segmentação do canal de drenagem utilizado;

- Não é aplicado o procedimento do passo 7 de restrição angular da linha.

- Excluem-se as linhas que:

- cruzam a borda bacia;

- cruzam o canal de drenagem;

- interceptam linhas de dissecação horizontal de outros pontos;

A figura 21A apresenta as linhas selecionadas após a aplicação dos passos anteriores.

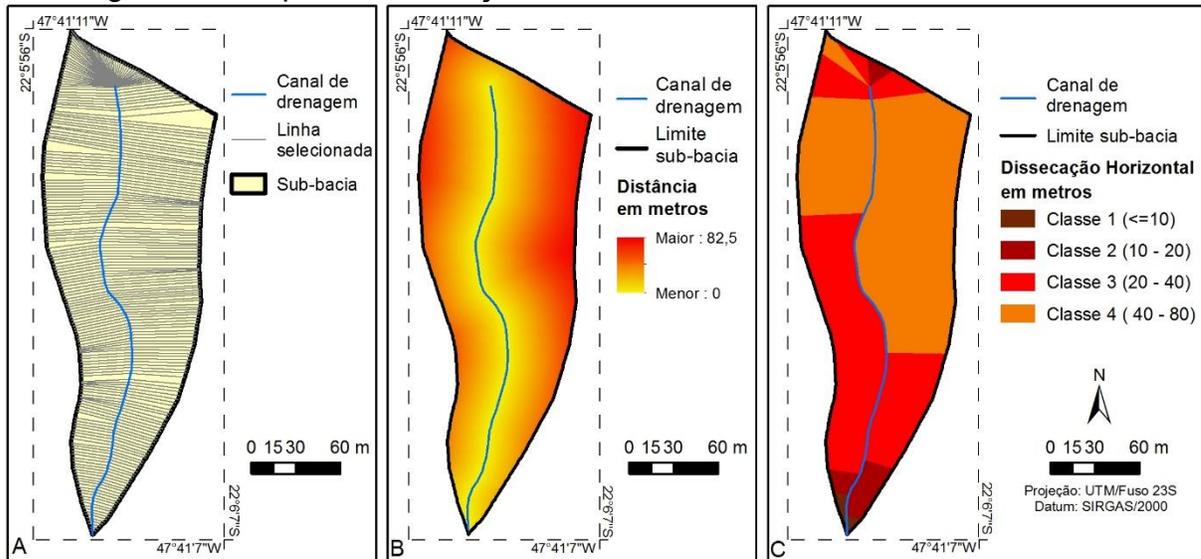
Passo 11: Os polígonos de dissecação são criados utilizando as linhas de dissecação horizontal, a linha da drenagem e o polígono da bacia.

Passo 12: Gera-se um mapa de distância euclidiana a partir do segmento de drenagem. Esse mapa será utilizado para o cálculo da distância máxima dentro de cada um dos polígonos gerados no passo 11. O mapa de distância do canal de drenagem pode ser visualizado na figura 21B.

Passo 13: Por meio de uma análise zonal, utilizando os polígonos de dissecação e o mapa de distâncias, calcula-se para cada polígono sua distância máxima do canal de drenagem.

Passo 14: Baseando-se na distância máxima, cada polígono é então classificado de acordo com as classes previamente definidas (tabela 2). Os polígonos contíguos que pertençam a mesma classe são agrupados. O resultado deste processamento são os polígonos de dissecação horizontal. A figura 21C ilustra a representação espacial deste atributo.

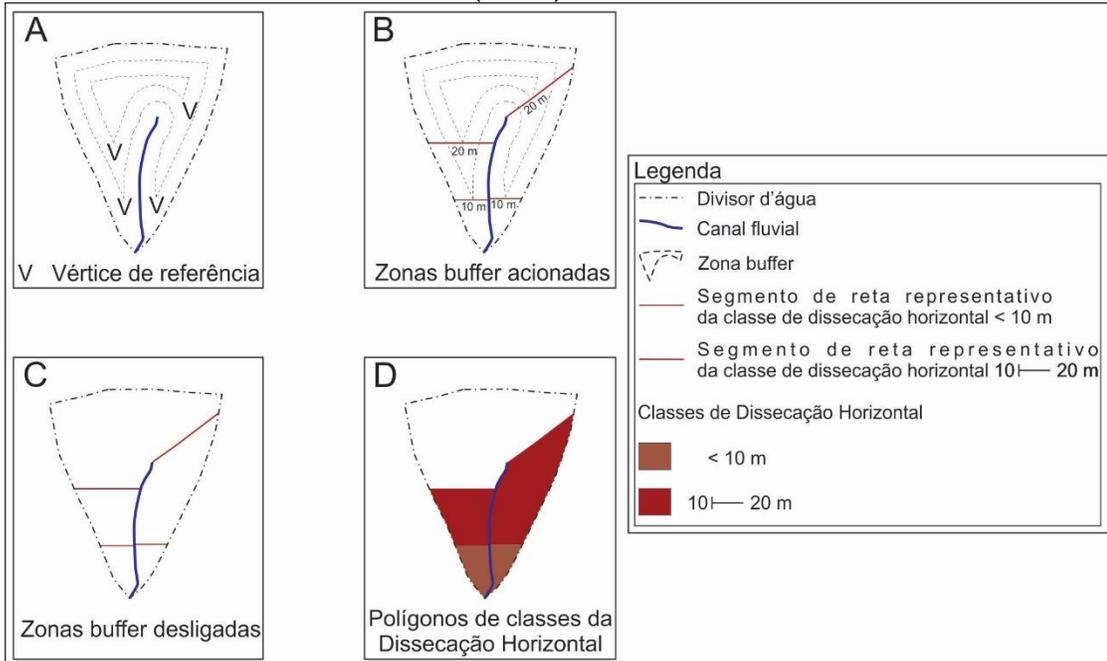
Figura 21 - Dissecação horizontal automática: A – Linhas selecionadas para os lados direito e esquerdo do canal de drenagem; B - Mapa da distância euclidiana do canal de drenagem; C - Mapa de dissecação horizontal da sub-bacia.



Fonte: elaborado pelos autores.

Após o mapa de dissecação horizontal ser produzido utilizando a ferramenta descrita, este foi comparado com um mapa de dissecação horizontal gerado a partir da técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001). Este produto foi selecionado para validação por três motivos: 1. emprega o mesmo referencial teórico para o cálculo da dissecação horizontal (SPIRIDONOV, 1981; MAURO et. al., 1991), o que garante uma comparabilidade; 2. é desenvolvido também em meio digital, o que facilita a análise e diminui possíveis erros de digitalização; 3. é uma técnica muito utilizada para o estudo da dissecação horizontal no Brasil. A figura 22 ilustra a construção da carta de dissecação horizontal através da técnica semiautomática de Zacharias (2001).

Figura 22 - Etapas para a construção da carta de dissecação horizontal através da técnica semiautomática de Zacharias (2001).



Fonte: elaborado pelos autores.

A partir da comparação dos mapas resultantes das duas técnicas, foram quantificadas as áreas de concordância e discordância das classes de dissecação horizontal geradas. Dentre as áreas identificadas como divergentes, avaliou-se o grau de discordância por meio da Equação 8.

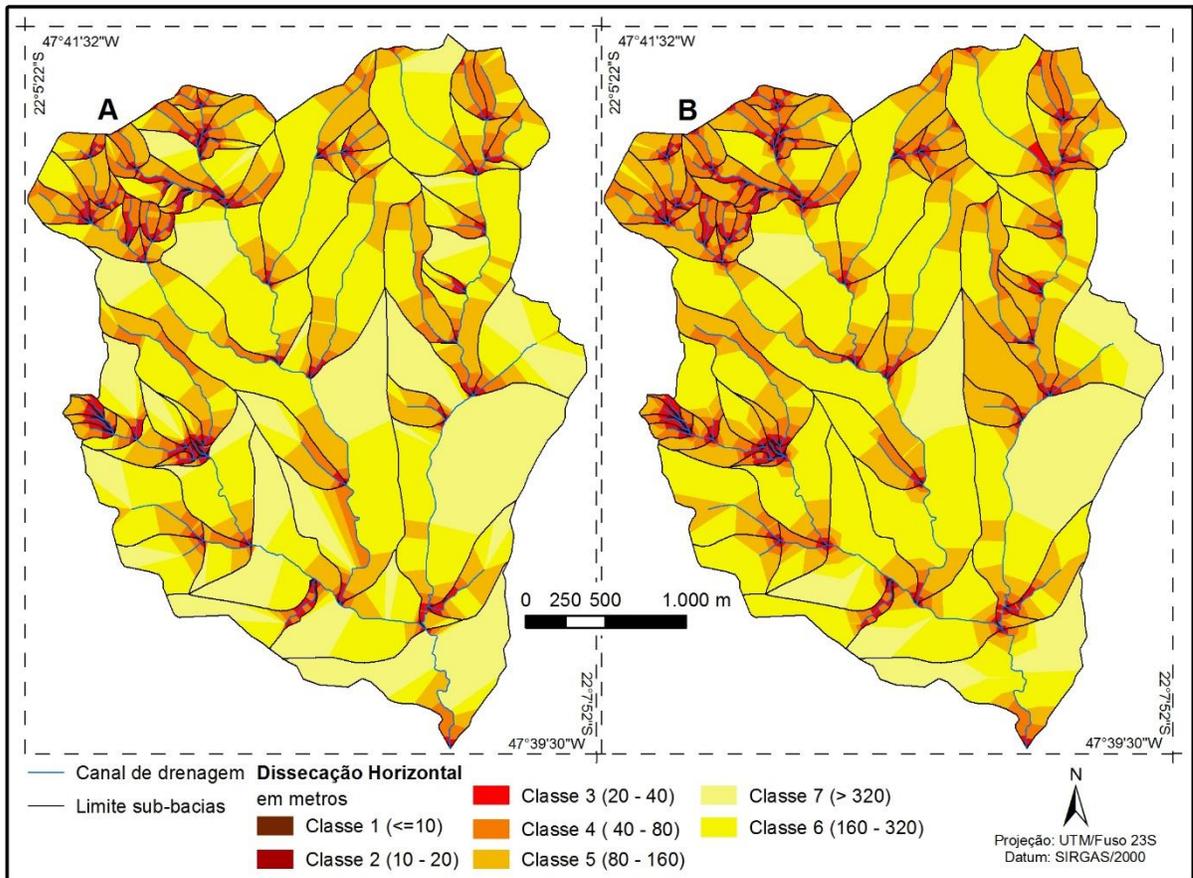
$$\text{Grau de discordância} = |ID_{\text{auto}} - ID_{\text{semi}}| \quad (8)$$

Em que: ID_{auto} é o ID da classe gerada pela técnica automática e ID_{semi} é o ID da classe gerada pela técnica semiautomática.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da figura 23 é possível observar os resultados obtidos através da técnica digital automática de dissecação horizontal (figura 23A) e comparar com o mapa elaborado por meio da técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001) para a área da bacia do Córrego do Cavalheiro (figura 23B). A tabela 3 apresenta a concordância entre as duas técnicas por classe de dissecação horizontal.

Figura 23 - Mapa de dissecação horizontal: A - técnica automática; B - técnica semiautomática (Disponível em maior escala no APÊNDICE A).



Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 3 - Concordância por classe de dissecação horizontal.

Classes de dissecação	Área total em m ² (automático)	Concordância com semiautomático (%)
Classe 1	15473	92,63
Classe 2	55135	90,93
Classe 3	229036	92,11
Classe 4	812890	89,24
Classe 5	1976603	85,14
Classe 6	4077288	80,05
Classe 7	2740552	49,00
Total	9906977	73,59

Fonte: elaborado pelos autores.

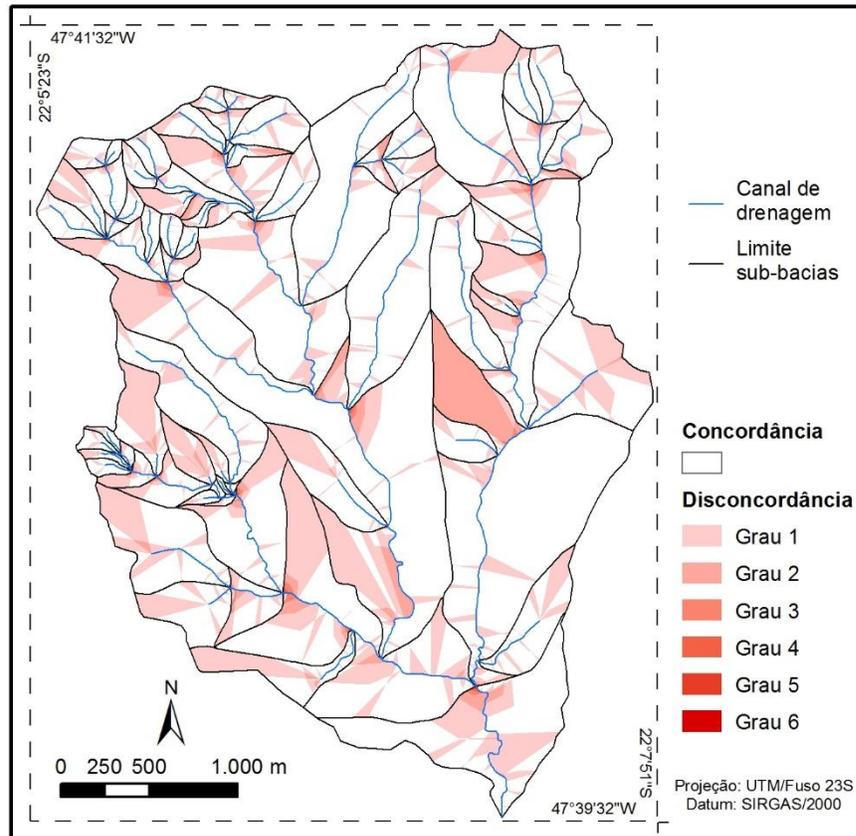
A partir de uma análise quantitativa, observa-se que 73,59% da área da bacia foi classificada com as mesmas classes de dissecação horizontal em ambas as técnicas testadas. Esse elevado valor de concordância atesta que a ferramenta desenvolvida reproduziu satisfatoriamente a técnica semiautomática. A figura 24 ilustra a distribuição das áreas de concordância e discordância resultantes da comparação das duas técnicas e a tabela 4 apresenta a porcentagem de área correspondente a cada grau de discordância.

Tabela 4 - Porcentagem de área correspondente a cada grau de discordância

Grau de discordância	Área em relação ao total da área discordante (%)	Área em relação ao total da área da bacia (%)
Grau 1	85,52	22,59
Grau 2	13,28	3,51
Grau 3	0,94	0,25
Grau 4	0,21	0,05
Grau 5	0,04	0,01
Grau 6	0,01	<0,01
Total	100	26,41

Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 24 - Distribuição das áreas de concordância e discordância resultantes da comparação das duas técnicas (Disponível em maior escala no APÊNDICE B)



Fonte: elaborado pelos autores.

Os 26,41% de áreas discordantes nos mapas ocorreram devido a três principais fatores: 1. a técnica digital automática possibilita uma maior precisão na medição dos ângulos e distâncias estipulados pela metodologia; 2. ambas as técnicas apresentam limitações quanto as áreas de canais sinuosos e optam por diferentes soluções; 3. ambas as técnicas apresentam procedimentos diferentes para as áreas a montante das nascentes e para as áreas de confluências.

Como mostra a tabela 4, as discordâncias de Grau 1 e 2 equivalem a 98,80% do total das áreas discordantes e correspondem a divergências de até duas classes. Esses graus de discordância estão associados principalmente ao fator 1 descrito anteriormente, ou seja, a maior precisão na medição dos ângulos e distâncias, e também ao fator 3, relativo ao procedimento adotado para as áreas de nascentes.

Os Graus de discordância 3, 4, 5 e 6 equivalem a 1,2% do total das áreas discordantes e correspondem a divergências de até seis classes. As áreas identificadas

com esses graus de discordância estão relacionadas essencialmente ao fator 2, relativo as soluções encontradas para o tratamento de áreas com canais sinuosos e também ao procedimento adotado para áreas de confluências citado no fator 3.

A seguir discutem-se mais profundamente os avanços e limitações encontrados no desenvolvimento da técnica digital automática.

Definição das classes de dissecação horizontal

Uma questão problemática da proposta semiautomática, embutida no mapeamento convencional, refere-se à definição das classes de dissecação, as quais devem ser estabelecidas a priori. É necessário realizar uma análise detalhada do espaçamento entre rios e linhas de cumeada para que os limites das classes efetivamente representem a variedade da dimensão dos interflúvios. Considerando que os limites das classes inferiores seguem a orientação de Spiridonov (1981) sobre o menor intervalo possível de ser mapeado, um problema comum pode ocorrer com as classes superiores. A partir do menor intervalo definido, os valores são dobrados a fim de se estabelecer as demais classes. Contudo, o número de classes a ser mapeado e o limite superior da última classe é fixado de acordo com a distância máxima identificada entre o rio e divisor de água na análise da base cartográfica. Desta forma, se tal análise não for rigorosa, duas situações podem ocorrer: a. intervalos de classe pouco representativos, isto é, classes que ocorrem em um número reduzido de setores do mapa; b. generalização dos setores menos dissecados, ou seja, aqueles com maior distância entre a linha de cumeada e o talvegue em função de um número reduzido de classes.

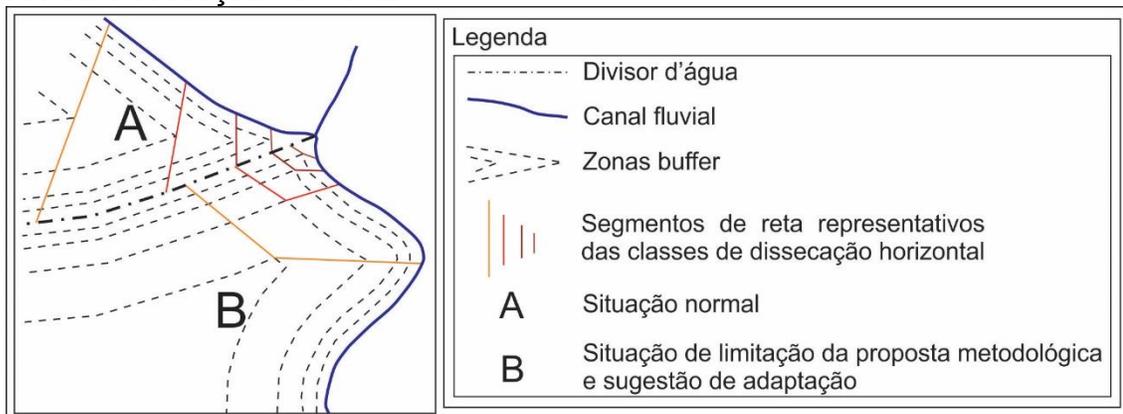
O procedimento automático possibilita a realização de testes que ajudam a solucionar tais situações, visto que a ferramenta digital possibilita experimentar inúmeros intervalos de classe com facilidade e rapidez.

Precisão na classificação da dissecação horizontal

A técnica semiautomática exige do usuário o controle de muitas etapas e assim se encontra sujeita a equívocos, derivados de pequenos detalhes que podem passar despercebidos na medição dos ângulos e distâncias estipulados pela metodologia.

Neste contexto, ressaltam-se as limitações identificadas nos trechos caracterizados por elevada sinuosidade dos cursos fluviais e nas confluências com ângulos abertos. Nestas situações, a delimitação das classes de dissecação horizontal segundo a proposta de Spiridonov (1981) se encontra comprometida, pois se torna impossível digitalizar o segmento de reta com um ângulo aproximado de 90° entre os divisores d'água e os talwegues. Assim, na técnica semiautomática recomenda-se o uso de acutângulos (ângulos inferiores a 90°) no traçado de tais segmentos, atentando-se na manutenção das distâncias reais de cada classe ao longo do processo de digitalização. A figura 25 mostra as referidas situações e a adaptação realizada para conter as distorções nas distâncias equivalentes às classes de dissecação horizontal.

Figura 25 - Situações de limitação da técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001) e a medida adotada para evitar as distorções no estabelecimento das classes de dissecação horizontal.

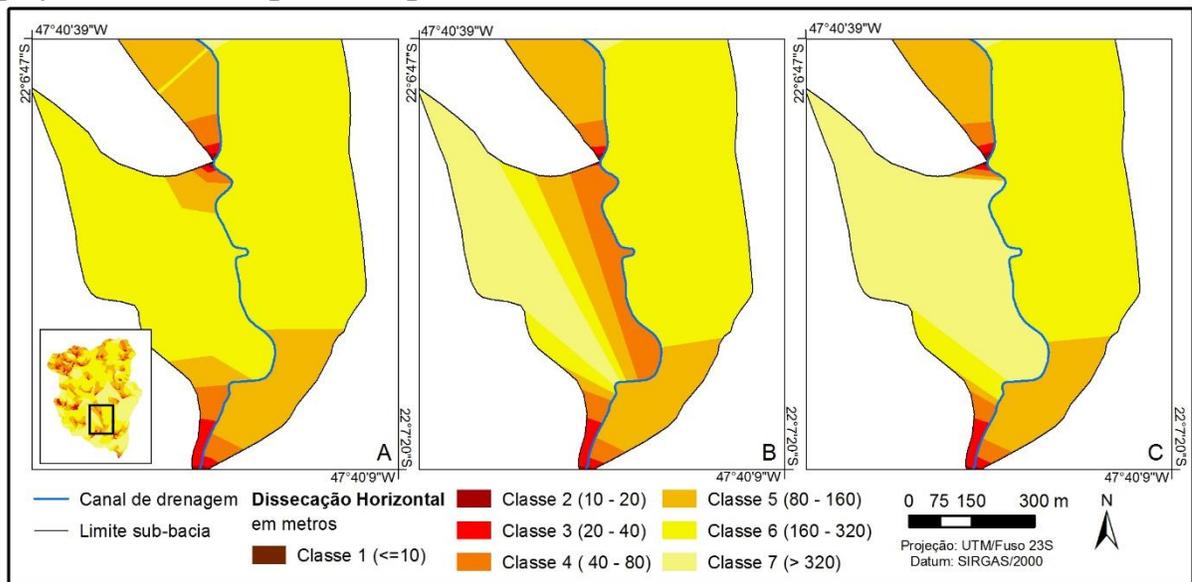


Fonte: elaborado pelos autores.

A técnica digital automática apresenta uma solução alternativa para tais limitações. Para os canais sinuosos, o parâmetro de agrupamento dos segmentos de drenagem é determinante para o traçado das linhas de dissecação com maior precisão. A figura 26 apresenta três resultados para um trecho sinuoso do canal de drenagem. A figura 26A é

resultado da aplicação da técnica semiautomática, em que é possível visualizar as classes geradas a partir da adaptação mostrada na figura 25. As figuras 26B e 269C são resultados da aplicação da técnica automática com parâmetros de agrupamento distintos, equivalentes a 60 e 120 segmentos respectivamente. A análise das figuras 26B e 26C possibilita afirmar que o parâmetro de agrupamento 120 foi o mais adequado para esta situação específica, apesar do parâmetro de agrupamento igual a 60 ter tido um desempenho satisfatório para todo o resto da bacia. Nota-se assim que, quanto maior a sinuosidade do canal, maior deve ser o parâmetro de agrupamento dos segmentos. No entanto, o uso de um parâmetro de agrupamento muito elevado pode comprometer o desempenho da ferramenta em bacias de menor dimensão com sinuosidade elevada.

Figura 26 - Fragmento de mapas de dissecação horizontal com o canal de drenagem sinuoso: A - técnica semiautomática; B - técnica automática com parâmetro de agrupamento dos segmentos igual a 60; C - técnica automática com parâmetro de agrupamento dos segmentos igual a 120.



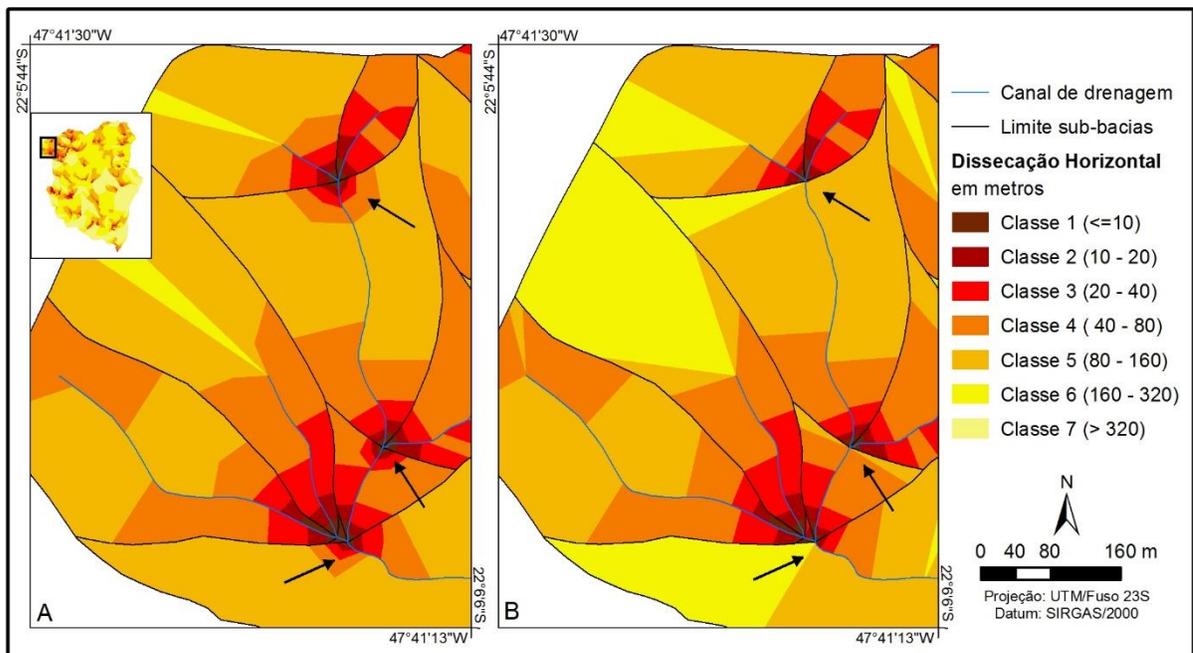
Fonte: elaborado pelos autores.

Em relação às áreas de confluência, as figuras 27A e 27B apresentam, respectivamente, os resultados das aplicações das técnicas semiautomática e automática. Ao observar as confluências destacadas pelas setas, nota-se que a técnica semiautomática superestimou a dissecação horizontal, gerando classes de dissecação elevada em áreas de canal único. O produto gerado pela técnica automática apresentou

um resultado mais coerente, conseguindo delimitar classes de dissecação horizontal mais altas apenas nas áreas de junção de vários canais. Esse fato explica a menor concordância da classe de menor dissecação (Classe 7, 49% - tabela 3) quando ambas as técnicas foram comparadas.

Observando ainda a figura 27 é possível notar algumas diferenças na classificação de áreas a montante das nascentes. Por conseguir medir com maior exatidão a distância entre o canal de drenagem e o limite da bacia, as classes de dissecação foram mais detalhadas e traçadas com maior precisão pela técnica digital automática.

Figura 27 - Fragmento de mapas de dissecação horizontal com elevado número de confluências: A - técnica semiautomática; B técnica automática.



Fonte: elaborado pelos autores.

Tempo para execução dos mapeamentos

O tempo foi contabilizado para ambas as técnicas no desenvolvimento do mapeamento em escala 1:10.000, tendo como área a bacia do Córrego do Cavalheiro, com 30,2km de canais de drenagem e 73 sub-bacias.

A estimativa para o tempo de execução da técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001) totalizou 160 horas de trabalho, que abrangem toda a criação de topologias, zonas buffer e polígonos de dissecação horizontal.

Já a técnica digital automática demandou 4 horas de trabalho para a preparação e ajustes da base de dados e, aproximadamente, 31 horas de processamento para a construção do mapa de dissecação. Nota-se que houve uma redução drástica do tempo total, mas principalmente no tempo de trabalho do pesquisador em si. É importante destacar que esse tempo de processamento foi atingido utilizando um computador com processador Intel Core I7 3.2GHz, com 12 GB de memória RAM e sistema Windows Server 2012.

Replicabilidade

A replicabilidade é um dos princípios básicos da ciência que fica comprometido em grande parte dos procedimentos manuais e semiautomáticos. O fator humano e a subjetividade inerente a sua análise podem limitar a reprodução dos resultados obtidos por outros pesquisadores. No caso da metodologia proposta por Spiridonov (1981) e adaptada por Mauro et al. (1991), o uso do ábaco, mesmo orientado pelos critérios de ângulo e menor distância, gera diferentes interpretações. Os limites das classes podem variar espacialmente, gerando distintos mapas de dissecação horizontal para uma mesma área. Na técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001), o traçado do limite das classes a partir do vértice gerado pelas zonas buffer também implica em certa interpretação do ângulo desses limites, comprometendo a reprodução dos resultados.

No caso da técnica digital automática, a replicabilidade é intrínseca ao uso de algoritmos computacionais. Qualquer pesquisador que utilizar os mesmos dados de entrada obterá resultados iguais graças às regras pré-estabelecidas na ferramenta.

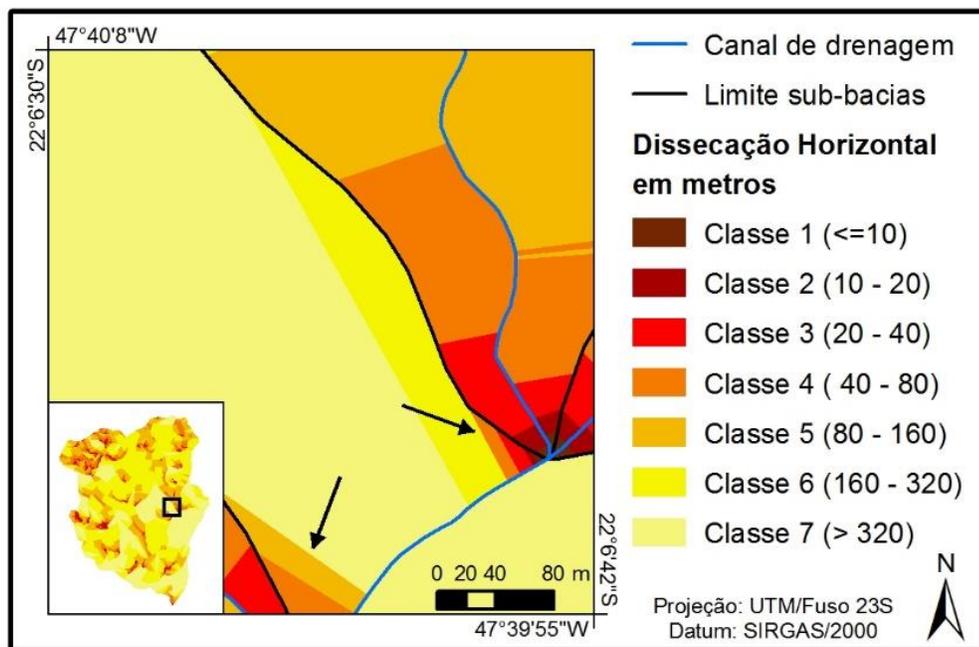
Limitações da técnica automática

Foram identificadas duas principais limitações na aplicação da técnica digital automática. A primeira trata-se de seu desempenho em trechos sinuosos dos canais de

drenagem. Como já discutido no item 4.2, a ferramenta apresenta resultados pouco satisfatórios para canais muito sinuosos, pois o processamento dos dados está relacionado a uma variável que não pode ser determinada diretamente em função da escala, podendo variar para determinadas sub-bacias. Um modo de reduzir essa limitação seria processando individualmente as sub-bacias que apresentarem esse tipo de problema ou ainda empregando um parâmetro de agrupamento mais adequado.

A segunda limitação identificada refere-se aos trechos onde ocorre a ausência de determinadas classes de dissecação em função da forma da bacia e posição do canal de drenagem. Na figura 28 é possível observar dois trechos onde as classes não seguem uma sequência completa, pois a menor linha perpendicular à drenagem não pertencera a classe vizinha àquela do segmento anterior.

Figura 28 - Fragmento do mapa de dissecação horizontal elaborado através da técnica automática - Destaque para o problema de intervalos de classe.



Fonte: elaborado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissecação horizontal constitui-se em um parâmetro morfométrico que utiliza como princípio o entendimento que a proximidade entre os cursos fluviais implica em

maior potencialidade para a movimentação dos materiais constituintes do relevo ao considerar que o rio atua como um agente contínuo de erosão, deposição e transporte de sedimentos. Assim, o sistema de canais de drenagem é considerado como elemento que pode promover a desestabilização dos terrenos. A partir desse princípio, o mapeamento de tal parâmetro pode auxiliar na avaliação da suscetibilidade do relevo ao desencadeamento de processos morfogênicos. Os resultados apontam que as classes mais fortes ocorrem em toda confluência, até mesmo dos pequenos cursos fluviais, e em nascentes muito próximas à linha de cumeada. Assim, recomenda-se sua elaboração quando se fazem necessários dados com grande nível de detalhe, a fim de identificar cada setor da área estudada que apresenta maior concentração de cursos fluviais e/ou nascentes em posicionamento que indicam possíveis futuras capturas.

Conforme evidenciado pelos resultados, a ferramenta elaborada neste trabalho se mostrou eficaz para o mapeamento da dissecação horizontal, viabilizando a aplicação da técnica em grandes áreas com ganho significativo de tempo. Por fim, evidencia-se o aumento da confiabilidade nos dados advindos deste documento cartográfico, em razão da qualidade gráfica no resultado final e da maior precisão no seu processo de elaboração, especialmente pela possibilidade de realizar correções e testes dos dados introduzidos na plataforma do **software**.

Agradecimentos

Às bolsas de doutorado concedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos no 165930/2013-6 e no 165931/2013-2 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2012/20513-0.

Referências

- AB'SABER, A. N. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 1, p. 3-21, 1949.
- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 1-23, 1969.

- DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. K.; PIKE, R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico. **Zeitschrift für Geomorphologie Supplements**, Berlim, v. 101, p. 109-126, 1995.
- EHSANI, A. H.; QUIEL, F. Geomorphometric feature analysis using morphometric parameterization and artificial neural networks. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 99, n. 1-4, p. 1-12, 2008.
- ESRI. **ArcGIS 10.2.1 for Desktop**. Redlands: ESRI, 2013. Cópia digital.
- EVANS, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). **Spatial analysis in geomorphology**. New York: Harper and Row, 1972. p.17-90.
- FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da depressão periférica paulista e cuesta basáltica**: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP. 2000. 222f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.
- FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: FLORENZANO, T. G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 105-128.
- GHIMIRE, M. Multivariate morphological characteristics and classification of first-order basins in the Siwaliks, Nepal. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 204, p. 192–207, 2014.
- IBGE. **Noções básicas de cartografia**. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 130p.
- JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 182, p. 147-156, 2013.
- MARK, D. M.; ARONSON, P. B. Scale-dependent fractal dimensions of topographic surfaces: an empirical investigation, with applications in geomorphology and computer mapping. **Journal of the International Association for Mathematical Geology**, New York, v. 16, n. 7, p. 671-683, 1984.
- MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; BOVO, R.; TELES, A. P. S. S.; CARVALHO, M. B., S.; PICARELLI, A.; MELO, A. M. M. Contribuição ao planejamento ambiental de Cosmópolis – SP – BR. In: ENCUENTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 3., 1991, Toluca. **Resumos...**Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México, 1991. p. 391-419.
- MELO, M. S. **A formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na depressão periférica paulista**. 1995. 144 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MINÁR, J.; EVANS, I. S. Elementary forms for land surface segmentation: the theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 95, n. 3-4, p. 236-259, 2008.

MORSE, S. P. A Mathematical model for the analysis of contour-line data. **Journal of the Association for Computing Machinery**, New York, v. 15, n. 2, p. 205-220, 1968.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. 1968. 86f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1968.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 141p.
PEUCKER, T. K.; DOUGLAS, D. H. Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data. **Computer graphics and image processing**, New York, v. 4, n. 4, p. 375-387, 1975.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais. **Folha geológica de Corumbataí (Folha SF-23-Y-A-I-2)**: Formações Geológicas de Superfície. São Paulo: Instituto Geológico, 1984. Escala 1:50.000.

SILVA, G. da; PINTO, A. L. Aprimoramento de metodologias e técnicas cartográficas de mapeamento morfológico - estudo de caso: a bacia do córrego Fundo, Aquidauana, MS. In: **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, 1., 2006, Campo Grande. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006, p. 949-958.

SPIRIDONOV, A.I. **Princípios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de la Habana, 1981. Vol. 3, 650p.

STEINKE, V. A.; SANO, E. E. Semi-automatic identification, GIS-based morphometry of geomorphic features of Federal District of Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 3-9, 2011.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965. 496p.

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias convencionais e digitais para a elaboração de cartas morfométricas do relevo**. 2001. 166f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

5.2 Artigo Experimento 2 – Trabalho aprovado para publicação na Revista Brasileira de Cartografia em 01/06/2015

A CARTOGRAFIA DA DISSECAÇÃO VERTICAL PARA AVALIAÇÃO DO RELEVO: PROPOSTA DE TÉCNICA AUTOMÁTICA

The cartography of vertical dissection to evaluate the relief: a proposal of an automatic technique

Mateus Vidotti Ferreira¹

Thais Minatel Tinós²

Leandro de Godoi Pinton³

Cenira Maria Lupinacci⁴

RESUMO

A análise das variáveis geomorfométricas fornece dados quantitativos que permitem uma avaliação da potencialidade morfogenética dos terrenos. A dissecação vertical se destaca como uma variável que representa a altitude relativa do relevo, refletindo seu grau de entalhamento. Essa variável é de extrema relevância para a identificação de áreas mais susceptíveis a ações gravitacionais e, portanto, mais frágeis aos processos denudativos. Tradicionalmente, a obtenção de dados de dissecação vertical era um trabalho moroso, mas com a evolução das técnicas digitais, a análise dessa variável pode ser tornar mais rápida e precisa. O objetivo desse artigo é apresentar e discutir uma nova técnica automática desenvolvida em meio digital para a aquisição de dados da dissecação vertical do relevo. A fim de avaliar os resultados, é apresentada ainda uma análise comparativa com um mapeamento elaborado de forma semiautomática. A área de estudo abarca a bacia hidrográfica do Córrego do Cavalheiro (Analândia - SP) e a escala trabalhada é de 1:10.000. Os resultados obtidos demonstram que a técnica automática proposta neste trabalho se mostrou vantajosa para o mapeamento da dissecação vertical perante a técnica semiautomática. A nova técnica proporcionou um ganho significativo

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: mateusvidotti@yahoo.com.br

² Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: thaistinos@gmail.com

³ Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: lgpgeo@yahoo.com.br

⁴ Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: cenira@rc.unesp.br

de tempo, replicabilidade e confiabilidade devido ao uso de algoritmos computacionais, que minimizam a subjetividade inerente aos processos analógicos.

PALAVRAS CHAVES: análise morfométrica, mapeamento automático, bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The analysis of geomorphometric variables provides quantitative data that allows an assessment of the morphogenetic potential of the land. The vertical dissection is one of the most important variables to represent the relative altitude of the relief, reflecting its incision. This variable is extremely important to identify areas which are more susceptible to gravitational and erosional processes as well. Obtaining vertical dissection data used to be a lengthy process, but with the evolution of digital techniques, this analysis is faster and accurate. The objective of this paper is to present and discuss a new automatic technique to obtain vertical dissection data regarding the relief. A comparative analysis with a semi-automatic mapping was also performed. The study area is the Cavalheiro Stream Basin – Analândia city (SP), on scale of 1:10.000. The results showed that the automatic technique is more appropriate for vertical dissection mapping than the semi-automatic technique. The new technique allows the application with significant savings in time, replicability and reliability due to the use of computational algorithms which minimize the inherent subjectivity of analogical processes.

KEYWORDS: morphometric analysis, automatic mapping, watershed.

INTRODUÇÃO

A análise das variáveis geomorfométricas fornece dados quantitativos que permitem uma avaliação hierárquica da potencialidade da geometria do relevo de ambientes qualitativamente distintos para o desenvolvimento de processos morfogenéticos. Horton (1945), Strahler (1964), Tricart (1965), Evans (1972) e Christofolletti (1980), entre outros importantes pesquisadores, consideram os dados geomorfométricos de extrema relevância na avaliação do relevo e os empregam como pilares em seus estudos geomorfológicos. Desde o surgimento da geomorfometria, a obtenção de tais dados caracterizava-se por tarefa lenta e trabalhosa devido a necessidade de análise minuciosa das curvas de nível, assim como da distribuição da rede de canais de drenagem, a fim de mensurar as amplitudes das elevações do relevo.

Na década de 1960, o desenvolvimento tecnológico dos computadores promoveu a introdução de técnicas digitais na obtenção e análise dos dados geomorfométricos. A possibilidade de simular digitalmente métodos de medição de variáveis topográficas se

tornou uma perspectiva de grande interesse no contexto da modelagem de dados do meio físico em sistemas de informação geográfica (VALERIANO, 2008). King (1969) foi um dos pioneiros no emprego de uma técnica de análise de tendência de superfície baseada em dados digitais no estudo de superfícies de erosão. Evans (1972) introduziu pela primeira vez um sistema integrado de geomorfometria, focado principalmente em dados derivados da altitude. Pike (1988) utilizou um modelo digital de elevação (MDE) para investigar a assinatura geométrica dos diferentes tipos de terreno. Nesta mesma perspectiva, Dikau et al. (1995) realizaram uma classificação automática do relevo baseada em dados morfométricos derivados de MDEs. Além da evolução tecnológica, o desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de análise morfométrica do relevo em ambiente computacional foi motivado pelo interesse em superar a subjetividade relativa às interpretações realizadas manualmente.

Recentemente, os novos algoritmos e *softwares* desenvolvidos para calcular atributos do relevo possibilitaram um importante progresso na melhoria da precisão altimétrica. Destacam-se os trabalhos de Dinesh et al. (2012), que criaram um software para a análise de vários parâmetros morfométricos relativos a bacia de drenagem; De Reu et al. (2013), que aplicaram um algoritmo de índice de posição topográfica (*topographic position index* – TPI) para uma classificação automática do relevo; Jasiewicz e Stepinski (2013), que realizaram análises semiautomáticas de dados morfométricos para o reconhecimento de padrões de formas do relevo através de MDEs e; Ghimire (2014) que identificou e analisou um grupo de variáveis morfométricas para a classificação de bacias hidrográficas de primeira ordem.

De forma geral, apesar de toda evolução tecnológica em ambiente digital, verifica-se que os inúmeros trabalhos produzidos atualmente apresentam alguns problemas relativos à definição e cálculo de parâmetros morfométricos. Há ainda divergência quanto aos parâmetros mais relevantes para cada tipo de terreno. Além disso, o aumento do número de parâmetros e de técnicas estatísticas para seus cálculos tornam as análises muito mais complexas.

A dissecação vertical, que representa a altitude relativa do relevo, é um dos parâmetros que gera muita divergência quanto à forma de calculá-lo. Evans (1972) apresentou uma importante discussão sobre as possibilidades de cálculo da dissecação

vertical. O autor afirma que é consenso utilizar a amplitude altimétrica, mas existe variação e elevado grau de subjetividade na definição da unidade espacial a ser considerada. Evans (1972) atribuiu relevância ao método baseado em quadrículas regulares, que apesar da subjetividade na definição de seu tamanho, é considerado como simples e prático de ser utilizado. Podem ser destacados os seguintes trabalhos que utilizaram malhas de quadrículas regulares: Hammond (1954, 1964), Hubp (1988), Dikau, Brabb e Mark (1991), Grohmann et al. (2007), Berti et al. (2013), entre outros.

Na década de 1980, Spiridonov (1981) desenvolveu uma metodologia para a elaboração de cartas de dissecação vertical a qual utiliza os limites das bacias hidrográficas como unidade espacial de análise, abandonando o uso de quadrículas. O primeiro passo proposto pelo autor é a delimitação das bacias e sub-bacias de drenagem em uma base topográfica. A seguir, assinalam-se todos os pontos nos quais as curvas de nível interceptam o canal fluvial, e a partir de cada um desses traçam-se as linhas de maior queda da vertente, ou seja, a menor distância entre o talvegue e o divisor de água. Por fim, assinala-se em cada uma dessas linhas um ponto de cruzamento com as curvas de nível e, assim, através de pontos com altitude relativa similar, traçam-se isolinhas de altitude. As faixas geradas representariam as classes de dissecação vertical.

No Brasil, a metodologia de Spiridonov (1981) passou por uma adaptação proposta por Mauro et al. (1991). A primeira etapa foi mantida com a delimitação da bacia e sub-bacias, assim como a identificação de pontos nos quais as curvas de nível interceptam o canal fluvial. Na etapa seguinte, o autor sugere o traçado de segmentos de reta sobre as linhas de maior declividade que se prolongam até o divisor de água. Trata-se, portanto, da menor distância desde o ponto do canal de drenagem seccionado pela curva de nível até o divisor de água.

A partir do trabalho de Mauro et al. (1991), muitos estudos foram desenvolvidos no país utilizando esta metodologia. Dentre tais trabalhos, destaca-se o desenvolvido por Zacharias (2001), pois esse foi o primeiro a propor uma semiautomatização da metodologia em ambiente digital por meio de uma plataforma *Computer-aided design* (CAD). O armazenamento destas informações em meio digital trouxe um grande ganho de operacionalidade, pois possibilitou aos usuários a realização de alterações dos dados em qualquer etapa do trabalho. No entanto, a metodologia continuava morosa e sujeita a

imprecisões relacionadas à interpretação e utilização de procedimentos manuais. Desde então, não houve avanços metodológicos nesta área.

O objetivo deste artigo é apresentar uma técnica automática para o mapeamento da dissecação vertical do relevo com base na adaptação de Mauro et al. (1991) da proposta de Spiridonov (1981). Os resultados serão avaliados por meio da comparação com os dados gerados pela técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001).

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Córrego do Cavalheiro localiza-se entre as coordenadas geográficas de 22°05'36" e 22°07'58" de latitude Sul e 47°39'14" e 47°41'28" de longitude Oeste, possuindo uma área de 9,9 km², 30,2km de canais de drenagem e 73 sub-bacias (figura 29). A bacia engloba uma área de nascentes do rio Corumbataí, sendo esse de grande importância regional devido ao seu potencial hídrico para abastecimento dos municípios de Analândia, Corumbataí, Rio Claro e Piracicaba.

A área de estudo situa-se na maior unidade geológica do Estado de São Paulo – a Bacia Sedimentar do Paraná, sendo disposta na transição entre a Depressão Periférica Paulista, mais especificamente na unidade designada de Zona do Médio Tietê (ALMEIDA, 1964), e as *Cuestas Areníticas-Basálticas*.

As peculiaridades deste pacote vulcânico sedimentar, caracterizado pela presença de rochas basálticas mais resistentes que as sedimentares sotopostas, “[...] permitiram o desenvolvimento da erosão diferencial, originando ampla escavação que constitui a Depressão Periférica, bem como as escarpas das linhas de Cuesta” (IPT, 1981). Ab’Saber (1969) avigora tal conjectura ao discutir a sequência de eventos associados ao processo de circundesnudação de idade pós-cretácea ocorrido nas margens da Bacia Sedimentar do Paraná. Além disso, evidencia-se a existência de estudos que atrelam a morfogênese de ambos os compartimentos à influência da morfotectônica (PENTEADO, 1968, 1974; FACINCANI, 2000).

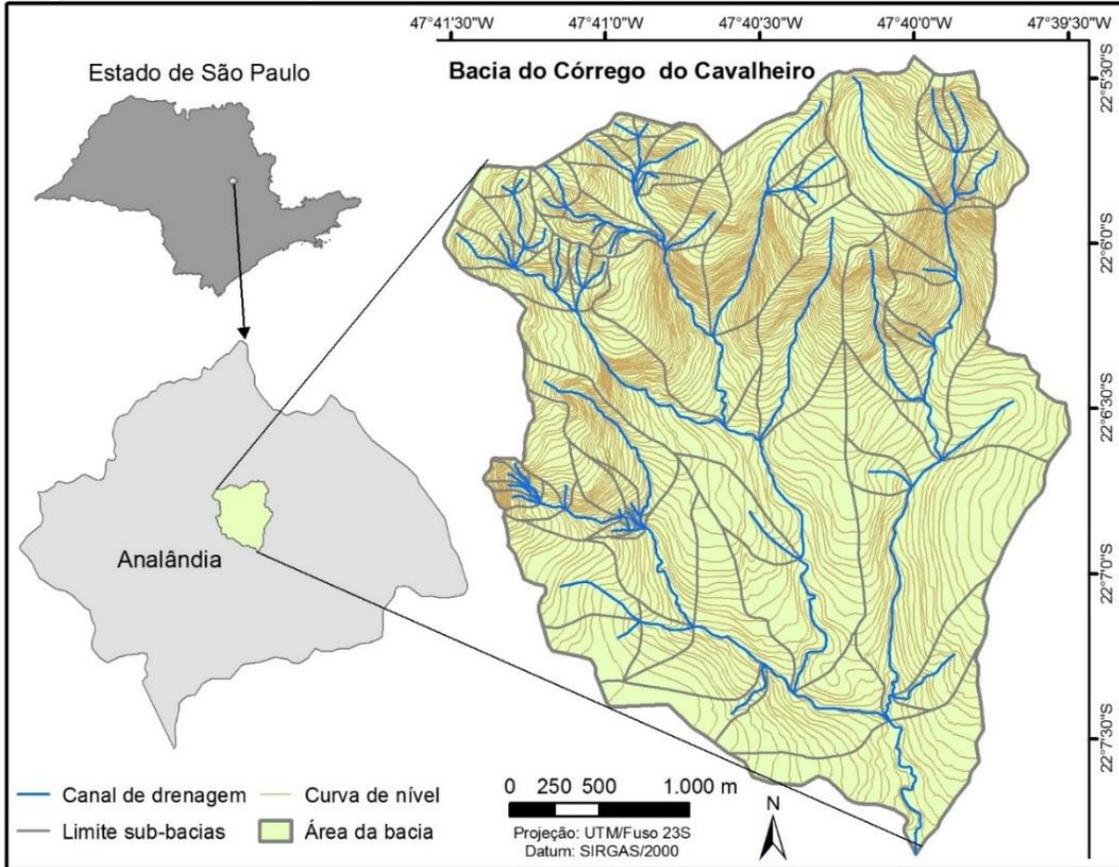
De forma geral, os indícios da organização litoestratigráfica da referida unidade geológica em tais compartimentos geomorfológicos denotam a existência de distintas formações litológicas, depositadas desde o Mesozoico ao Cenozoico (SÃO PAULO,

1984). Em relação ao Mesozoico, encontram-se as formações pertencentes ao Grupo São Bento - Pirambóia, Botucatu e Serra Geral - e, ainda, a formação Itaqueri. No que se refere às litologias datadas do Cenozoico, encontra-se apenas a formação Santa Rita do Passa Quatro.

A composição litológica e a evolução morfogenética dos compartimentos que envolvem a bacia do Córrego do Cavalheiro imprimiram a sua diversidade de feições geomorfológicas, a qual se constituiu no objeto do mapeamento deste estudo.

De acordo com Ross e Moroz (1997), a Zona do Médio Tietê da Depressão Periférica é caracterizada pelo predomínio de formas denudacionais, com modelados de topos convexos, vales com entalhamento preferencial até 20m e dimensão interfluvial que varia de 750 a 3750m. Já o trecho das *Cuestas Areníticas-Basálticas*, enquadrado por tais autores no Planalto Residual de São Carlos, é formado basicamente por colinas de topos convexos e tabulares, contendo vales entalhados com variação de 20 a 80m e dimensão interfluvial média de 250 a 3750m. Ressalta-se que estes atributos implicam na definição de fragilidades potenciais a deflagração de processos erosivos lineares em ambos os compartimentos (ROSS; MOROZ, 1997).

Figura 29 - Localização da Bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP).



Fonte: elaborado pelos autores.

MATERIAIS E MÉTODOS

A base cartográfica utilizada nesta pesquisa constitui-se de cartas topográficas executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia - na escala de 1:10.000. A bacia do Córrego do Cavalheiro compreende as folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E), datadas do ano de 1979.

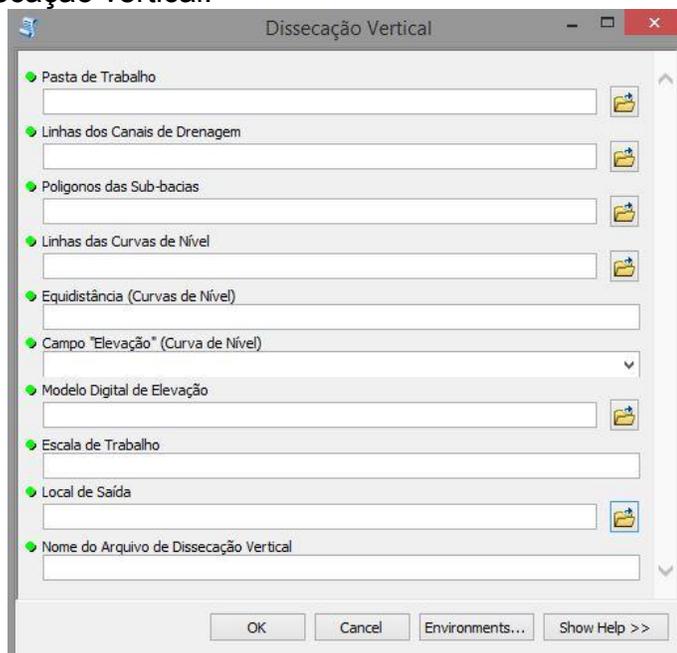
Os limites das sub-bacias, identificados através da interpretação das cartas topográficas, e os seus respectivos canais de drenagem foram empregados nos procedimentos descritos a seguir para a obtenção da dissecação vertical pelo método automático e semiautomático.

Método automático

O procedimento automático proposto neste artigo é baseado em uma ferramenta específica desenvolvida a partir da linguagem de programação Python e os ArcObjects, que representam um conjunto de modelos de dados geográficos básicos, e oferecem serviços para suporte e construção de soluções na plataforma ArcGIS. A plataforma empregada foi o ArcGIS Desktop 10.2.2 (ESRI, 2014), nível de licença ArcInfo e extensões *3D Analyst* e *Spatial Analyst*. A ferramenta encontra-se disponível para download no link <http://1drv.ms/1DA98OJ>.

O objetivo do método automático é gerar polígonos que representem a dissecação vertical do relevo. Os polígonos são delimitados a partir das curvas de nível, canais de drenagem e linhas retas que conectem um ponto, definido a partir da intersecção do canal de drenagem com a curva de nível, ao ponto mais próximo da borda da sub-bacia com cota igual ou superior àquela do ponto inicial. A ferramenta representa uma automatização da adaptação de Mauro et al. (1991) da proposta de Spiridonov (1981). A sua interface pode ser observada na figura 30.

Figura 30 - Interface da ferramenta criada para a execução da técnica digital automática de dissecação vertical.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados espaciais de entrada na ferramenta são os polígonos das sub-bacias, as linhas dos canais de drenagem e curvas de nível, e um modelo digital de elevação (MDE) em formato raster. É importante que as linhas dos canais de drenagem estejam com os pontos finais posicionados a jusante e que o MDE tenha sido preferencialmente produzido por meio da interpolação dos mesmos dados de entrada. Ademais, é necessário informar a escala dos dados de entrada, visto que parâmetros internos de processamento estão vinculados a essa informação.

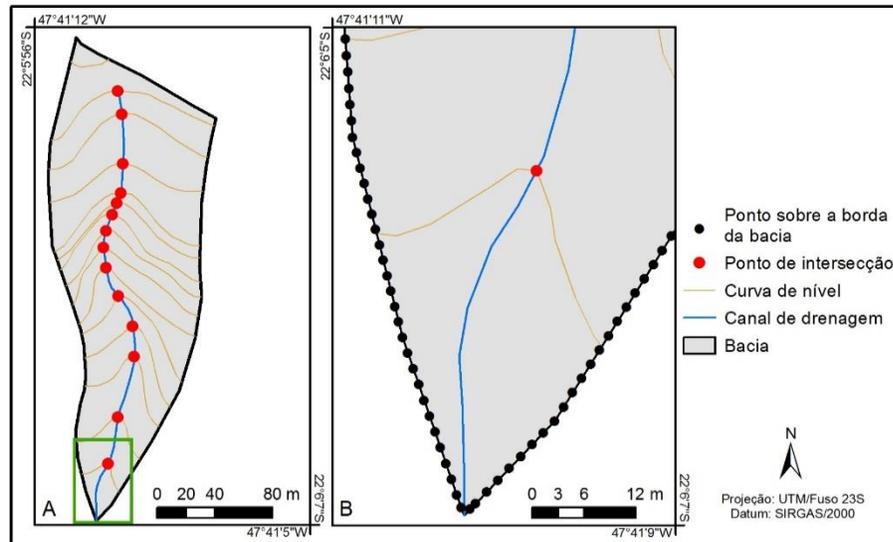
A seguir são descritos os passos realizados pela ferramenta para a obtenção de dados da dissecação vertical do relevo.

Passo 1: Inicialmente, todos os dados de entrada são recortados na área de cada sub-bacia. Na sequência, executam-se os **Passos de 2 a 11** para cada uma das sub-bacias.

Passo 2: Por meio da intersecção das curvas de nível com os canais de drenagem geram-se os pontos iniciais das linhas de dissecação vertical (figura 31A). Para cada ponto de intersecção é calculado o azimute do trecho do segmento dos canais de drenagem ao qual o ponto pertence.

Passo 3: Pontos equidistantes são criados sobre a borda da sub-bacia, sendo esses candidatos a pontos finais das linhas de dissecação vertical. A distância entre esses pontos é definida em função do parâmetro de escala informado pelo usuário (figura 31B).

Figura 31 - Dissecação vertical automática: A - Pontos de intersecção das curvas de nível com os canais de drenagem; B - Detalhe dos pontos criados sobre a borda da sub-bacia.

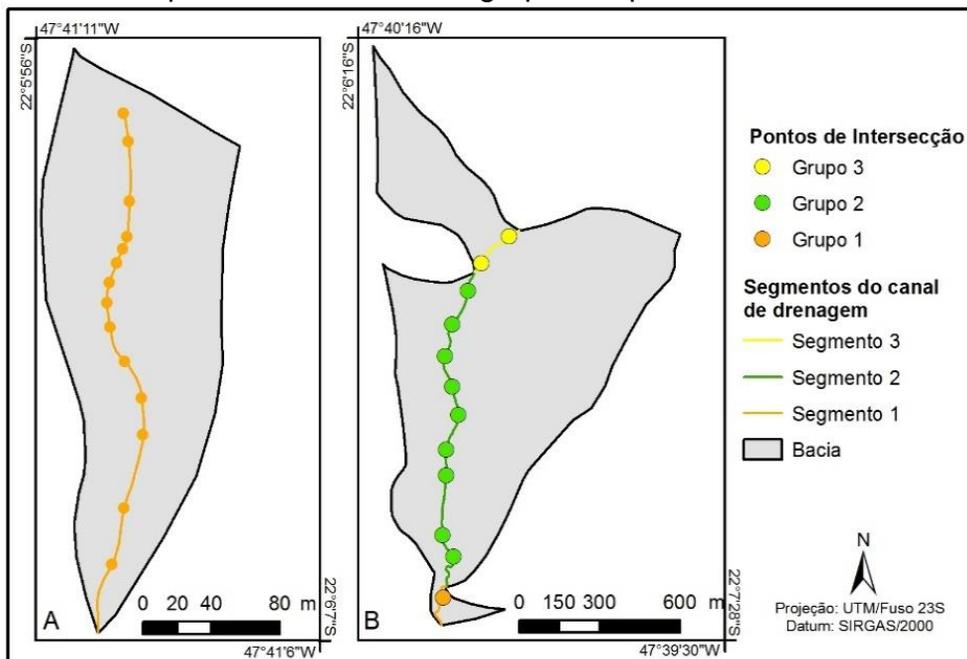


Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 4: Inicia-se o processamento individual de cada ponto de intersecção criado no **Passo 2** para encontrar as linhas de dissecação vertical. Para determinar a ordem de processamento dos pontos, esses são divididos em grupos. Cada intersecção do canal de drenagem com a borda da sub-bacia gera uma divisão na linha do canal de drenagem e, conseqüentemente, delimita um novo grupo de pontos. Essa sequência de processamento dos pontos é fundamental para garantir uma melhor relação espacial entre as linhas de dissecação que serão criadas.

A figura 32 exemplifica essa divisão para duas sub-bacias, sendo um caso para único grupo gerado (figura 32A), e outro exemplo em que foram gerados 3 grupos de pontos (figura 32B).

Figura 32 - Dissecação vertical automática: A – Exemplo de bacia com um grupo de pontos; B – Exemplo de bacia com três grupos de pontos.



Fonte: elaborado pelos autores.

Cada grupo de pontos é processado das extremidades do segmento do canal de drenagem para o centro do mesmo de forma alternada, ou seja, inicia-se com o ponto de cota mais baixa do grupo, em seguida processa-se o ponto de cota mais alta e depois o segundo ponto de cota mais baixa e assim sucessivamente.

Os procedimentos para a construção e escolha das linhas de dissecação vertical de cada ponto serão descritos nos passos seguintes.

Passo 5: Ao considerar o ponto vermelho destacado na figura 33A como referência, cria-se um arquivo com as linhas candidatas a reta representativa de dissecação vertical. Essas linhas ligam o ponto selecionado a todos àqueles do limite da bacia (figura 33A). Calcula-se o azimute geográfico para cada uma das linhas.

Passo 6: Considerando a relação entre o azimute de cada linha candidata e a direção do segmento do canal de drenagem a qual o ponto pertence, busca-se identificar as linhas que apresentem maior paralelismo ao segmento do canal de drenagem. Essas linhas gerariam classes irreais de dissecação vertical e precisam ser excluídas. Assim, todas as linhas candidatas que formam um ângulo menor que 10° em relação ao segmento do canal de drenagem são descartadas.

Passo 7: Aplicam-se então os seguintes procedimentos para encontrar a melhor linha de dissecação vertical a direita e a esquerda do canal de drenagem:

- Dentre as linhas candidatas, excluem-se aquelas que:
 - cruzam o canal de drenagem;
 - cruzam o limite da bacia;
 - cruzam as curvas de nível com cota inferior ao ponto de intersecção;
 - cruzam a curva de nível com cota igual ao ponto de intersecção. Para este caso é elaborado um buffer no ponto de intersecção, o qual é utilizado para apagar um trecho da curva de mesma cota, sendo essa empregada para realizar a consulta espacial. Esse procedimento é necessário para não restringir em excesso as opções de linhas candidatas;
 - interceptam linhas de dissecação vertical de outros pontos;

O exemplo da aplicação dos **Passos 6 e 7** pode ser observado na figura 33B.

Passo 8: Utilizando a mesma relação entre a direção do segmento do canal de drenagem e o azimute das linhas candidatas indicada no Passo 6, encontram-se as linhas que estão à direita e a esquerda do ponto sobre o canal de drenagem;

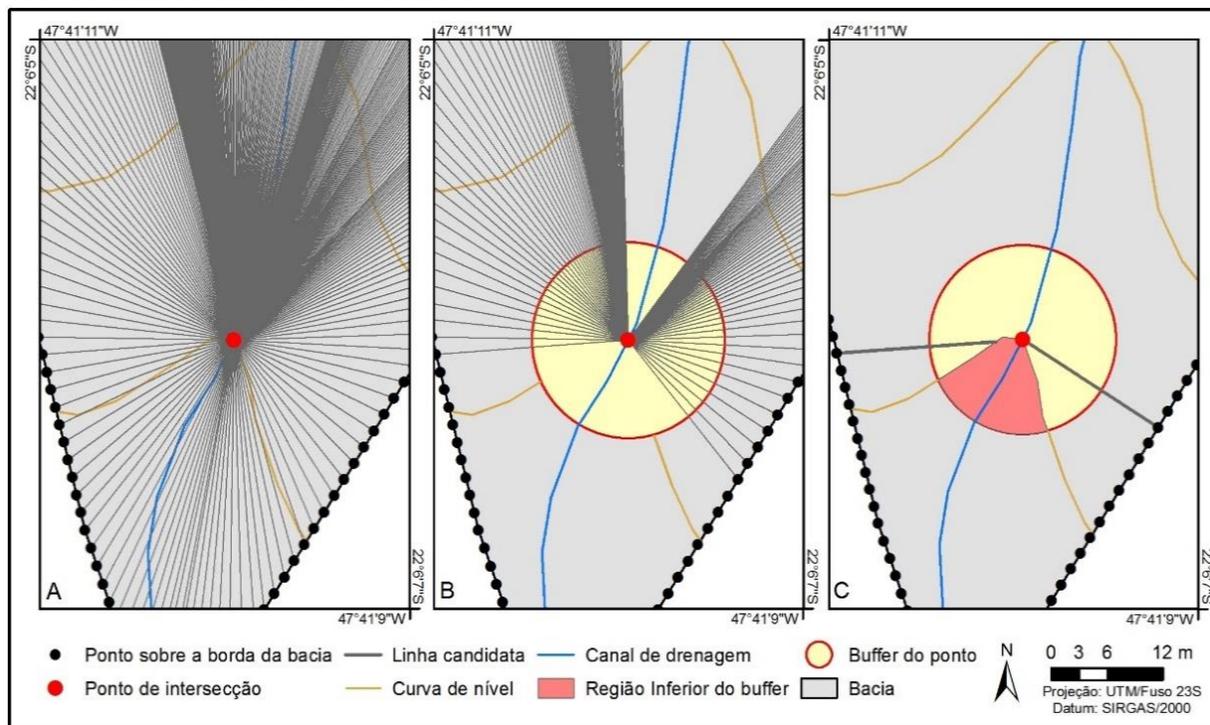
- seleciona-se a linha que apresente o menor comprimento entre o canal de drenagem e o limite da bacia a direita e a esquerda;
- por fim, são apagados trechos das linhas que tenham sobreposição com a região inferior (em relação a curva de nível) do buffer empregado em uma das etapas do **Passo 7**.

O exemplo da aplicação do **Passo 8** pode ser observado na figura 33C.

Passo 9: Repetem-se então os **Passos de 5 a 8** para cada um dos pontos de intersecção restantes (figura 34A).

Passo 10: As zonas de dissecação (figura 34B) são criadas utilizando as linhas de dissecação vertical, a linha do canal de drenagem e o polígono da bacia, sendo posteriormente utilizadas para o cálculo da dissecação vertical. Os polígonos de dissecação (figura 34C), por sua vez, são criados a partir das zonas de dissecação e curvas de nível.

Figura 33 - Dissecação vertical automática: A - Linhas candidatas a linha de dissecação vertical do ponto selecionado; B - Linhas candidatas selecionadas pelos critérios estabelecidos nos **Passos 6 e 7**; C - Linhas candidatas selecionadas pelos critérios estabelecidos no **Passo 8**.

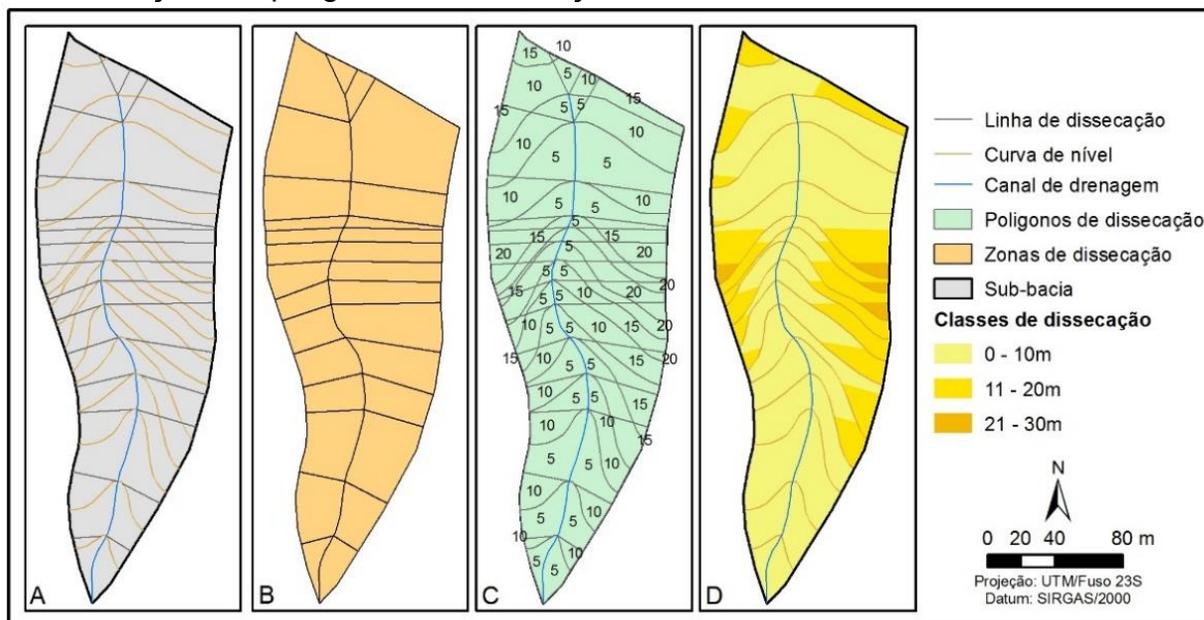


Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 11: Inicia-se a seleção dos polígonos de dissecação que estão contidos em uma das zonas de dissecação. Dentre os polígonos selecionados, identificam-se aqueles que contenham pelo menos um segmento do canal de drenagem em seu interior. Para esses polígonos é assinado que a dissecação vertical máxima é o valor de equidistância das curvas de nível. Na sequência, são selecionados os polígonos que compartilham a borda com os polígonos já calculados. Para esses polígonos é assinado que a dissecação vertical é duas vezes a equidistância entre as curvas de nível e assim sucessivamente, até calcular a dissecação para todos os polígonos. Repete-se então o **Passo 11** para todas as demais zonas de dissecação.

A figura 34C apresenta os polígonos criados com indicação da dissecação vertical calculada e a figura 34D apresenta uma possível classificação para esses polígonos com intervalo de 10m.

Figura 34 - Dissecação vertical automática: A – Linhas de dissecação vertical selecionada; B – Zonas de dissecação vertical; C – Polígonos de dissecação vertical; D – Classificação dos polígonos de dissecação vertical.



Fonte: elaborado pelos autores.

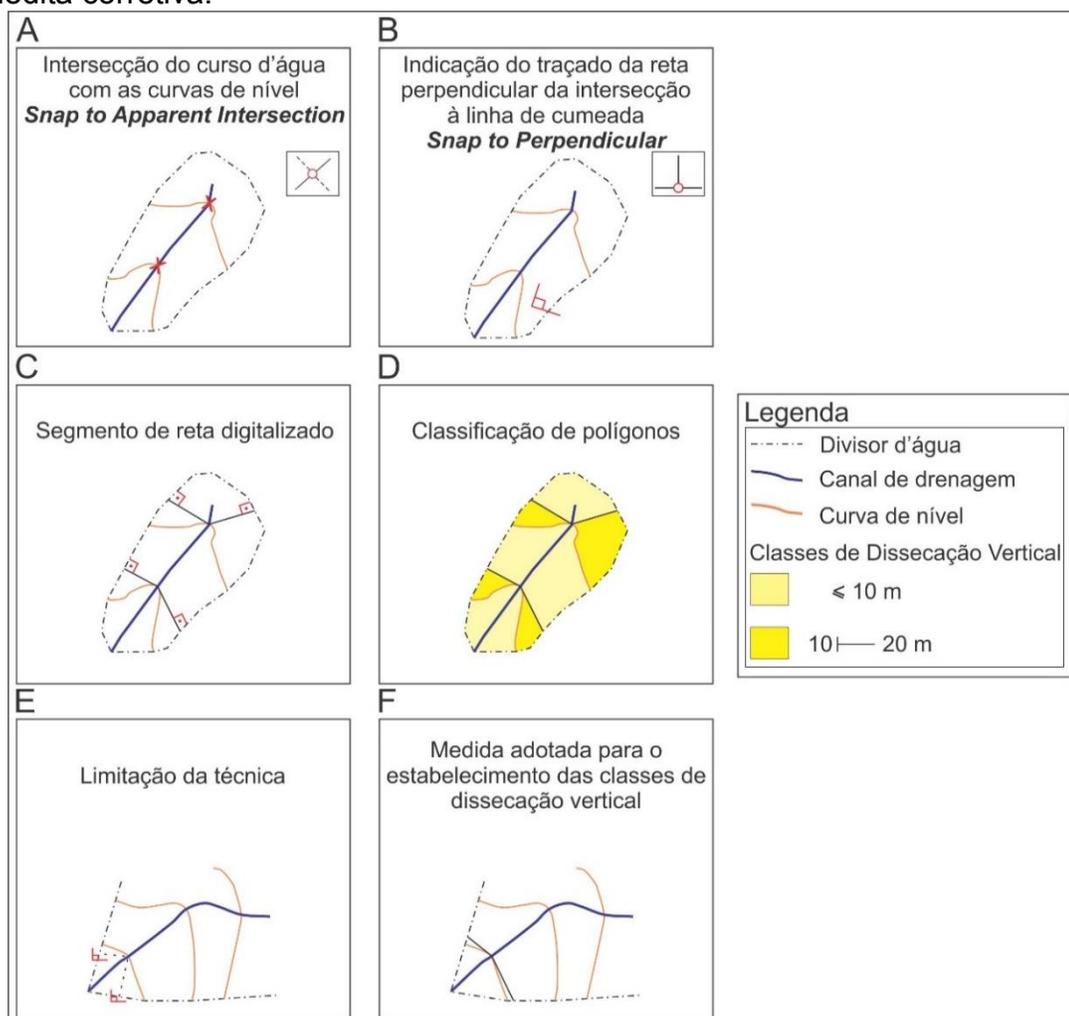
Método semiautomático

A proposta metodológica elaborada por Zacharias (2001) para o mapeamento semiautomático da dissecação vertical é executada por meio de comandos de precisão da ferramenta *Object Snap* da plataforma *Computer-aided design* (CAD). Estes comandos permitem a identificação dos pontos onde ocorrem intersecções entre os cursos d'água e as curvas de nível, e a indicação do traçado de reta perpendicular, que é digitalizada posteriormente para unir tais pontos às linhas de cumeadas. De acordo com tal proposta, tais retas correspondem a menor distância entre o talvegue e o limite da bacia. Ressalta-se que, muitas vezes, o software indicava a posição da reta perpendicular em local que afetava a delimitação das classes. Nestas situações, foi necessário adotar medida corretiva, equivalente a definição visual da menor distância entre o ponto de intersecção e o divisor d'água, mesmo que não houvesse a formação de um ângulo de 90°.

Por fim, foram delimitados polígonos correspondentes aos setores das sub-bacias, classificados de acordo com a adaptação proposta por Mauro et al. (1991). A figura 35

ilustra a construção da carta de dissecação vertical através da técnica semiautomática de Zacharias (2001), bem como a sua limitação e a medida corretiva adotada no estabelecimento das classes de dissecação vertical.

Figura 35 - Etapas para a construção da carta de dissecação vertical através da técnica semiautomática de Zacharias (2001): A – intersecções entre os cursos d’água; B – indicação do traçado da reta perpendicular da intersecção à linha de cumeada; C – segmento de reta digitalizado; D – classificação da dissecação vertical dos setores das sub-bacias; E – limitação da técnica; F – medida adotada para o estabelecimento das classes de dissecação vertical.



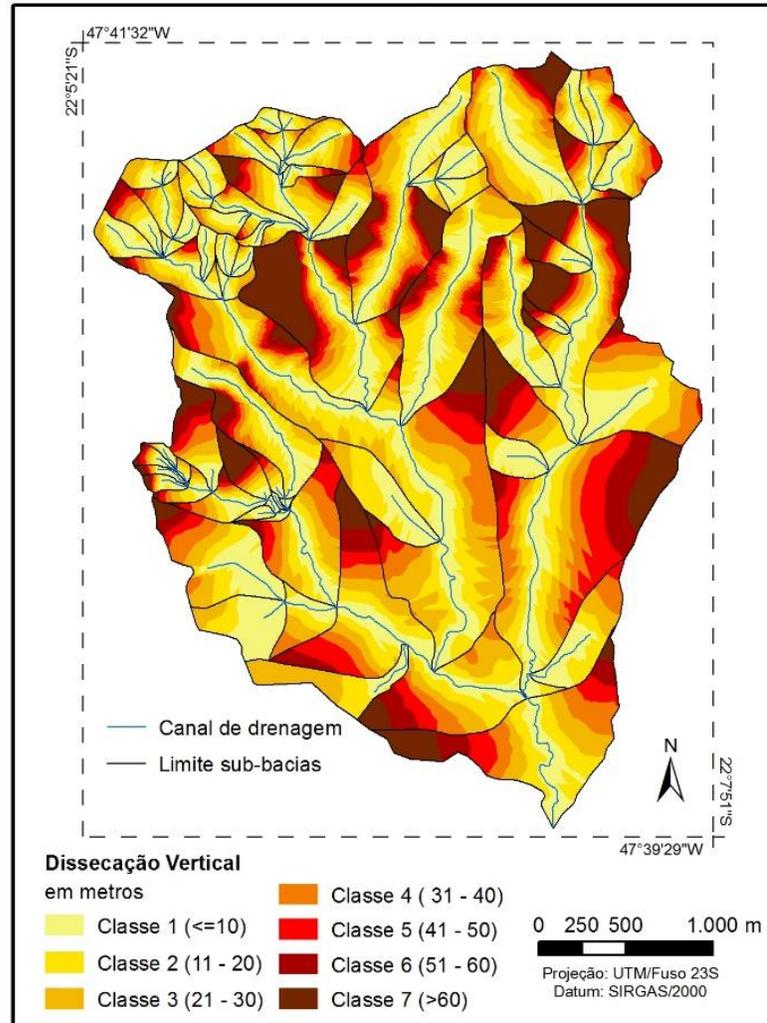
Fonte: adaptado de Zacharias (2001).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para entender melhor os resultados é necessário destacar que os métodos utilizam formas diferentes de determinar as linhas de dissecação vertical. O método

semiautomático determina a linha de dissecação como sendo a linha perpendicular a um trecho do limite da bacia que, em grande parte das vezes, representa a menor distância. O método automático determina a linha de dissecação medindo a distância entre o ponto considerado no canal de drenagem em relação a todos os possíveis pontos na borda da bacia e seleciona o de menor distância. Conceitualmente então podemos afirmar que a técnica automática é mais fidedigna a proposta de Spiridonov (1981) em determinar a linha de dissecação vertical. Além disso, a técnica automática possibilita maior flexibilidade no estabelecimento das classes, visto que é possível experimentar diversos intervalos de valores. A figura 36 ilustra a carta de dissecação vertical elaborada através da técnica automática.

Figura 36 - Carta de dissecação vertical elaborada pelo método automático (Disponível em maior escala no APÊNDICE C).



Fonte: elaborado pelos autores.

Para toda a área de estudo foram encontrados 781 pontos de intersecção das curvas de nível com os canais de drenagem, de onde foram traçadas, respectivamente, 1.562 e 1.534 linhas de dissecação pelos métodos semiautomático e automático. Em 28 situações, o método automático não conseguiu traçar a linha de dissecação devido as regras de restrições impostas em sua construção, e em função do traçado do canal de drenagem não estar ajustado a máxima concavidade da curva de nível.

Cada uma das 1534 linhas automáticas foi confrontada com sua linha equivalente do método semiautomático e analisou-se a diferença no comprimento e na distância máxima entre as linhas. A diferença de comprimento foi considerada significativa quando apresentou valores acima de 2m (maior erro gráfico aceito para a escala 1:10.000), e as linhas foram consideradas concordantes quando a distância máxima entre o par de linhas era inferior a 2m. A tabela 5 apresenta o resultado da diferença no comprimento e na distância máxima entre as linhas.

Ressalta-se que 47% dos pares de linhas apresentaram significativa diferença no comprimento. No entanto, em 97% dessas situações a linha determinada pelo método automático exibiu um comprimento menor, o que comprova sua maior eficiência em determinar a menor distância. Destaca-se ainda que, apesar de 53% das linhas não terem apresentado diferenças significativas no comprimento, ocorreu uma concordância na distância máxima de apenas 37% entre os pares de linhas.

Tabela 5 - Diferenças no comprimento e distância máxima entre as linhas de dissecação vertical estabelecidas pelos métodos automático e semiautomático.

Diferença no comprimento (em número de pares de linhas)		Distância máxima (em número de pares de linhas)	
Não significativa	Significativa	Concordante	Discordante
819 (53%)	715 (47%)	572 (37%)	962 (63%)

Fonte: elaborado pelos autores.

A discordância entre as linhas de dissecação vertical é o que mais pode gerar diferenças entre os produtos cartográficos. A figura 37 ilustra as concordâncias e discordâncias ocorridas entre as linhas e entre as classes de dissecação vertical resultantes da comparação das duas técnicas testadas. Já as figuras. 38A e 38B permitem a observação em detalhe das diferenças nas linhas de dissecação de dois

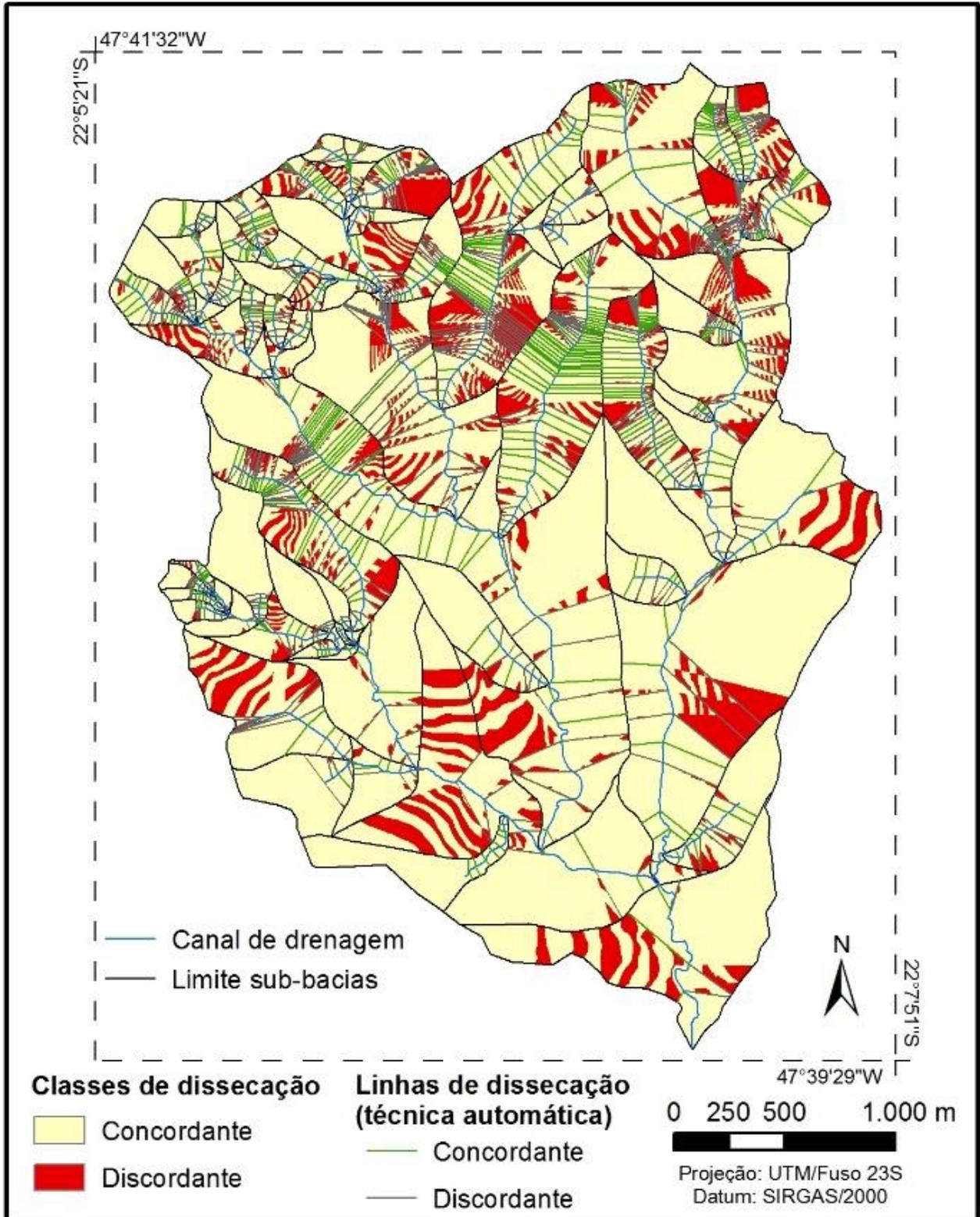
trechos da área de estudo. As linhas tracejadas representam as linhas de dissecação semiautomáticas, enquanto as verdes e vermelhas retratam as linhas de dissecação automáticas, classificadas em concordante e discordante respectivamente. A distribuição espacial das classes de dissecação vertical em tais trechos, derivada de sua organização a partir da técnica semiautomática, pode ser visualizada nas figuras. 38C e 38D. Já as figuras. 38E e 38F mostram o resultado da técnica automática. A análise das figuras denota que, apesar do elevado número de linhas de dissecação discordantes, o impacto sobre a distribuição espacial das classes de dissecação é consideravelmente minimizado em razão do agrupamento realizado pelos intervalos de classes selecionados. Isso é evidenciado na tabela 6, que apresenta a concordância por área de cada classe de dissecação. A concordância total de 85,50% das áreas, para as classes de dissecação vertical consideradas, é muito superior aos 37% das linhas concordantes.

Tabela 6 - Concordância por classe de dissecação vertical.

Classes de dissecação	Área total em m ² (automático)	Concordância com semiautomático (%)
Classe 1	2670337	90,52
Classe 2	2139298	86,00
Classe 3	1699169	83,79
Classe 4	1109088	77,86
Classe 5	764951	74,38
Classe 6	588522	81,37
Classe 7	935549	93,94
Total	9906913	85,50

Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 37 - Carta de concordâncias e discordâncias ocorridas entre as linhas e entre as classes de dissecação vertical resultantes da comparação das duas técnicas testadas (Disponível em maior escala no APÊNDICE D).



Fonte: elaborado pelos autores.

No que se refere aos procedimentos para o estabelecimento das classes de dissecação vertical, também se considera que a técnica automática apresenta vantagens em relação à proposta por Zacharias (2001). Cunha (2001) já apontava que, em situações de grandes desníveis relativos entre as linhas de cumeada e os fundos de vale, podem ser necessários agrupamentos de mais de uma equidistância em uma única classe. Contudo, este problema é complexo nas cartas elaboradas manualmente, nas quais a realização de testes é praticamente impossível devido ao tempo necessário para a construção desse tipo de carta. Assim, com a técnica automática, tais testes tornam-se viáveis, possibilitando resultados mais eficientes.

Em relação ao tempo gasto no processo de elaboração das cartas de dissecação vertical, foram contabilizadas 80 horas de trabalho para a execução da técnica semiautomática proposta por Zacharias (2001), abrangendo toda a criação de topologias, o traçado das linhas de dissecação e polígonos de dissecação vertical. Já a técnica digital automática demandou 4 horas de trabalho para a preparação e ajustes da base de dados e, aproximadamente, 4 horas de processamento para a construção do mapa de dissecação vertical. Nota-se que houve uma redução drástica do tempo total, principalmente no tempo de trabalho do pesquisador em si. É importante destacar que esse tempo de processamento foi atingido utilizando um computador portátil com processador Intel Core I7 2.8GHz, com 8 GB de memória RAM e sistema Windows 8.

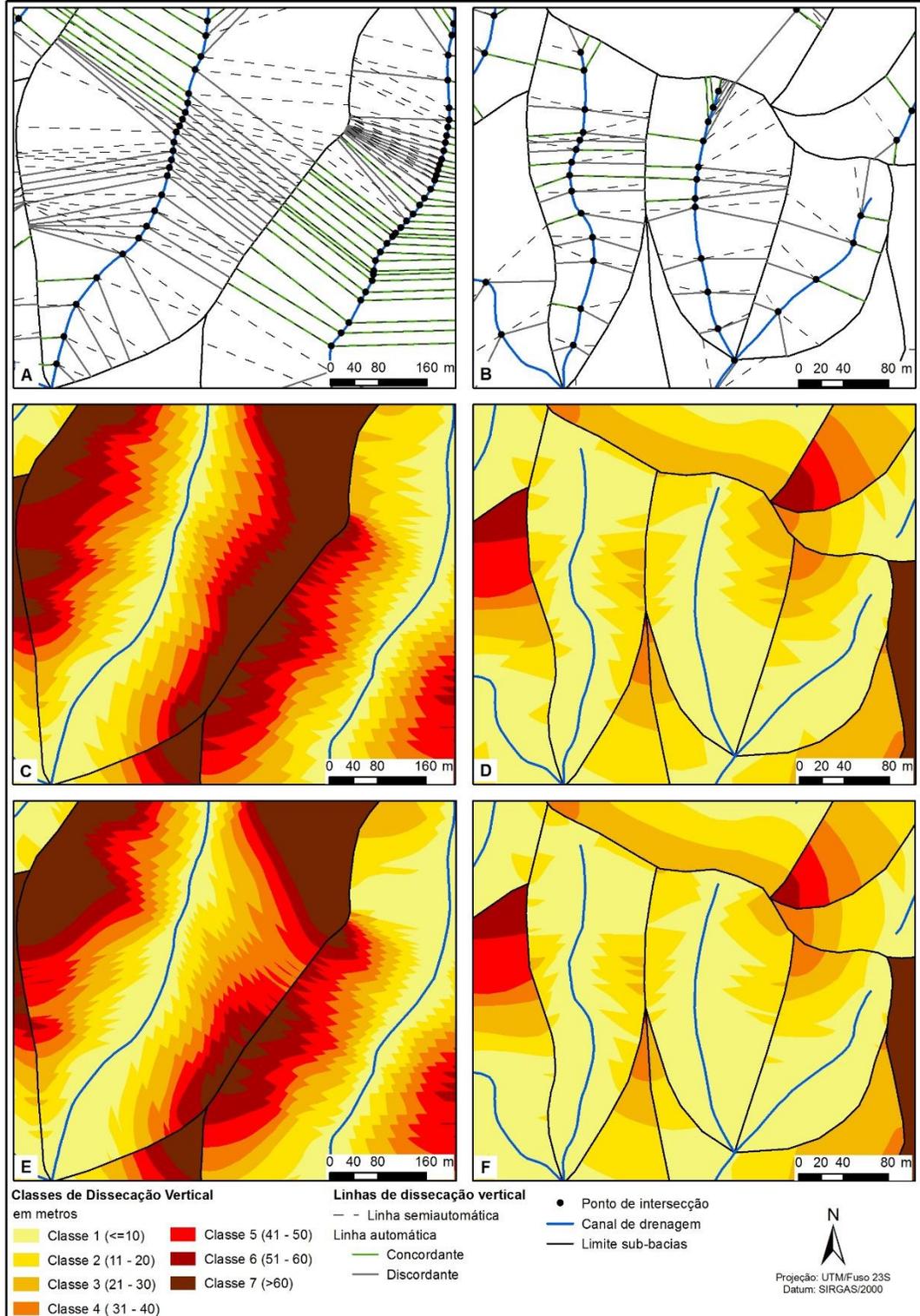
Deve-se destacar que esse tempo abarca o processamento dos pontos nos quais as curvas interceptam o rio em todas as sub-bacias que compõem a área de estudo. Esse fato representa um avanço, visto que Leite e Rosa (2012) utilizaram medidas amostrais ao realizarem esse tipo de mapeamento no software Spring (CÂMARA et al., 1996). Os autores criam manualmente, sobre o canal de drenagem de cada sub-bacia, três pontos que dividem o canal em alto, médio e baixo curso. Apenas a partir desses pontos são traçadas as linhas perpendiculares de dissecação vertical, o que diverge da proposta metodológica original.

A técnica automática demonstrou-se eficiente na reprodução da metodologia de dissecação vertical adaptada por Mauro et al. (1991) e já aplicada na área por Pinton e Cunha (2008). No entanto, é preciso aprimorar a representatividade geomorfológica dos polígonos gerados, independentemente da técnica adotada.

Em ambas as técnicas testadas, os polígonos são limitados, em sua maioria, por curvas de nível e pelas linhas de dissecação. As curvas de nível evidenciam uma variação altimétrica, ou seja, um limite topográfico representativo do relevo local. Já as linhas de dissecação vertical representam as linhas de maior declive entre pontos dos canais de drenagem e o limite da bacia, mas por serem retas não expressam as variações das formas das vertentes que dividem. O traçado retilíneo entre os limites da bacia e o talvegue responde a realidade de ambientes com clima glacial e periglacial, nos quais a forma de vertente é predominantemente retilínea, porém não expressa a disposição das vertentes em ambientes com clima tropical úmido, predominantes no cenário brasileiro. Em um clima quente e úmido, a convexização das vertentes é frequente e, portanto, o traçado reto proposto por Spiridonov (1981) nem sempre atende a proposta de maior declive.

Assim, a proposta de Spiridonov (1981) é um avanço ao substituir polígonos regulares, como utilizados por Evans (1972), por unidades espaciais derivadas de um critério morfométrico. O cálculo da dissecação vertical a partir de trechos da bacia hidrográfica delimitados por linhas de maior declive entre um ponto do canal de drenagem (definido por mudança altitudinal representada pela curva de nível) e o limite da bacia, constitui-se um avanço em relação aos referidos polígonos. Contudo, em ambiente quente e úmido, essa linha nem sempre é eficiente.

Figura 38 - Resultado da dissecação vertical em detalhe: A e B – Linhas de dissecação vertical geradas pelo método semiautomático e automático; C e D – Classes de dissecação vertical geradas pelo método semiautomático; E e F - Classes de dissecação vertical geradas pelo método automático.



Fonte: elaborado pelos autores.

CONCLUSÕES

A avaliação da dissecação vertical constitui-se em ferramenta importante para a análise do relevo já que possibilita identificar os setores mais suscetíveis a ações gravitacionais e, portanto, mais frágeis aos processos denudativos. Esse fato é historicamente reconhecido pela bibliografia (HAMMOND, 1954, 1964; HUBP, 1988; EVANS, 1972), contudo, essa mesma bibliografia alerta para as dificuldades e a morosidade na obtenção desse tipo de informação. Assim, os resultados apresentados possibilitam resolver tal questão a partir de ferramentas disponíveis em um sistema de informação geográfica.

A técnica automática proposta neste trabalho se mostrou vantajosa para o mapeamento da dissecação vertical perante a técnica semiautomática, viabilizando sua aplicação em grandes áreas com ganho significativo de tempo, replicabilidade e confiabilidade. Qualquer usuário obterá resultados equivalentes graças ao uso de algoritmos computacionais e regras pré-estabelecidas na ferramenta. Isso elimina a subjetividade inerente aos procedimentos manuais e semiautomáticos que podem limitar a reprodução dos resultados, comprometendo princípios básicos da ciência. Além disso, evidencia-se uma melhoria na consistência dos dados advindos deste documento cartográfico em razão da qualidade gráfica no resultado final e da maior precisão no seu processo de elaboração, especialmente pela possibilidade de realizar com facilidade correções e testes dos dados introduzidos na plataforma do software.

AGRADECIMENTOS

Às bolsas de doutorado concedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 165930/2013-6 e nº 165931/2013-2 e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo nº 2012/20513-0.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, v. 18, p. 1-23, 1969.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 169-263, 1964.

BERTI, M.; CORSINI, A.; DAEHNE, A. Comparative analysis of surface roughness algorithms for the identification of active landslides. **Geomorphology**, v. 182, p. 1-18, 2013.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20: p. 395-403, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Bluche, 1980. 188p.

CUNHA, C. M. L. da. A Cartografia do Relevo no contexto da Gestão Ambiental. 2001, 120 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DE REU, J.; BOURGEOIS, J.; BATS, M.; ZWERTVAEGHER, A.; GELORINI, V.; DE SMEDT, P.; CHU, W.; ANTROP, M.; DE MAEYER, P.; FINKE, P.; VAN MEIRVENNE, M.; VERNIERS, J.; CROMBÉ, P. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. **Geomorphology**, v. 186, p. 39-49, 2013.

DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. K.; PIKE, R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico **Zeitschrift für Geomorphologie Supplements**, v. 101, p. 109-126, 1995.

DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. M. **Landform classification of New Mexico by computer**. EUA: U.S. Geological Survey, 1991. 15 p.

DINESH, A. C.; JOSEPH MARKOSE, V.; JAYAPPA, K. S. Bearing, azimuth and drainage (bAd) calculator: A new GIS supported tool for quantitative analyses of drainage networks and watershed parameters. **Computers & Geosciences**, v. 48, p. 67-72, 2012.

ESRI. **ArcGIS 10.2.2 for Desktop**. Redlands: ESRI, 2014. Cópia digital.

EVANS, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). **Spatial analysis in geomorphology**. New York: Harper and Row, 1972. p.17-90.

FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da depressão periférica paulista e cuesta basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP**. 2000. 222 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

GHIMIRE, M. Multivariate morphological characteristics and classification of first-order basins in the Siwaliks, Nepal. **Geomorphology**, v. 204, p. 192–207, 2014.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; ALVES, F. M. SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil. **Computers & Geosciences**, v. 33, n. 1, p. 10–19, 2007.

HAMMOND, E. H. Small scale continental landform maps. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 44, p. 32-42, 1954.

HAMMOND, E. H. Analysis of properties in landform geography: An application to broadscale landform mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 54, p. 11-19, 1964.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275-370, 1945.

HUBP, J. I. L. **Elementos de geomorfologia aplicada (metodos cartograficos)**. México: Instituto de Geografia, 1988. 128p.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:1.000.000. São Paulo: IPT, 1981. 94p.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147-156, 2013.

KING, C. A. M. Trend-surface analysis of central pennine erosion surfaces. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 47, p. 47-59, 1969.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Mapeamento geomorfológico: A carta de energia do relevo da bacia hidrográfica do Rio Formiga (TO). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, p. 269-284, 2012.

MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; BOVO, R.; TELES, A. P. S. S.; CARVALHO, M. B. S.; PICARELLI, A.; MELO, E. M. M. Contribuição ao planejamento ambiental de Cosmópolis - SP - BR. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, s/n., 1991, Toluca, México. **Anais...** UEAM, 1991. p.s/p.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. 1968. 86 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1968.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 141p.

PIKE, R. J. The geometric signature: Quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. **Mathematical Geology**, v. 20, n. 5, p. 491-511, 1988.

PINTON, L. de G.; CUNHA, C. M. L da. Avaliação da dissecação horizontal e vertical da bacia do córrego do Cavalheiro Analândia/SP: Subsídios para o planejamento do uso e ocupação da terra. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997. 63p.

SÃO PAULO. **Folha geológica de Corumbataí (Folha SF-23-Y-A-I-2)**. Formações Geológicas de Superfície. São Paulo: Instituto Geológico, 1984. Escala 1:50.000.

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de la Habana, 1981. Vol. 3, 650p.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V. T. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1964. p.439--476.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965. 496p.

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

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias convencionais e digitais para a elaboração de cartas morfométricas do relevo**. 2001. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

5.3 Artigo Experimento 3 – Trabalho enviado para Revista Brasileira de Geomorfologia em 07/05/2015

APLICAÇÃO DO MAPA DE ENERGIA DO RELEVO PARA O ESTUDO DE PROCESSOS MORFODINÂMICOS

Relief energy map applied to the study of morphodynamic processes

Mateus Vidotti Ferreira¹

Paulina Setti Riedel²

Thais Minatel Tinós³

Cenira Maria Lupinacci⁴

RESUMO

A carta de energia do relevo é uma síntese das variáveis morfométricas extensão horizontal da vertente (dissecação horizontal), amplitude altimétrica (dissecação vertical) e declividade, e tem o objetivo de qualificar as áreas de acordo com o grau de energia potencial que possuem para desencadear processos morfodinâmicos. Nas regiões de clima tropical, como na maior parte do Brasil, os elevados índices pluviométricos e inúmeras intervenções antrópicas, intensificam a ocorrência de processos erosivos lineares, que resultam em (sulcos, ravinas e voçorocas), e os movimentos de massa. Nesse contexto, duas áreas com características diferenciadas e um histórico de alta susceptibilidade a esses processos morfodinâmicos foram selecionadas com o objetivo de verificar a correlação espacial entre a energia do relevo e a ocorrência desses processos. Foram gerados mapas de dissecação horizontal, dissecação vertical, declividade e energia do relevo, e o coeficiente de correlação Pearson foi calculado para verificação da correlação espacial. Os resultados indicam claramente as diferenças entre o relevo de uma bacia localizada nas escarpas do Planalto Atlântico e o relevo de uma bacia situada nas *cuestas* da Depressão Periférica Paulista. Observou-se que quando pelo menos umas das variáveis apresenta correlação fortemente positiva com o processo estudado, a energia do relevo tende a seguir essa tendência. Nas áreas analisadas, a declividade foi a variável que apresentou maior correlação com os processos e,

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: mateusvidotti@yahoo.com.br

² Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: psriedel@rc.unesp.br

³ Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: thaistinos@gmail.com

⁴ Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, UNESP / Campus de Rio Claro. Avenida 24 A,1515. CEP: 13506-900, Rio Claro – SP. E-mail: cenira@rc.unesp.br

consequentemente, determinou uma correlação positiva com a energia do relevo. As cicatrizes de escorregamento, os sulcos/ravinas e as voçorocas apresentaram uma correlação espacial positiva com a energia do relevo, havendo algumas variações de intensidade devido à interferência das práticas agrícolas e tipos de solo.

PALAVRAS-CHAVE: análise morfométrica, dissecação vertical; dissecação horizontal.

ABSTRACT

The map of relief energy synthesizes morphometric variables as slope length (horizontal dissection), elevation range (vertical dissection) and elevation gradient, and it aims at qualifying areas according to the degree of potential energy to trigger morphodynamic processes. In tropical climate areas, as in a great portion of Brazilian territory, high pluviometric indices and countless human interventions intensify the occurrence of linear erosive processes, which result in ridges, ravines and gullies, besides the mass movements. In this context, two watersheds with different characteristics and high susceptibility to morphodynamic processes were selected with the objective of verifying the spatial correlation between the relief energy and the processes. Maps of horizontal dissection, vertical dissection, elevation gradient and relief energy were elaborated and the Pearson correlation coefficient was calculated to check the spatial correlation. The results clearly indicate differences between the relief of a watershed located on the slopes of the Atlantic Plateau and the one located in *cuestas* of Paulista Peripheral Depression. It was observed that when at least one of the variables has a strong positive correlation with the studied process, the relief energy tends to follow this trend. In the analyzed areas, the elevation gradient showed the stronger correlation with the processes and, consequently, a positive correlation with the relief energy was observed. Landslide scars, grooves/ravines and gullies showed a positive spatial correlation with the relief energy, varying according to the interference of agricultural practices and soil type.

KEYWORDS: morphometric analysis, vertical dissection, horizontal dissection.

INTRODUÇÃO

A energia do relevo busca mensurar o potencial do relevo para o desencadeamento de processos morfogenéticos, ou seja, o potencial de acúmulo de energia (GRUBER e PECKHAM, 2008; MACHADO e CUNHA, 2012). De acordo com Dobos e Hengl (2008), a energia do relevo condiciona a intensidade do escoamento, erosão, deposição e infiltração e pode alterar inúmeras propriedades do solo. Macmillan e Shary (2008) afirmam que a energia disponível para o desenvolvimento de processos geomórficos, pedogenéticos e hidrológicos será fortemente condicionada pelas características geométricas das formas dos terrenos presentes.

Segundo Smith (1935), os primeiros trabalhos calculavam a energia do relevo por meio de uma razão entre a amplitude local do relevo e a porcentagem total da área. Proposta semelhante pode ser encontrada no trabalho de Spiridonov (1981), em que o cálculo é realizado subtraindo a ponto de menor elevação do ponto de maior elevação para uma determinada área considerada. Para ambos os casos as áreas consideradas para análise eram uma malha regular de quadrados.

Mendes (1993) integra as cartas de dissecação horizontal e vertical, propostas por Spiridonov (1981) e adaptadas por Mauro (1991), e a carta de declividade e denomina esse produto de carta de energia do relevo. Essa proposta entende energia do relevo como a combinação qualitativa das seguintes propriedades da vertente: extensão horizontal (dissecação horizontal), amplitude altimétrica (dissecação vertical) e declividade. Dessa forma a carta de energia do relevo é uma síntese das cartas morfométricas. Segundo Machado e Cunha (2012) este produto cartográfico tem o objetivo de qualificar as áreas de acordo com o grau de energia potencial que possuem para desencadear processos morfodinâmicos.

Dentre os processos morfodinâmicos mais presentes no Brasil, destacam-se os processos erosivos e os escorregamentos. Ambos desenvolvem-se naturalmente e ocorrem com intensidade em regiões de clima tropical, onde há elevados índices pluviométricos, sendo agravados pelas intervenções antrópicas. Entende-se por erosão o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (IPT, 1986). A erosão provoca redução da área agricultável e queda na produtividade, assoreamento de rios, lagos e reservatórios, limitação da expansão urbana, entre outros problemas. Já os escorregamentos são movimentos de massa rápidos, de porções de terrenos (solos e rochas), com volumes definidos, deslocando-se sob ação da gravidade, para baixo e para fora do talude ou da vertente, sendo responsáveis pela evolução das formas do relevo, além de grandes causadores de danos socioeconômicos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; TOMINAGA, 2011).

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é verificar a correlação espacial entre a energia do relevo, mapeada segundo a proposta de Mendes (1993), com a ocorrência de movimentos de massa e feições erosivas. A proposta de Mendes (1993) para elaboração

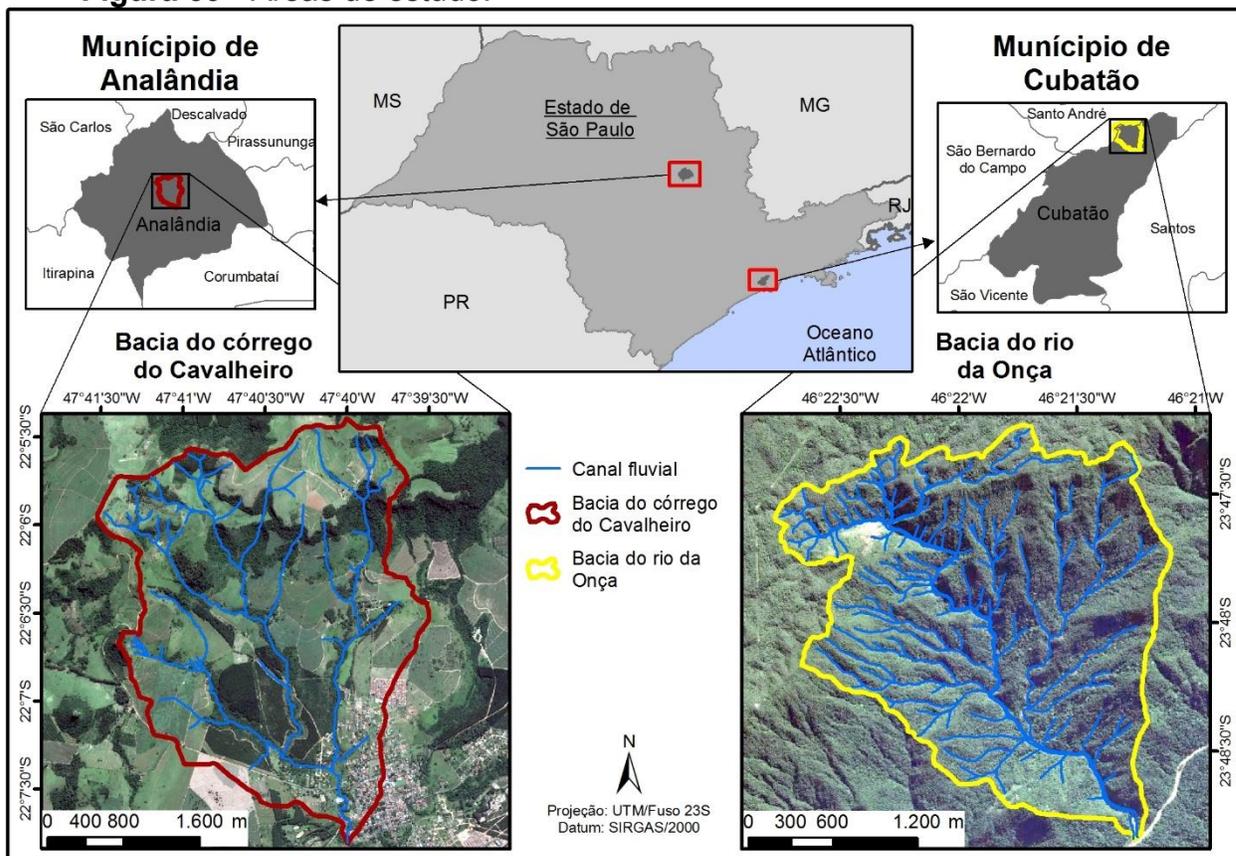
da carta de energia do relevo é bastante difundida no país, tendo sido aplicada por muitos pesquisadores (ZACHARIAS; FREITAS e SANCHEZ, 2005; MARQUES NETO, 2012; CUNHA e PINTON, 2013; entre outros). No entanto, nenhum dos trabalhos publicados realizou uma análise quantitativa demonstrando uma correlação entre as classes de energia do relevo e os processos morfodinâmicos estudados. Esse artigo visa verificar a hipótese de que, se a energia do relevo busca mensurar a energia potencial acumulada por meio de variáveis geomorfométricas do terreno, a energia terá uma correlação positiva com a ocorrência de cicatrizes de escorregamentos e feições erosivas. Esses registros dos eventos devem ocorrer com maior intensidade em trechos de maior energia do relevo.

Duas áreas de estudo foram selecionadas por apresentarem um histórico de alta susceptibilidade a movimentos de massa e processos erosivos, ocasionados pelas condições geológicas, geomorfológicas, climáticas e antrópicas. A primeira área abrange a bacia hidrográfica do córrego do Cavalheiro, localizada no município de Analândia, em meio ao relevo de *cuestas* arenito-basálticas, onde ocorrem variadas feições derivadas de erosão linear como sulcos, ravinas e voçorocas. A segunda área abarca a bacia hidrográfica do rio da Onça, localizada no município de Cubatão, na Serra do Mar, região onde foram registrados inúmeros escorregamentos translacionais ao longo das últimas décadas.

ÁREA DE ESTUDO

As duas áreas de estudo estão localizadas no Estado de São Paulo, sendo uma no interior e outra no litoral, como pode ser observado na figura 39.

Figura 39 - Áreas de estudo.



Fonte: elaborado pelos autores.

A bacia hidrográfica do córrego do Cavalheiro localiza-se no município de Analândia, possuindo uma área de aproximadamente 9,9 km². Esta bacia situa-se na maior unidade geológica do Estado de São Paulo - a bacia sedimentar do Paraná, sendo disposta na transição entre as *Cuestas Areníticas-Basálticas* e a *Depressão Periférica Paulista*. De acordo com Ab'Sáber (1969), a gênese de ambos os compartimentos está relacionada com o processo de circundesnudação, de idade pós-cretácea, ocorrido nas margens da bacia sedimentar do Paraná e ambos se desenvolvem sobre litologias cuja deposição ocorreu desde o período Mesozoico (Formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral) (SÃO PAULO, 1984). Constam também na área as Formações Santa Rita do Passa Quatro e Itaqueri vinculadas ao período Cenozóico, no entanto, é necessário destacar que não há um consenso para a datação da última, pois essa já foi considerada inicialmente como série basal do Grupo Bauru e, atualmente, alguns autores indicam que sua formação pode ser posterior ao referido grupo (MELO, 1995).

A área apresenta um clima tropical marcado por uma estação de verão chuvosa e uma estação de inverno seca, com precipitação anual de aproximadamente 1300 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (236mm) e julho o mais seco (25mm) (CEPAGRI, 2015). A área da bacia é ocupada majoritariamente por atividades agropecuárias como pasto, silvicultura, lavoura permanente (laranja, madeira para papel e celulose e café), cana-de-açúcar, além de pequenos trechos de mata e área urbanizada. Essa área apresentou um elevado número de processos erosivos lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas, já descritos por Cunha e Pinton (2013). O desenvolvimento dessas feições é acelerado pelas intensas chuvas de verão, pelo solo de textura arenosa e pela prática inadequada das atividades agrícolas.

A bacia hidrográfica do rio da Onça localiza-se no município de Cubatão e abrange uma área de aproximadamente 5,5 km². A bacia está inserida no relevo escarpado da Serra do Mar, que separa o Planalto Paulistano da Baixada Santista. A área é constituída predominantemente por rochas com diferentes graus de metamorfismo do embasamento cristalino, que está dividido em duas grandes unidades litoestratigráficas, representadas pelo Grupo Açungui do Proterozóico superior e pelo Complexo Costeiro do Arqueano. Tais unidades encontram-se compartimentadas pela zona de falhamento transcorrente de Cubatão, que põe em contato rochas de diferentes resistências à erosão: metassedimentos que incluem filitos, metacalcários, xistos e quartzitos no bloco norte, e um complexo gnáissico-migmatítico granítico ao sul (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). A área de estudo está situada em uma das regiões do Brasil com maiores índices pluviométricos, com chuvas bem distribuídas pelo ano todo. Característico do clima tropical úmido, chove com maior intensidade nos meses de novembro a março, com médias anuais superiores a 2500 mm (CEPAGRI, 2015). Em uma região de Mata Atlântica, mais especificamente localizada em uma parte de encosta da mata, a bacia abriga uma floresta pluvial tropical de encosta e toda sua área é recoberta por essa vegetação (RODRIGUES, 1992). Esta bacia apresentou a maior densidade de cicatrizes de escorregamento por quilômetro quadrado do município segundo o inventário de 1985 realizado por Lopes (2006). Na Serra do Mar, embora ocorram outros tipos de escorregamentos, o mais atuante na dinâmica superficial é o escorregamento translacional raso (AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998). Esse tipo de escorregamento

ocorre especialmente em áreas de encostas retilíneas com inclinação acima de 30° e rupturas positivas de declive, e muitas vezes é induzido na área da bacia pela concentração de águas superficiais e desmatamento. (SANTOS, 2004).

MATERIAIS E MÉTODOS

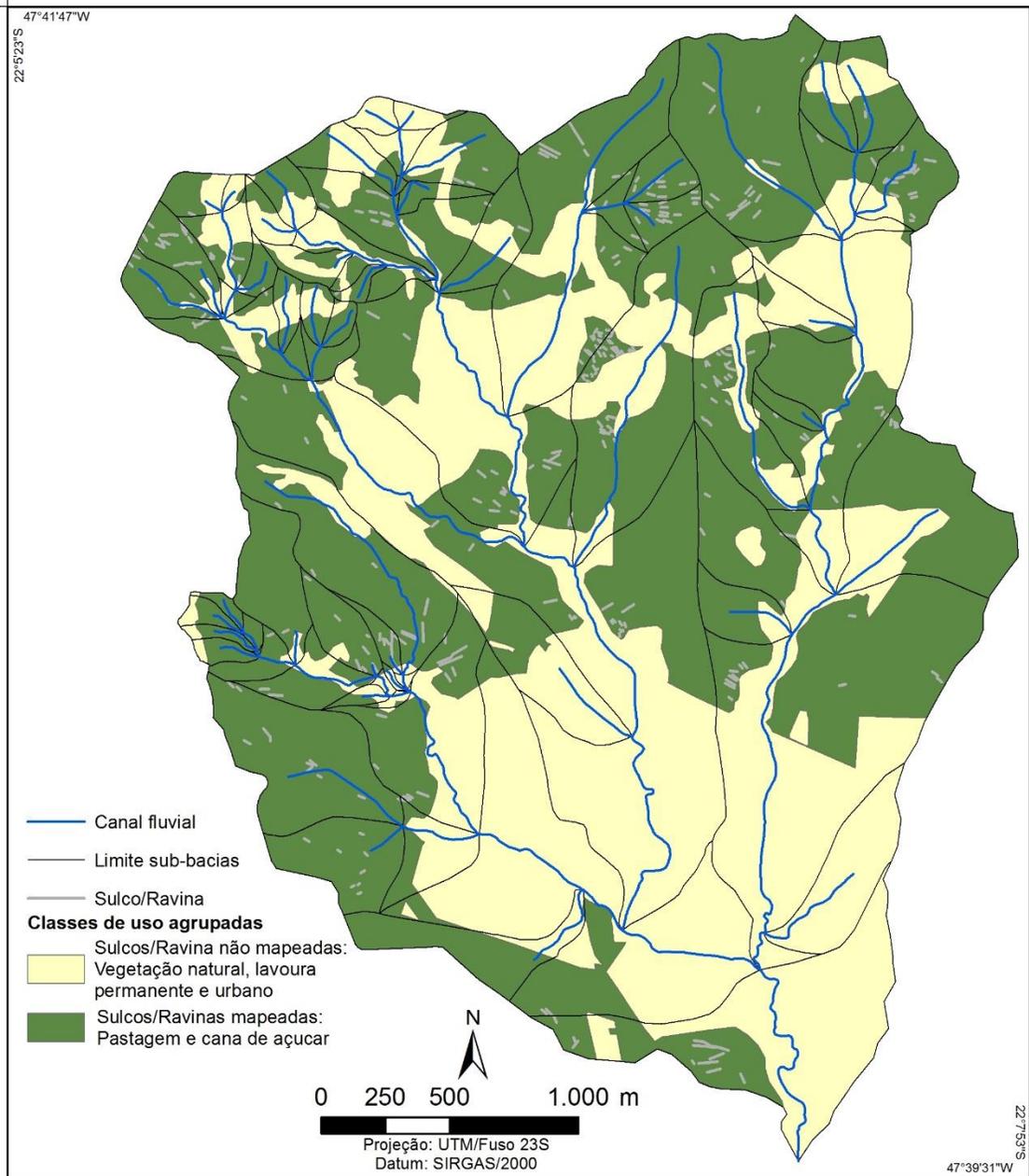
A base cartográfica utilizada para as duas áreas constitui-se de cartas topográficas na escala 1: 10.000. Para Analândia as cartas foram executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia - compreendendo as folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E). Para a área de Cubatão as cartas foram executadas pela Agência Metropolitana da Baixada Santista folhas 4215 e 4216. A partir das cartas topográficas foram extraídas as curvas de nível, drenagem e pontos cotados, que foram interpolados para produção de modelos digitais de elevação (MDEs) para ambas as áreas. Com essas informações foram também delimitadas sub-bacias de drenagem por meio da interpretação visual.

Para área de Cubatão foi utilizado um cadastro de cicatrizes de escorregamento existente e para a área de Analândia foi produzido um cadastro de voçorocas, sulcos erosivos e ravinas. O cadastro de cicatrizes de escorregamento foi produzido em trabalho anterior (LOPES, 2006), por meio da interpretação visual de fotografias aéreas de 1985. Foram delimitados os corpos principais dos escorregamentos, ou seja, as áreas que deram origem ao processo. Foram extraídas 339 cicatrizes que somadas totalizaram uma área de aproximadamente 120907m². O cadastro de voçorocas, sulcos e ravinas foi realizado por meio de interpretação visual de imagem orbital de alta resolução do satélite GeoEye, adquirida por meio do serviço Bing Maps da empresa Microsoft, com data de 2011.

Na área de Analândia foram extraídas 12 voçorocas que somadas totalizaram uma área de 59538m². As ravinas e sulcos foram analisados conjuntamente devido à dificuldade de estabelecer um critério objetivo para sua diferenciação por meio da interpretação das imagens. Foram extraídas 325 feições de sulcos e ravinas totalizando uma extensão de 8766m. Não foram extraídos sulcos e ravinas nas áreas de vegetação

natural, lavoura permanente e urbana devido a impossibilidade de visualizar essas feições nessas áreas por meio de imagens. Os usos presentes na área em que foi possível mapear os sulcos e ravinas foram pastagem e cana-de-açúcar. A figura 40 apresenta as classes de uso da terra agrupadas de acordo com a possibilidade de mapeamento de sulcos e ravinas.

Figura 40 - Classes de uso da terra agrupadas de acordo com a possibilidade de mapeamento de sulcos e ravinas.



Fonte: elaborado pelos autores.

Os mapas de dissecação horizontal (DH) e vertical (DV) foram produzidos por meio de ferramentas implementadas no programa ArcGIS, em parte, apresentadas por AUTOR. (2014). A ferramenta de DH tem por objetivo gerar polígonos que representem a dissecação a partir de linhas que conectem um ponto do canal de drenagem a um ponto da borda da sub-bacia de acordo com a distância desejada, com um ângulo aproximado de 90° em relação ao canal de drenagem. As classes de DH representam o comprimento aproximado das vertentes. A ferramenta de dissecação vertical (DV) delimita os polígonos a partir das curvas de nível, canais de drenagem e linhas retas que conectem um ponto, definido a partir da intersecção do canal de drenagem com a curva de nível, ao ponto mais próximo da borda da sub-bacia com cota igual ou superior àquela do ponto inicial. As classes de DV representam a amplitude vertical do relevo. Ambas as ferramentas representam uma automatização da adaptação de Mauro et al. (1991) da proposta de Spiridonov (1981).

As classes de dissecação horizontal e vertical foram definidas em função da escala de trabalho (1:10.000). Para DH o valor estabelecido foi menor ou igual a 10m, representando 5 vezes o menor valor linear distinto nesta escala (2m). Seguindo a recomendação de Spiridonov (1981), o valor das classes seguintes foi atribuído com base no dobro do limite da classe anterior, até atingir o máximo de distância ainda representativa para a área. A DV também utilizou como limite da primeira classe 10m, contudo foi utilizado intervalos iguais de 10m para a delimitação das outras classes, correspondendo ao desnível altimétrico entre as curvas de nível na escala de trabalho.

O mapa de declividade (DEC) foi gerado a partir dos MDEs produzidos. As classes de DEC foram definidas de acordo com a proposta da Embrapa (1979), que relaciona a DEC com forma do relevo predominante.

O quadro 12 apresenta as classes utilizadas em cada um dos três mapas em ordem crescente de grandeza.

Quadro 12 - Classes de DH, DV e DEC utilizadas.

	Dissecação Horizontal (m)	Dissecação Vertical (m)	Declividade (%)
Classe 1	> 320	<= 10	<= 3
Classe 2	160 - 320	10 - 20	3- 8
Classe 3	80 - 160	20 - 30	8 - 20
Classe 4	40 – 80	30 - 40	20 - 45
Classe 5	20 – 40	40 - 50	45 -75
Classe 6	10 - 20	50 - 60	> 75
Classe 7	< 10	> 60	-----

Fonte: elaborado pelos autores.

O mapa de energia do relevo foi produzido por meio da intersecção dos polígonos dos mapas de DH, DV e DEC. As regras para definição das classes de energia do relevo (quadro 13) foram adaptadas da proposta de Cunha e Pinton (2013), realizada para a mesma área de Analândia. De acordo com essa proposta quanto maior a DH, DV e DEC maior será a energia do relevo. Exemplo 1: Os polígonos são classificados com uma energia Muito Forte quando apresentarem DEC (> 75%) OU DH (< 10m). Exemplo 2: Os polígonos são classificados com uma energia Forte quando apresentarem DEC (45% – 75%) OU DH (10m – 20m) e a outra possibilidade é apresentarem DEC (20% – 45%) E DV (> 60m).

Quadro 13 - Regras para definição das classes de energia do relevo.

Classe de energia do relevo	Declividade (%)	Operador	Dissecação Horizontal (m)	Operador	Dissecação Vertical (m)	Ordem de classificação
Muito Forte	> 75	OU	< 10			1 ^a
Forte	45 – 75	OU	10 - 20			2 ^a
	20 – 45			E	> 60	3 ^a
Medianamente Forte	20 – 45	OU	20 - 40	OU	> 60	4 ^a
Média	8 – 20	OU	40 - 80	OU	50 - 60	5 ^a
Fraca	3 – 8	OU	80 - 160	OU	40 - 50	6 ^a
Muito Fraca	> 3	OU	> 160	OU	0 - 40	7 ^a

Fonte: elaborado pelos autores.

Com relação às regras de definição das classes de energia do relevo apresentadas no quadro 13, o uso do operador OU indica que cada variável envolvida determinou diretamente a classe de energia e o uso do operador E indica que houve uma combinação das variáveis na determinação da classe de energia. Dessa forma, houve apenas uma

situação de combinação de variáveis; nas demais situações apenas uma variável foi determinante da classe de energia. É possível notar que a DV não influencia na determinação da classe de energia Muito Forte e tem uma pouca relevância para determinar as classes de energia Forte e Medianamente Forte. Para as classes Média, Fraca e Muito Fraca a DV tem a mesma relevância que DH e DEC. Importante notar que existe um agrupamento das classes de menor dissecação na ponderação, as classes 1 e 2 da DH e as classes 1, 2, 3 e 4 da DV são consideradas conjuntamente pelas regras de classificação. Contudo, todas as classes de declividade são consideradas separadamente. Desta forma podemos ordenar as variáveis em termos de relevância em $DEC > DH >> DV$ e afirmar que, de acordo com essa proposta, a DV tem relevância muito menor que DEC e DH na determinação da energia do relevo.

Para cada classe das variáveis DEC, DH, DV e Energia do Relevo verificou-se a densidade de ocorrência de cicatrizes de escorregamentos na área de Cubatão e ocorrência de voçorocas e sulcos/ravinas na área de Analândia. Buscou-se com essa análise verificar a correlação existente entre essas variáveis e os processos considerados nesse trabalho. Foi calculada a densidade normalizada das feições em cada classe das variáveis, dividindo a soma da área ou perímetro de um processo em uma classe pelo total da área da mesma classe. Os valores de densidade foram normalizados dividindo-os pelo máximo de densidade observado entre as classes da variável. Os valores foram normalizados para permitir a comparação entre os valores de densidade diferentes.

As classes com áreas relativas menores que 1% do total das áreas das bacias e com menos de 1% de ocorrência do processo analisado não foram consideradas para o cálculo da densidade normalizada. O coeficiente de correlação Pearson (CCP) foi calculado para as classes das variáveis e suas respectivas densidades normalizadas para verificação da correlação espacial.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 7 apresenta o coeficiente de correlação Pearson (CCP) para todos os processos e variáveis analisados.

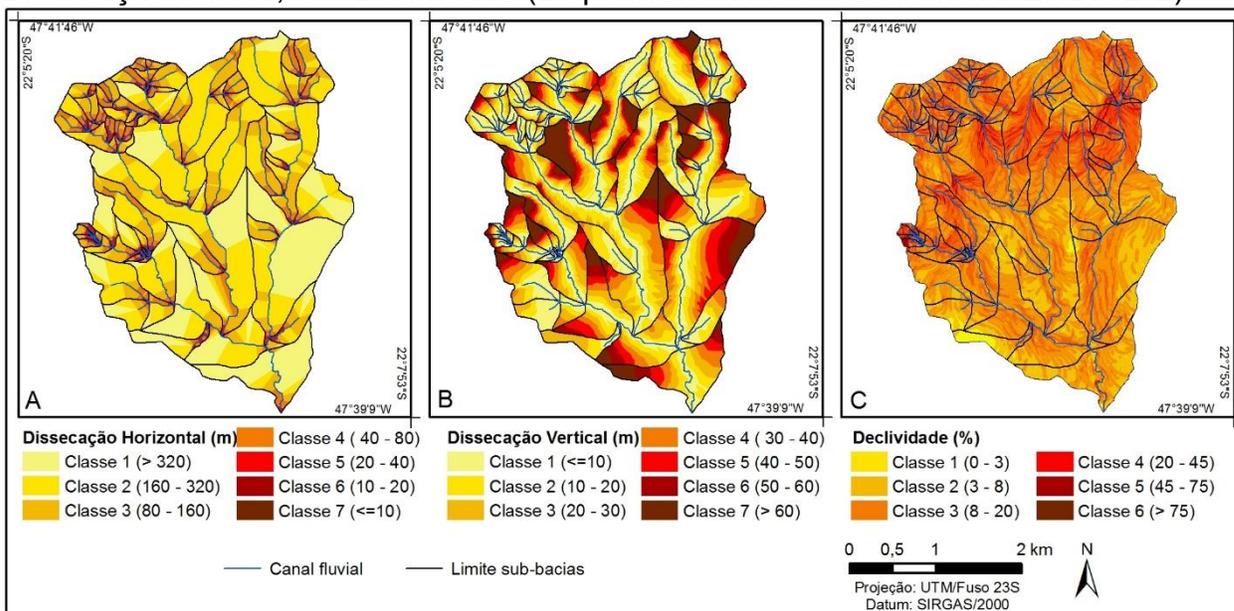
Tabela 7 - Coeficiente de correlação Pearson (CCP).

	Voçorocas	Sulcos/Ravinas	Cicatrizes de Escorregamento
Dissecação Horizontal (DH)	0,89	-0,08	-0,88
Dissecação Vertical (DV)	-0,78	-0,46	0,72
Declividade (DEC)	0,94	0,76	0,92
Energia do Relevo	0,92	0,68	0,99

Fonte: elaborado pelos autores.

Os primeiros resultados apresentados, referem-se à análise das voçorocas, sulcos e ravinas da bacia localizada em Analândia. A figura 41 ilustra a distribuição espacial das variáveis DH, DV e DEC e a figura 42 mostra as classes de energia do relevo e a distribuição das voçorocas, sulcos e ravinas na bacia do córrego do Cavalheiro.

Figura 41 - Bacia do córrego do Cavalheiro. A – Dissecação horizontal; B – Dissecação vertical; C – Declividade (Disponível em maior escala no APÊNDICE E).



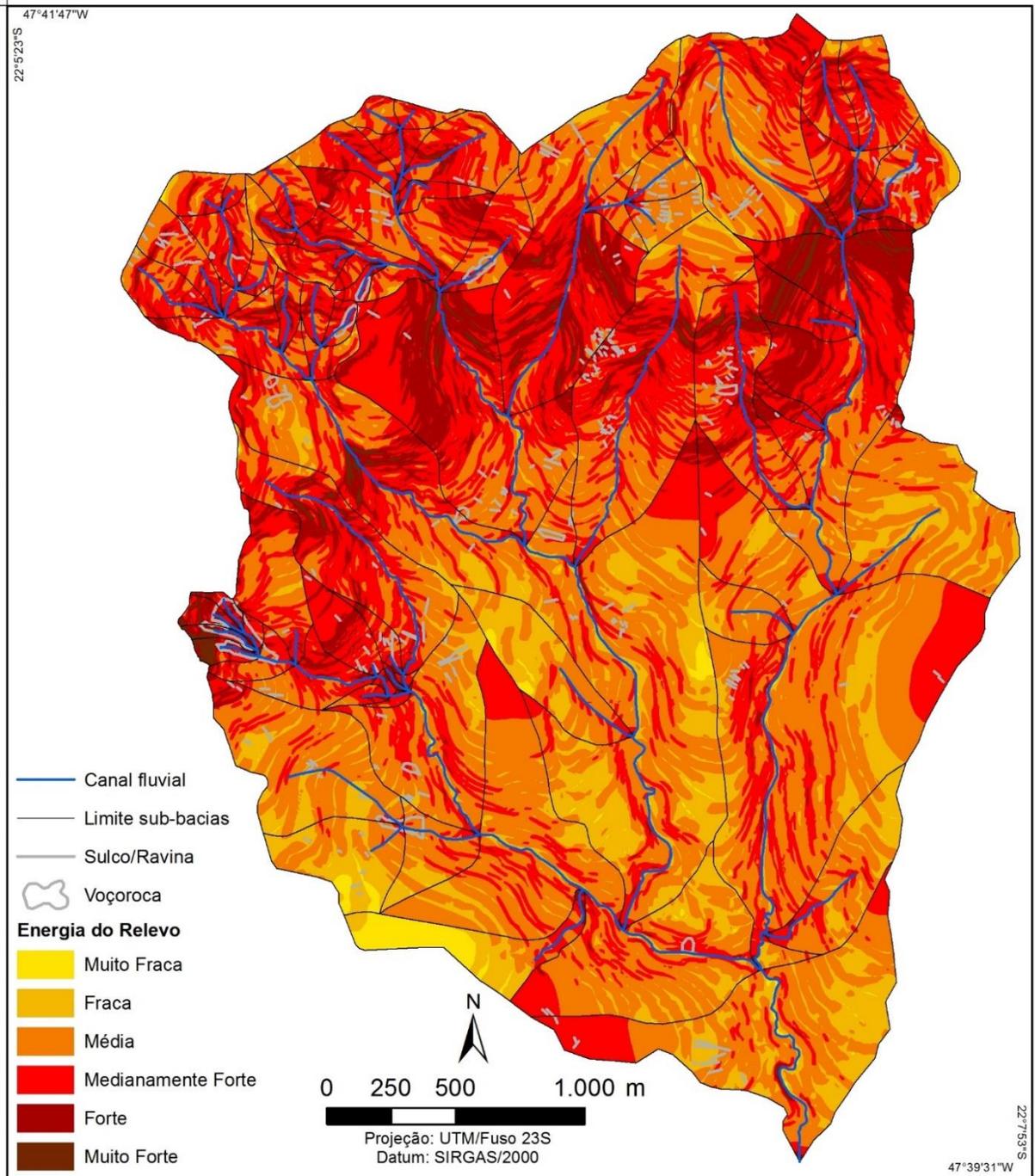
Fonte: elaborado pelos autores

Os quadros 14, 15, 16 e 17 apresentam uma estatística das variáveis analisadas e a relação existente entre essas variáveis e as voçorocas.

O quadro 14 ilustra uma correlação positiva entre as voçorocas e a DH (CCP 0,89). As duas classes de maior DH (DH < 20m) somadas atingiram apenas 0,72% do total da área, contudo 16,06% da área de voçorocas estão localizadas nessas classes. Isso se

deve ao fato de que apesar de as voçorocas atuarem degradando vertentes de diferentes dimensões ao longo do canal de drenagem, as classes de maior DH são proporcionalmente mais afetadas pelo processo erosivo e assim concentram as maiores densidades.

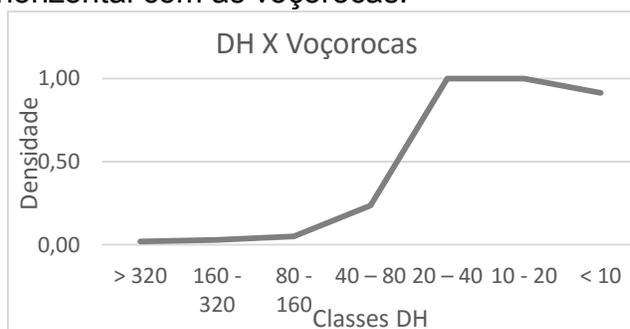
Figura 42 - Energia do relevo da bacia do córrego do Cavalheiro (Disponível em maior escala no APÊNDICE F).



Fonte: elaborado pelos autores.

Quadro 14 - Relação da dissecação horizontal com as voçorocas.

Classe DH (m)	% Classe ¹	% Voçorocas ²	Densidade/normal ³
> 320	27,66%	6,48%	0,02
160 - 320	41,16%	14,40%	0,03
80 - 160	19,95%	12,32%	0,05
40 - 80	8,21%	23,24%	0,24
20 - 40	2,31%	27,79%	1,00
10 - 20	0,56%	12,55%	1,00
< 10	0,16%	3,51%	0,91



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de voçorocas na classe em relação ao total da área de voçorocas na bacia.

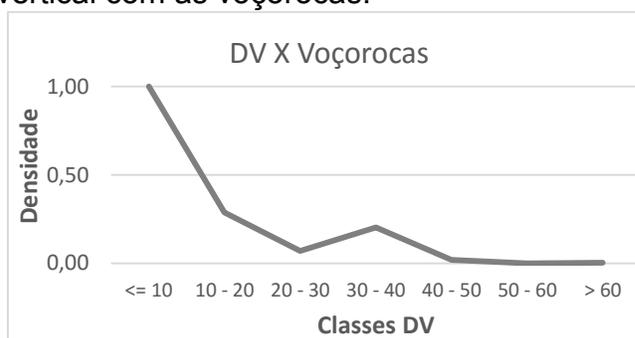
³ Densidade de voçoroca na classe normalizada pelo maior valor de densidade de voçorocas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 15 ilustra uma correlação negativa entre as voçorocas e a DV (CCP - 0,78). Isso ocorre pois as voçorocas se desenvolvem preferencialmente ao longo dos canais de drenagem, áreas de menor DV.

Quadro 15 - Relação da dissecação vertical com as voçorocas.

Classe DV (m)	% Classe ¹	% Voçorocas ²	Densidade/normal ³
<= 10	27,05%	73,39%	1,00
10 - 20	21,51%	16,77%	0,29
20 - 30	17,14%	3,22%	0,07
30 - 40	11,19%	6,16%	0,20
40 - 50	7,72%	0,41%	0,02
50 - 60	5,94%	0,00%	0,00
> 60	9,44%	0,05%	0,00



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de voçorocas na classe em relação ao total da área de voçorocas na bacia.

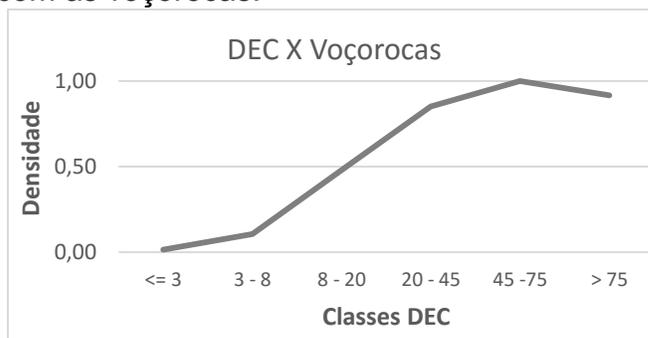
³ Densidade de voçoroca na classe normalizada pelo maior valor de densidade de voçorocas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 16 ilustra uma correlação fortemente positiva entre as voçorocas e a DEC (CCP 0,94). Observa-se que há baixa concentração de área de voçorocas em classes com declividade abaixo de 8% e um pico de densidade em áreas de declividade de 45% a 75%. Essa distribuição está relacionada principalmente ao processo de erosão remontante que atinge gradativamente áreas de maior declive.

Quadro 16 - Relação da declividade com as voçorocas.

Classe DEC (m)	% Classe ¹	% Voçorocas ²	Densidade/normal ³
<= 3	2,28%	0,06%	0,01
3- 8	18,58%	3,61%	0,10
8 - 20	44,63%	39,75%	0,48
20 - 45	26,62%	42,14%	0,85
45 -75	6,39%	11,90%	1,00
> 75	1,49%	2,54%	0,92



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de voçorocas na classe em relação ao total da área de voçorocas na bacia.

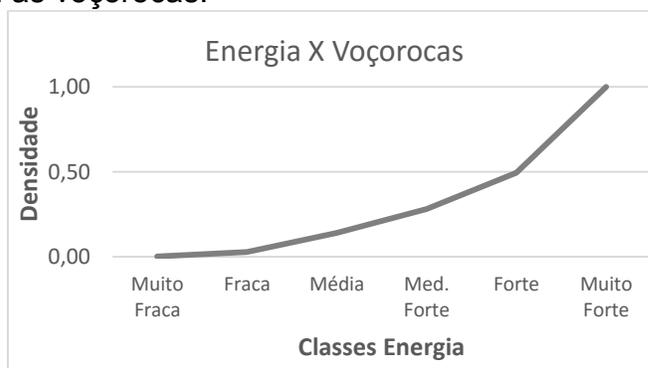
³ Densidade de voçoroca na classe normalizada pelo maior valor de densidade de voçorocas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 17 ilustra uma forte correlação positiva entre as voçorocas e a energia do relevo (CCP 0,92). Pode-se afirmar que a combinação da DH e DEC foram determinantes para se obter uma correlação positiva forte entre energia e voçorocas.

Quadro 17 - Relação da energia com as voçorocas.

Classe Energia (m)	% Classe ¹	% Voçorocas ²	Densidade/normal ³
Muito Fraca	1,04%	0,01%	0,00
Fraca	12,65%	1,69%	0,03
Média	43,82%	28,72%	0,14
Med. Forte	31,28%	40,89%	0,28
Forte	9,97%	22,94%	0,49
Muito Forte	1,24%	5,76%	1,00



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de voçorocas na classe em relação ao total da área de voçorocas na bacia.

³ Densidade de voçoroca na classe normalizada pelo maior valor de densidade de voçorocas.

Fonte: elaborado pelos autores.

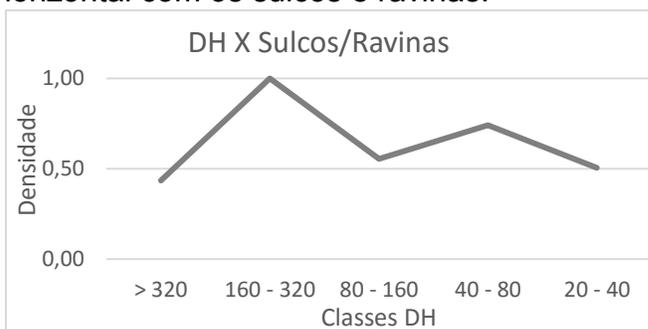
Os quadros 18, 19, 20 e 21 apresentam uma estatística das variáveis analisadas e a relação existente entre essas variáveis e os sulcos/ravinas.

O quadro 18 ilustra uma não correlação entre os sulcos/ravinas e a DH (CCP -0,08). O resultado demonstrou que os sulcos/ravinas se desenvolveram nas vertentes com dimensões superiores a 20m, com um pico de densidade nas vertentes de 160 a 320m. A extensão da vertente é um fator estreitamente relacionado a formação de processos erosivos, pois à medida que aumenta a distância percorrida pelo fluxo, há um acréscimo

no volume de água, bem como um aumento progressivo da velocidade de escoamento, provocando conseqüentemente um aumento na energia cinética e resultando em maior erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). No entanto, o quadro 18 mostra que há também densidades elevadas de sulcos / ravinas em vertentes intermediárias (20 – 40m e 40 – 80m), ocorrentes principalmente nas áreas de confluência de dois ou mais canais. Observa-se assim que a energia gerada pelo encontro dos canais de drenagem potencializa o desenvolvimento de processos erosivos nas vertentes de menor dimensão. Esses dados explicam a distribuição da densidade de ocorrência das feições nas diferentes classes e a conseqüente não correlação dessa variável.

Quadro 18 - Relação da dissecação horizontal com os sulcos e ravinas.

Classe DH (m)	% Classe ¹	% Sulcos/Ravinas ²	Densidade/normal ³
> 320	31,12%	19,21%	0,43
160 - 320	39,88%	56,62%	1,00
80 - 160	19,23%	15,13%	0,55
40 – 80	7,22%	7,60%	0,74
20 – 40	2,00%	1,44%	0,51
10 - 20	0,44%	0,00%	
< 10	0,10%	0,00%	



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da extensão de sulcos/ravinas na classe em relação ao total da extensão de sulcos/ravinas na bacia.

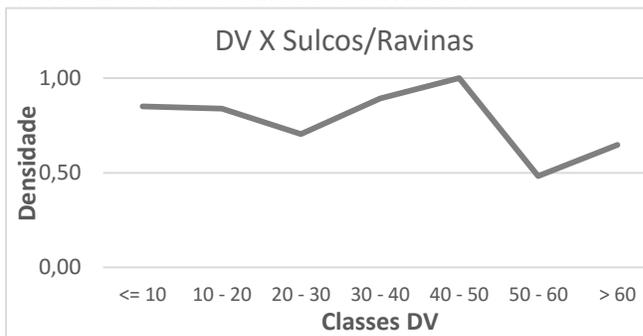
³ Densidade de sulcos/ravinas na classe normalizada pelo maior valor de densidade de sulcos/ravinas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 19 ilustra uma correlação negativa fraca entre os sulcos e ravinas e a DV (CCP -0,46). As feições de Sulcos\Ravinas se desenvolveram em trechos de diversas amplitudes com densidades de ocorrências próximas.

Quadro 19 - Relação da dissecação vertical com os sulcos e ravinas.

Classe DV (m)	% Classe ¹	% Sulcos/Ravinas ²	Densidade /normal ³
<= 10	22,66%	24,41%	0,85
10 - 20	20,96%	22,27%	0,84
20 - 30	17,16%	15,32%	0,70
30 - 40	11,80%	13,34%	0,89
40 - 50	8,16%	10,35%	1,00
50 - 60	7,14%	4,37%	0,48
> 60	12,12%	9,94%	0,65



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da extensão de sulcos/ravinas na classe em relação ao total da extensão de sulcos/ravinas na bacia.

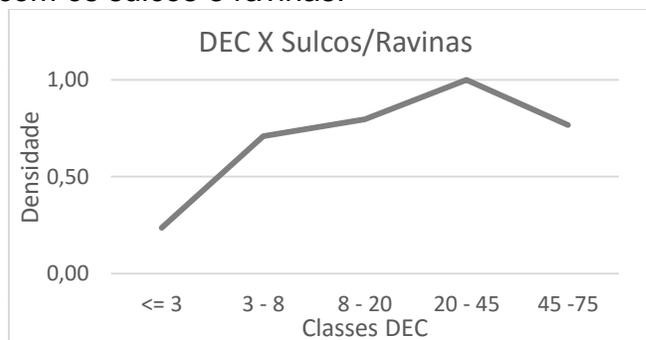
³ Densidade de sulcos/ravinas na classe normalizada pelo maior valor de densidade de sulcos/ravinas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 20 demonstra que os Sulcos/Ravinas se desenvolveram com maior densidade em declividades médias e altas, o que no geral resultou em uma correlação positiva (CCP 0,76). A classe de maior declividade não apresentou área significativa (>1%) de ocorrência das feições na área analisada. A declividade tem influência decisiva na intensidade da erosão, visto que o aumento da inclinação de uma vertente intensifica o crescimento da velocidade do escoamento superficial e conseqüentemente, o incremento de sua capacidade erosiva. No entanto, nas classes mais altas de declividade na área estudada os solos são muito rasos ou inexistentes, não permitindo a formação de processos erosivos, o que justifica a queda de densidade na classe 45 – 75% em relação a classe anterior.

Quadro 20 - Relação da declividade com os sulcos e ravinas.

Classe DEC (%)	% Classe ¹	% Sulcos/Ravinas ²	Densidade/normal ³
<= 3	2,40%	0,69%	0,24
3 - 8	16,26%	14,04%	0,71
8 - 20	50,36%	48,88%	0,80
20 - 45	27,32%	33,25%	1,00
45 -75	3,29%	3,07%	0,77
> 75	0,38%	0,06%	



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da extensão de sulcos/ravinas na classe em relação ao total da extensão de sulcos/ravinas na bacia.

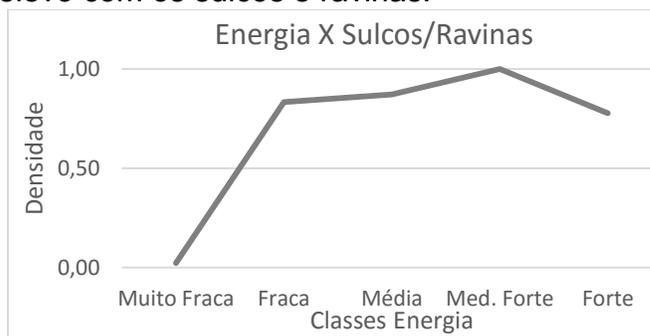
³ Densidade de sulcos/ravinas na classe normalizada pelo maior valor de densidade de sulcos/ravinas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 21 ilustra uma correlação positiva entre os sulcos e ravinas e a energia do relevo (CCP 0,68). Contudo, se a primeira classe (Muito Fraca) for descartada da análise por sua baixa representatividade espacial (1,59%), observa-se que não houve correlação. Assim, pode-se afirmar que a ocorrência de sulcos/ravinas nessa área pode estar mais fortemente condicionada por fatores como a constituição do solo e as práticas agropecuárias desenvolvidas do que pela energia do relevo.

Quadro 21 - Relação da energia do relevo com os sulcos e ravinas.

Classe Energia	% Classe ¹	% Sulcos/Ravinas ²	Densidade/normal ³
Muito Fraca	1,59%	0,04%	0,02
Fraca	11,21%	10,55%	0,83
Média	46,76%	46,04%	0,87
Med. Forte	32,87%	37,10%	1,00
Forte	7,10%	6,22%	0,78
Muito Forte	0,48%	0,06%	



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da extensão de sulcos/ravinas na classe em relação ao total da extensão de sulcos/ravinas na bacia.

³ Densidade de sulcos/ravinas na classe normalizada pelo maior valor de densidade de sulcos/ravinas.

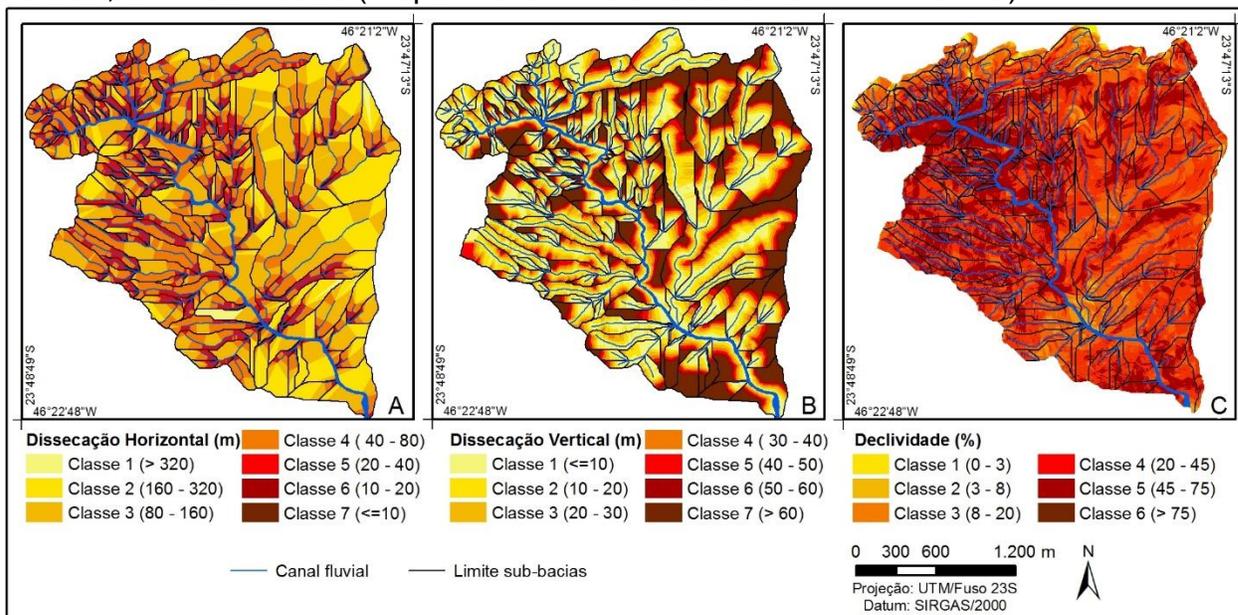
Fonte: elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados a seguir referem-se à análise dos escorregamentos na área de Cubatão. A figura 43 ilustra a distribuição espacial das variáveis DH, DV e DEC e a figura 44 mostra as classes de energia do relevo e a distribuição das cicatrizes de escorregamento na bacia do rio da Onça.

Os quadros 22, 23, 24 e 25 apresentam uma estatística das variáveis analisadas e relação existente entre essas variáveis e as cicatrizes de escorregamento.

O quadro 22 mostra que as cicatrizes de escorregamentos apresentaram uma correlação negativa com a DH (CCP -0,88). Esses dados mostram que os escorregamentos ocorreram preferencialmente em vertentes com comprimento maior que 20m e menor que 320m, concentrando-se majoritariamente (90%) nas vertentes de 40 a 160m.

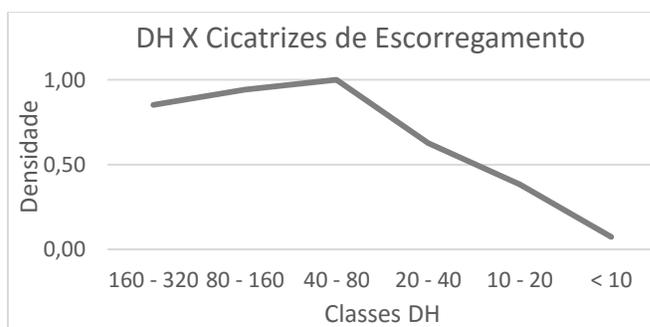
Figura 43 - Bacia do rio da Onça. A – Dissecação horizontal; B – Dissecação vertical; C – Declividade (Disponível em maior escala no APÊNDICE G).



Fonte: elaborado pelos autores.

Quadro 22 - Relação da dissecação horizontal com as cicatrizes de escorregamento.

Classe DH (m)	% Classe ¹	% Cicatrizes ²	Densidade/normal ³
> 320	0,91%	0,48%	
160 - 320	18,75%	18,35%	0,85
80 - 160	35,32%	38,20%	0,94
40 - 80	28,49%	32,73% ¹	1,00
20 - 40	12,02%	8,67%	0,63
10 - 20	3,33%	1,46%	0,38
< 10	1,17%	0,10%	0,07



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

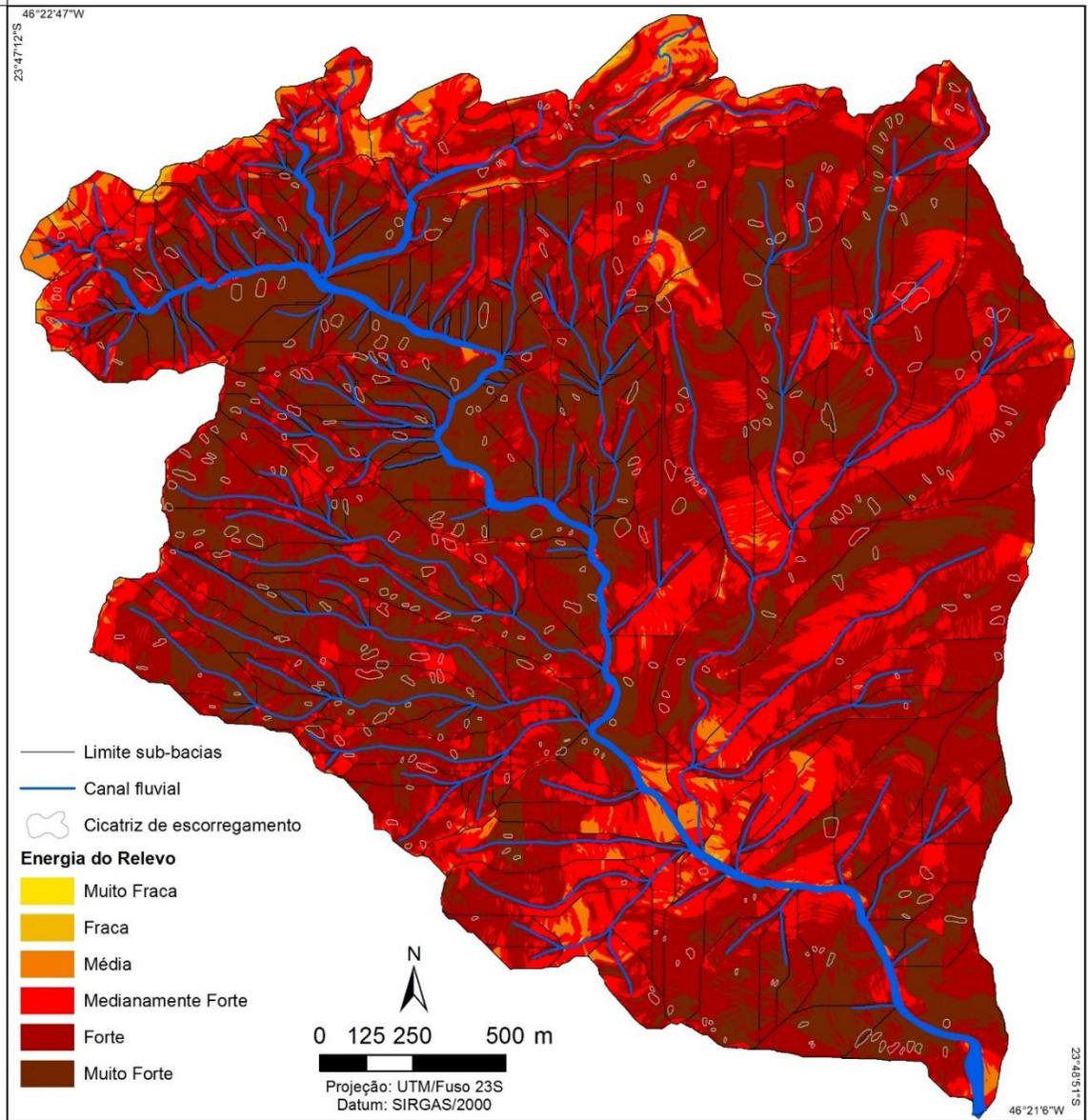
² Porcentagem da área de cicatrizes na classe em relação ao total da área de cicatrizes na bacia.

³ Densidade de cicatrizes na classe normalizada pelo maior valor de densidade de cicatrizes.

Fonte: elaborado pelos autores.

Observa-se no quadro 23 que as cicatrizes de escorregamentos apresentaram uma correlação positiva com a DV nas Classes de 1 a 5 e uma correlação negativa fraca nas Classes 6 e 7 o que resultou em um coeficiente de correlação positivo (CCP 0,72). Podemos afirmar que há um aumento da densidade das cicatrizes de escorregamentos, conforme o aumento da distância vertical do canal drenagem.

Figura 44 - Energia do relevo da bacia do rio da Onça (Disponível em maior escala no APÊNDICE H).

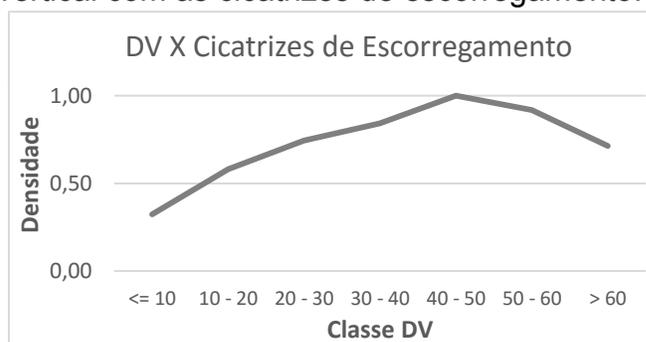


Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 24 ilustra uma correlação fortemente positiva entre as cicatrizes de escorregamento e a DEC (CCP 0,92). Aproximadamente 90% das cicatrizes estão concentradas em declividades superiores a 45%. Dentre as três variáveis analisadas, a declividade é a que apresenta maior correlação e conseqüentemente, a que melhor explica os escorregamentos ocorridos na bacia estudada.

Quadro 23 - Relação da dissecação vertical com as cicatrizes de escorregamento.

Classe DV (m)	% Classe ¹	% Cicatrizes ²	Densidade/normal ³
<= 10	28,18%	14,65%	0,32
10 - 20	20,03%	18,72%	0,58
20 - 30	12,47%	14,93%	0,74
30 - 40	8,76%	11,87%	0,84
40 - 50	6,74%	10,85%	1,00
50 - 60	4,91%	7,27%	0,92
> 60	18,90%	21,72%	0,71



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

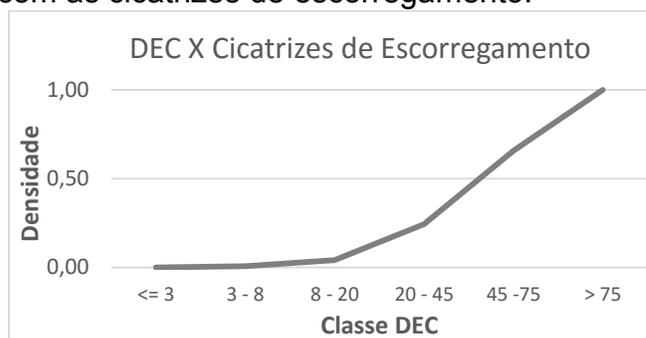
² Porcentagem da área de cicatrizes na classe em relação ao total da área de cicatrizes na bacia.

³ Densidade de cicatrizes na classe normalizada pelo maior valor de densidade de cicatrizes.

Fonte: elaborado pelos autores.

Quadro 24 - Relação da declividade com as cicatrizes de escorregamento.

Classe DEC (%)	% Classe ¹	% Cicatrizes ²	Densidade/normal ³
<= 3	2,20%	0,00%	0,00
3- 8	3,50%	0,04%	0,01
8 - 20	7,44%	0,53%	0,04
20 - 45	22,66%	9,63%	0,24
45 -75	37,69%	43,38%	0,66
> 75	26,50%	46,42%	1,00



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de cicatrizes na classe em relação ao total da área de cicatrizes na bacia.

³ Densidade de cicatrizes na classe normalizada pelo maior valor de densidade de cicatrizes.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 25 apresentam uma estatística das classes de energia do relevo e a relação existente entres essas classes e as cicatrizes de escorregamento. As cicatrizes de escorregamento apresentaram uma correlação positiva quase perfeita com a energia do relevo (CCP 0,99). Pode-se afirmar que a declividade foi determinante para esse resultado e que a correlação fortemente negativa da DH não prejudicou a correlação com a energia do relevo. Isso ocorre devido ao método empregado, no qual uma variável, principalmente a declividade, pode ser determinante.

Quadro 25 - Relação da energia do relevo com as cicatrizes de escorregamento.

Classe Energia	% Classe ¹	% Cicatrizes ²	Densidade/normal ³
Muito Fraca	0%	0%	
Fraca	0,24%	0%	
Média	3,35%	0,45%	0,09
Med. Forte	19,18%	8,84%	0,31
Forte	45,57%	44,23%	0,66
Muito Forte	31,67%	46,48%	1,00



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de cicatrizes na classe em relação ao total da área de cicatrizes na bacia.

³ Densidade de cicatrizes na classe normalizada pelo maior valor de densidade de cicatrizes.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para comparar os resultados entre as duas bacias, as áreas relativas das três classes de maior intensidade de cada uma das variáveis consideradas e da energia do relevo foram somadas. O resultado pode ser observado na tabela 8.

Tabela 8 - Comparação dos resultados da bacia córrego do Cavalheiro e bacia do rio da Onça.

Classes agrupadas de DH, DV, DEC e Energia	% das classes em relação ao total da área da bacia	
	Bacia córrego do Cavalheiro (Analândia)	Bacia do rio da Onça (Cubatão)
DH (0 – 40m)	3,03%	16,52%
DV (> 40m)	27,42%	42,87%
DEC (>20%)	30,99%	86,85%
ENERGIA (Med. Forte, Forte e Muito Forte)	40,45%	96,42%

Fonte: elaborado pelos autores.

Os dados apresentados mostram claramente as diferenças entre o relevo de uma bacia localizada nas escarpas do Planalto Atlântico e o relevo de uma bacia situada na transição das *cuestas* com a Depressão Periférica Paulista. A bacia do rio da Onça apresentou maiores porcentagens nas três classes mais elevadas em todas as variáveis, refletindo um relevo onde as formas são muito dissecadas, com elevada densidade de drenagem, vales fortemente entalhados e alta declividade das vertentes. Todas essas características contribuem para um predomínio de altas classes de energia do relevo em 96% da bacia e comprovam que essa área está sujeita a processos denudativos intensos e a grande probabilidade de ocorrência de movimentos de massa.

Já a bacia do córrego do Cavalheiro apresentou porcentagens menores, coincidindo com as características de um relevo com formas de dissecção média, marcado por densidade de drenagem, entalhamento dos vales e declividade das vertentes inferiores em relação a região da Serra do Mar. O relevo da área foi bem representado pelos 40% de predomínio das classes mais elevadas de energia do relevo que concentram-se principalmente no *front* cuestasiforme. No entanto, a bacia mostrou-se susceptível à intensa atividade erosiva nos terrenos mais dissecados, onde se constatou-se uma concentração de ocorrência de voçorocas, sulcos e ravinas em embasamentos constituídos principalmente por arenitos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados foi possível verificar a correlação espacial de cada uma das três variáveis em relação aos processos analisados. Observou-se que quando pelo menos uma das variáveis apresenta correlação fortemente positiva com o processo estudado, a energia do relevo tende a seguir essa tendência. Nas áreas estudadas, a declividade foi a variável que apresentou maior correlação com os três processos e, conseqüentemente, determinou uma correlação positiva com a energia do relevo. As correlações das variáveis DH e DV com os processos analisados oscilaram do positivo ao negativo e foram discordantes entre si em todos os casos, ou seja, quando a DH apresentou uma correlação positiva a DV foi negativa e vice versa.

A energia do relevo apresentou correlação espacial fortemente positiva com os processos de escorregamento translacionais rasos na bacia do rio da Onça e com as voçorocas presentes na bacia do córrego do Cavalheiro. A hipótese de que esses eventos devem ocorrer com maior intensidade em trechos de maior energia do relevo foi confirmada para esses dois processos.

Os sulcos/ravinas apresentaram a menor correlação positiva com a energia do relevo entre os processos analisados. Esse resultado se justifica pois a bacia do córrego do Cavalheiro apresenta inúmeras intervenções antrópicas, principalmente relacionadas às atividades agropecuárias (cana-de-açúcar e pastagem), as quais geram intensas alterações no relevo e conseqüentemente, nos fatores condicionantes dos processos

erosivos. Feições de pequena dimensão como sulcos e ravinas são diretamente influenciados por essas modificações no terreno e assim, o uso e até o tipo de solo podem influenciar o surgimento desses processos nas variadas classes de energia do relevo.

AGRADECIMENTOS

Às bolsas de doutorado concedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos no 165930/2013-6 e no 165931/2013-2.-0.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N., 1969. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. *Geomorfologia*, n.20, p.1-26, 1969.

ALMEIDA, F. F. M. D.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. S. e BRITO, S. B. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap.15, p.244-269.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. 2015. UNICAMP. Disponível em: < <http://www.cpa.unicamp.br/> >. Acesso em: 20/01/2015.

CUNHA, C. M. L.; PINTON, L. G. A cartografia do relevo como subsídio para a análise morfogenética de setor cuestasiforme. **Mercator**, v. 12, n. 27, p. 149-158, 2013.

DOBOS, E.; HENGL, T. Soil mapping applications. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. cap.20, p.461-479.

GRUBER, S.; PECKHAM, S. Land-surface parameters and objects in hydrology. In: REUTER, H. I.; HENGL, T.; GESSLER, P.; SOILLE, P. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. cap.07, p.171-194.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de Escavação**. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. 194p.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Programa Serra do Mar: Levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande**. São Paulo, 1986. Relatório n 23394, 5 vol.

LOPES, E. S. S. **Modelagem Espacial Dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – Uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista**. 2006. 282 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

MACHADO, A. C. P.; CUNHA, C. M. L. Feições denudacionais localizadas em áreas de alto potencial de acúmulo de energia: um estudo da alta bacia do rio Itanhaém, baixada santista, São Paulo. In: CONGRESO DE MEIO AMBIENTE, 7, 2012, La Plata, Argentina. **Actas...** Asociación de Universidades Grupo Montevideo, 2012. p.1-7.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and landform elements in geomorphometry. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. cap.09, p.227-256.

MARQUES NETO, R. Estudo integrado do relevo no plano de manejo da Floresta Nacional de Passa Quatro (Passa Quatro, MG): contribuições da geomorfologia na gestão de unidades de conservação. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 395–407, 2012.

MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; BOVO, R.; TELES, A. P. S. S.; CARVALHO, M. B. S.; PICARELLI, A.; MELO, E. M. M. Contribuição ao planejamento ambiental de Cosmópolis - SP - BR. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, s/n., 1991, Toluca, México. **Anais...** UEAM, 1991. p.s/p.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do córrego Lafon – Araçatuba – SP**. 1993. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

RODRIGUES, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra do Cubatão** 1992. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Física) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

SANTOS, Á. R. **A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupupiniquins à rodovia dos Imigrantes**. 1ª edição. São Paulo: O nome da Rosa, 2004. 128p.

SÃO PAULO. **Folha geológica de Corumbataí (Folha SF-23-Y-A-I-2)**. Formações Geológicas de Superfície. São Paulo: Instituto Geológico, 1984. Escala 1:50.000.

SMITH, G.-H. The relative relief of Ohio. **The Geographical Review**, v. 25, p. 272-284, 1935.

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de la Habana, 1981. 651p.

TOMINAGA, L. K. Análise e mapeamento de risco. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J. e AMARAL, R. D. (Ed.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1ª edição. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. cap.9, p.147-160.

ZACHARIAS, A. A.; FREITAS, M. I. C.; SANCHEZ, M. C. Uso da cartografia digital na elaboração de cartas morfométricas do relevo: uma proposta metodológica. **Geografia**, v. 30, n. 1, p. 37-57, 2005.

5.4 Artigo Experimento 4

AVALIAÇÃO DA ENERGIA DO RELEVO BASEADA EM CÉLULAS DE FLUXO

Evaluation of relief energy based on flow cells

Mateus Vidotti Ferreira¹

Thais Minatel Tinós²

Cenira Maria Lupinacci³

Paulina Setti Riedel⁴

RESUMO

A carta de energia do relevo utilizada no Brasil objetiva mensurar o potencial gerado pela geometria do relevo para o desencadeamento de processos morfodinâmicos a partir da combinação dos parâmetros de dissecação horizontal, dissecação vertical e declividade. No entanto, essa técnica apresenta algumas limitações relacionadas a forma de representação das vertentes e a subjetividade da classificação, que dificulta a comparação dos resultados. Uma alternativa para melhorar a representação da vertente é o emprego das células de fluxo, geradas a partir das curvas de nível, drenagem e área de contribuição. Cada célula é tratada como um elemento da paisagem, assumindo-se que tenha propriedades uniformes em seu interior. Já para reduzir a subjetividade da classificação, foi utilizado o Índice de Energia Corrente (*Stream Power Index - SPI*), que atualmente é o mais difundido internacionalmente para mensurar a energia do relevo. O SPI estabelece uma correlação entre o caminho do fluxo da água, o acúmulo do fluxo e a vertente, que juntos definem a energia potencial que a água de superfície tem para erosão. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é aprimorar a forma de obtenção de dados da energia do relevo, por meio da adaptação de uma proposta de células de fluxo em conjunto com a utilização do SPI. Para validar os resultados obtidos, buscou-se aplicar a técnica em duas áreas com características geomorfológicas diferenciadas e verificar a correlação espacial entre os produtos gerados a partir da nova técnica e a ocorrência de movimentos de massa e feições erosivas. Também foi realizada uma comparação com uma carta de energia do relevo. Os resultados mostraram que a energia do relevo é um instrumento melhor para a análise dos processos de escorregamento e voçorocamento e que o SPI não é um parâmetro geomorfométrico equivalente para substituí-la. Contudo, uma evolução ocorreu quanto a técnica proposta para a geração das células de fluxo, que se mostrou mais simples e objetiva que experimentos anteriores, além de mais precisa na representação das formas das vertentes. Além disso, as células de fluxo demonstraram grande potencial para o estudo de outros parâmetros, como dissecação vertical e comprimento de rampa.

PALAVRAS-CHAVE: Análise morfométrica; SPI; Área de contribuição; Declividade.

ABSTRACT

The map of relief energy used in Brazil aims to measure the degree of potential energy to trigger morphodynamic processes from the combination of horizontal dissection, vertical dissection and elevation gradient. However, this technique presents some issues regarding the form of representation of the slopes and the subjectivity of the classification, which makes it difficult to compare results. Currently, in international scope, the most used index to measure the relief energy is Stream Power Index – SPI. SPI establishes a correlation between flow path, flow accumulation and slope, which together define the potential energy that surface water has to erosion. In this context, in order to improve the extraction of relief energy data from the SPI, this work proposes a new technique for calculating this parameter from the adaptation of flow cells. Each cell is bounded by contour lines and flow lines and it's treated as a landscape element that has uniform properties within. A set of flow cells creates a contribution area, which multiplied by elevation gradient, indicates the potential energy that surface water has to erosion. To validate the results, the technique was applied in two different areas and the spatial correlation between the products generated from the new technique and the occurrence of mass movement and erosive features was ascertained. A comparison with a relief energy map was also made. The results showed that the relief energy is a better tool for analysis of landslides and gullies and that SPI is not a geomorphometric parameter equivalent to replace it. Nevertheless, an evolution occurred in the proposed technique for generation of flow cells, which is more simple and objective than previous experiments, besides providing better representation of the landforms. Furthermore, the flow cells demonstrated great potential for the study of other parameters such as vertical dissection and ramp length.

KEY-WORDS: Morphometric analysis; SPI, Upslope contributing area; Slope.

INTRODUÇÃO

As primeiras pesquisas sobre a morfometria do relevo aplicada aos estudos da dinâmica fluvial e do nível de dissecação das bacias de drenagem chegaram ao Brasil através do trabalho de Christofolletti (1969). Com a evolução dos conhecimentos acerca desse tema, diversos trabalhos contribuíram nas décadas seguintes para os avanços nas pesquisas sobre morfometria do relevo, incluindo propostas de técnicas que possibilitaram cartografar variados atributos, como a declividade por De Biasi (1970), dissecação vertical e horizontal por Spiridonov (1981) e adaptado por Mauro et al. (1991) e a energia do relevo por Mendes (1993), que propôs um agrupamento das informações das cartas de dissecação horizontal e vertical e de declividade em um único documento síntese.

A carta de energia do relevo desenvolvida por Mendes (1993) objetivava mensurar o potencial do relevo para o desencadeamento de processos morfodinâmicos, ou seja, o potencial de acúmulo de energia. Mas fora do Brasil, o

conceito de energia do relevo é variado e essa técnica pouco difundida, visto que a elaboração de mapas de dissecação vertical e horizontal é pouco utilizada. De acordo com Smith (1935), os primeiros trabalhos, desenvolvidos na Alemanha, Polônia e Estados Unidos, tratavam a energia do relevo como um índice calculado a partir de uma razão entre a amplitude local do relevo e a porcentagem total da área a partir da análise em uma malha regular de quadrados. Décadas mais tarde, o trabalho do mexicano Hubp (1988) apresentou ideia semelhante, em que o cálculo era realizado subtraindo o ponto de menor elevação do ponto de maior elevação para uma determinada área considerada, mantendo o uso de uma malha regular de quadrados para a análise dos resultados.

A proposta de Mendes (1993) diverge dos estudos anteriores ao abandonar o uso da malha regular e entender a energia do relevo como a combinação das seguintes propriedades das vertentes: extensão horizontal (dissecação horizontal), amplitude altimétrica (dissecação vertical) e declividade. Dessa forma, a carta de energia do relevo de Mendes (1993) é uma síntese de três cartas morfométricas e não apenas um índice gerado através de uma equação. Contudo, como citado em Ferreira et al. (2015, não publicado), os métodos utilizados para a construção das cartas de dissecação vertical e horizontal empregadas na elaboração da carta de energia do relevo deixam dúvidas com relação a sua eficiência para a análise de áreas em diferentes condições climáticas, principalmente de vertentes em ambientes quentes e úmidos nos quais domina o formato convexo. Além disso, a combinação das classes de DH, DV e DEC para a geração do mapa de energia do relevo proposta por Mendes (1993) é subjetiva, impedindo a comparação dos resultados, visto que cada tabela é ajustada de acordo com a interpretação do usuário.

Atualmente, em âmbito internacional, o índice mais empregado para mensurar a energia do relevo é denominado de Índice de Energia Corrente (Stream Power Index - SPI). O SPI estabelece uma correlação entre o caminho do fluxo da água, o acúmulo do fluxo e a vertente que juntos definem a energia potencial que a água de superfície tem para provocar a erosão. Fundamentalmente o SPI é calculado pela multiplicação da declividade e área de contribuição acima de um ponto e pode ser usado para descrever o fluxo de erosão potencial e a relação com os processos morfodinâmicos. Em uma bacia específica, com o aumento da declividade, a quantidade e velocidade do fluxo de água aumentam e conseqüentemente, a energia corrente e o potencial de erosão aumentam (GRUBER e PECKHAM, 2008).

Esse índice foi proposto inicialmente por Bagnold (1960) e desde então surgiram diversas modificações, como nos trabalhos de Moore e Burch (1986) e Moore, Burch e Mackenzie (1988) que apresentaram uma revisão e discussão das equações para o cálculo desse índice. Dentre os trabalhos recentes que empregaram o SPI para análise de processos erosivos destacam-se Conforti et al. (2010), Lucà, Conforti e Robustelli (2011), Märker, Pelacani e Schröder (2011), Magliulo (2012), Conoscenti et al. (2013), Conoscenti et al. (2014).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é aprimorar a forma de obtenção de dados da energia do relevo, por meio da adaptação das células de fluxo, proposta por Onstad e Brakensiek (1968), em conjunto com a utilização do parâmetro geomorfométrico SPI. Onstad e Brakensiek (1968) propuseram uma metodologia para a criação de células de fluxo a partir do traçado de linhas ortogonais às curvas de nível. Essas linhas, denominadas pelos autores de linhas de fluxo (*stream path*), originam uma rede de fluxo de potencial gravitacional. Cada célula delimitada é tratada como um elemento da paisagem, em que se assume que tenha propriedades uniformes em seu interior. Cada elemento tem um formato irregular, refletindo a morfologia da vertente, sendo delimitado pelas curvas de nível e pelas linhas de fluxo.

A técnica desenvolvida poderia substituir a energia do relevo proposta por Mendes (1993) por um índice (SPI) que indica a energia potencial que a água de superfície tem para erosão, calculado a partir da área de contribuição de cada canal de drenagem e da declividade. Na proposta de Mendes (1993) o resultado da combinação da DH, DV e DEC são classes qualitativas de energia do relevo (Baixo, Médio, Alto, etc.). A utilização do SPI permite a quantificação dessa energia, tornando o resultado menos subjetivo.

Para validar os resultados obtidos, buscou-se verificar a correlação espacial entre os produtos gerados a partir da nova técnica para o cálculo da energia do relevo e a ocorrência de movimentos de massa e feições erosivas. Também foi realizada uma comparação com a correlação espacial entre a energia do relevo, mapeada segundo a proposta de Mendes (1993), e a ocorrência desses processos morfodinâmicos.

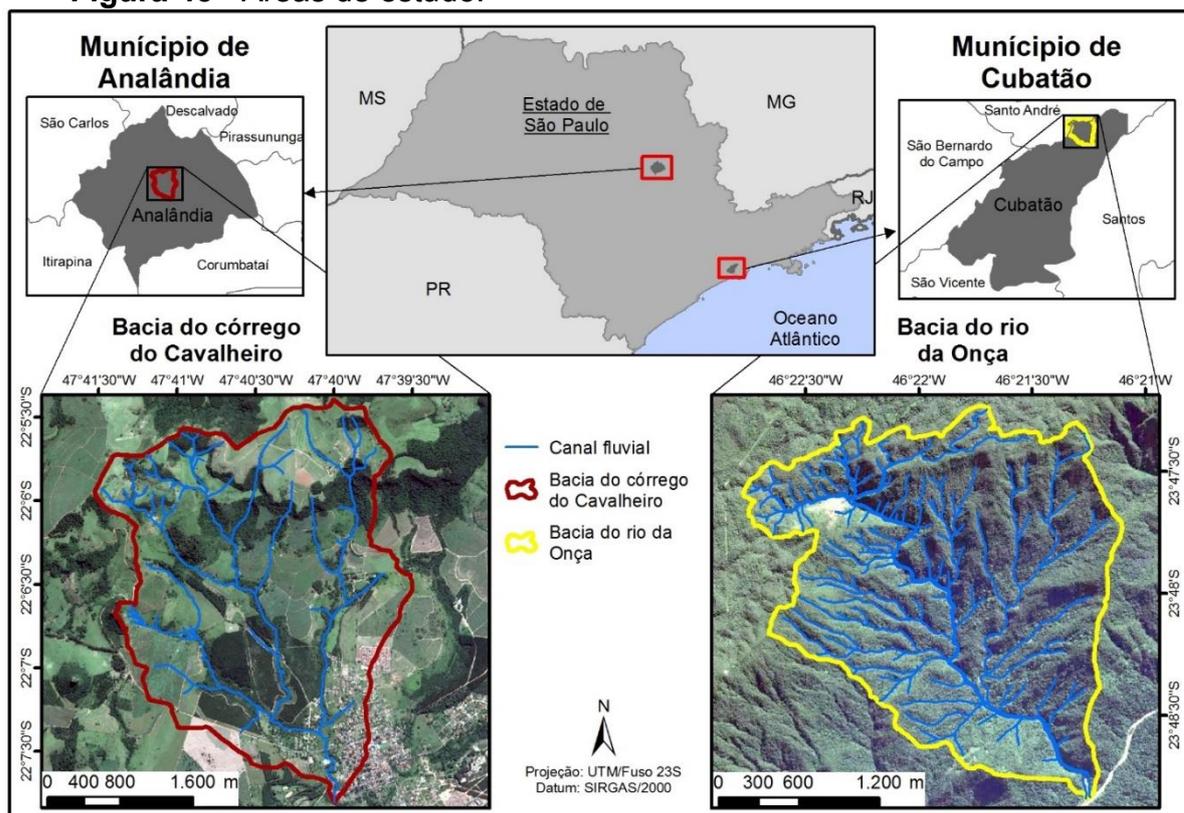
Foram selecionadas duas áreas de estudo para a aplicação da técnica. Ambas estão localizadas no Estado de São Paulo, sendo uma no interior e outra no litoral, e apresentam um histórico de alta susceptibilidade a movimentos de massa e processos

erosivos, ocasionados pelas condições geológicas, geomorfológicas, climáticas e interferências antrópicas.

ÁREA DE ESTUDO

A figura 45 mostra a localização das duas áreas de estudo selecionadas. A primeira área abrange a bacia hidrográfica do córrego do Cavalheiro, localizada no município de Analândia, SP, em meio ao relevo de *cuestas* arenítica-basálticas, onde ocorrem variadas feições derivadas de erosão linear como sulcos, ravinas e voçorocas. A segunda área abarca a bacia hidrográfica do rio da Onça, localizada no município de Cubatão, SP, na Serra do Mar, região onde foram registrados inúmeros escorregamentos translacionais ao longo das últimas décadas.

Figura 45 - Áreas de estudo.



Fonte: elaborado pelos autores.

A bacia hidrográfica do córrego do Cavalheiro localiza-se no município de Analândia, possuindo uma área de aproximadamente 9,9 km². Esta bacia situa-se na maior unidade geológica do Estado de São Paulo - a bacia sedimentar do Paraná, sendo disposta na transição entre as *Cuestas* Areníticas-Basálticas e a Depressão

Periférica Paulista. De acordo com Ab'Sáber (1969), a gênese de ambos os compartimentos está relacionada com o processo de circundesnudação, de idade pós-cretácea, ocorrido nas margens da bacia sedimentar do Paraná e ambos se desenvolvem sobre litologias cuja deposição ocorreu desde o período Mesozoico (Formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral) (SÃO PAULO, 1984). Constam também na área as Formações Santa Rita do Passa Quatro e Itaqueri vinculadas ao período Cenozóico, no entanto, é necessário destacar que não há um consenso para a datação da última, pois essa já foi considerada inicialmente como série basal do Grupo Bauru e, atualmente, alguns autores indicam que sua formação pode ser posterior ao referido grupo (MELO, 1995).

A área apresenta um clima tropical marcado por uma estação de verão chuvosa e uma estação de inverno seca, com precipitação anual de aproximadamente 1300 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (236mm) e julho o mais seco (25mm) (CEPAGRI, 2015). A área da bacia é ocupada majoritariamente por atividades agropecuárias como pasto, silvicultura, lavoura permanente (laranja, madeira para papel e celulose e café), cana-de-açúcar, além de pequenos trechos de mata e área urbanizada. Essa área apresentou um elevado número de processos erosivos lineares, como sulcos, ravinas e voçorocas, já descritos por Cunha e Pinton (2013). O desenvolvimento dessas feições é acelerado pelas intensas chuvas de verão, pelo solo de textura arenosa e pela prática inadequada das atividades agrícolas.

A bacia hidrográfica do rio da Onça localiza-se no município de Cubatão e abrange uma área de aproximadamente 5,5 km². A bacia está inserida no relevo escarpado da Serra do Mar, que separa o Planalto Paulistano da Baixada Santista. A área é constituída predominantemente por rochas com diferentes graus de metamorfismo do embasamento cristalino, que está dividido em duas grandes unidades litoestratigráficas, representadas pelo Grupo Açungui do Proterozóico superior e pelo Complexo Costeiro do Arqueano. Tais unidades encontram-se compartimentadas pela zona de falhamento transcorrente de Cubatão, que põe em contato rochas de diferentes resistências à erosão: metassedimentos que incluem filitos, metacalcários, xistos e quartzitos no bloco norte, e um complexo gnáissico-migmatítico granítico ao sul (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). A área de estudo está situada em uma das regiões do Brasil com maiores índices pluviométricos, com chuvas bem distribuídas pelo ano todo. Característico do clima tropical úmido, chove com maior intensidade nos meses de novembro a março, com médias anuais

superiores a 2500 mm (CEPAGRI, 2015). Em uma região de Mata Atlântica, mais especificamente localizada em uma parte de encosta da mata, a bacia abriga uma floresta pluvial tropical de encosta e toda sua área é recoberta por essa vegetação (RODRIGUES, 1992). Esta bacia apresentou a maior densidade de cicatrizes de escorregamento por quilômetro quadrado do município segundo o inventário de 1985 realizado por Lopes (2006). Na Serra do Mar, embora ocorram outros tipos de escorregamentos, o mais atuante na dinâmica superficial é o escorregamento translacional raso (AUGUSTO FILHO; VIRGILI, 1998). Esse tipo de escorregamento ocorre especialmente em áreas de encostas retilíneas com inclinação acima de 30° e rupturas positivas de declive, e muitas vezes é induzido na área da bacia pela concentração de águas superficiais e desmatamento. (SANTOS, 2004).

MATERIAIS E MÉTODOS

A base cartográfica utilizada para as duas áreas constitui-se de cartas topográficas na escala 1:10.000. As folhas Analândia I (SF-23-Y-A-I-2-NO-F), Analândia II (SF-23-Y-A-I-2-SO-B) e Serra da Estrela (SF-23-Y-A-I-2-NO-E), referentes a área de Analândia, foram executadas pela Secretaria de Economia e Planejamento do Governo do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Ação Regional – Divisão de Geografia. Para a área de Cubatão foram utilizadas as folhas 4215 e 4216, executadas pela Agência Metropolitana da Baixada Santista. A partir dessas cartas topográficas foram extraídas as curvas de nível, canais fluviais e pontos cotados que foram interpolados para produção de modelos digitais de elevação (MDEs) para ambas as áreas.

Mapa de energia do relevo

O mapa de energia do relevo segundo a proposta de Mendes (1993) foi produzido em trabalho anterior (FERREIRA et al., 2015, não publicado), a partir da delimitação manual de sub-bacias e intersecção dos polígonos dos mapas de DH, DV e DEC. As regras para definição das classes de energia do relevo (quadro 26) foram adaptadas da proposta de Cunha e Pinton (2013), realizada para a mesma área de Analândia. De acordo com essa proposta quanto maior a DH, DV e DEC maior será a energia do relevo. Exemplo 1: Os polígonos são classificados com uma energia Muito

Forte quando apresentarem DEC > 75% OU DH < 10m. Exemplo 2: Os polígonos são classificados com uma energia Forte quando apresentarem DEC entre 45% – 75% OU DH de 10m – 20m e a outra possibilidade é apresentarem DEC de 20% – 45% E DV > 60m. Dessa forma podemos afirmar que, de acordo com o quadro 26, a declividade e a dissecação horizontal têm maior relevância que a dissecação vertical na determinação das classes de maior energia do relevo.

Quadro 26 - Regras para definição das classes de energia do relevo.

Classe de energia do relevo	Declividade de (%)	Operador	Dissecação Horizontal (m)	Operador	Dissecação Vertical (m)	Ordem de classificação
Muito Forte	> 75	OU	< 10			1 ^a
Forte	45 – 75	OU	10 - 20			2 ^a
	20 – 45			E	> 60	3 ^a
Medianamente Forte	20 – 45	OU	20 - 40	OU	> 60	4 ^a
Média	8 – 20	OU	40 - 80	OU	50 - 60	5 ^a
Fraca	3 – 8	OU	80 - 160	OU	40 - 50	6 ^a
Muito Fraca	> 3	OU	> 160	OU	0 - 40	7 ^a

Fonte: elaborado pelos autores.

A carta de dissecação vertical empregada na elaboração do mapa de energia do relevo foi utilizada também para uma comparação com as células de fluxo propostas na nova técnica. De acordo com a adaptação de Mauro et al. (1991) da metodologia de Spiridonov (1981), a dissecação vertical é calculada a partir das curvas de nível, canais de drenagem e linhas retas que conectem um ponto, definido a partir da intersecção do canal de drenagem com a curva de nível, ao ponto mais próximo do limite da sub-bacia com cota igual ou superior àquela do ponto inicial.

Células de fluxo e cálculo do SPI

Com o emprego da rede de canais fluviais e do MDE foi delimitada a sub-bacia de cada canal fluvial a partir de sua área de contribuição. Essa etapa foi executada com base no método de vizinhança única que indica a direção do fluxo para um pixel como sendo o pixel de maior caída (O'CALLAGHAN; MARK, 1984). Esse algoritmo é denominado também de D8, sendo o mais simples e mais usado para o cálculo da área de contribuição. O D8 apresenta uma série de limitações principalmente para áreas em que ocorrem divergências de fluxo (áreas de pico e de vertentes convexas), mas é recomendado para delimitação da área de fluxo que converge para um ponto

específico (GRUBER; PECKHAM, 2008) e por isso foi utilizado nessa etapa. Para esse procedimento foi necessário que os canais fluviais duplos presentes na bacia do rio da Onça fossem simplificados. Importante destacar que, apesar desse método ter sido utilizado para identificar as áreas de contribuição para a delimitação das sub-bacias, esse não foi empregado para o cálculo da área de contribuição das células de fluxo. Para gerar as células de fluxo e cálculo do SPI foi desenvolvida uma ferramenta, implementada por meio da linguagem de programação Python e os ArcObjects, que representam um conjunto de modelos de dados geográficos básicos, e oferecem serviços para suporte e construção de soluções na plataforma ArcGIS. A plataforma empregada foi o ArcGIS Desktop 10.2.2 (ESRI, 2014), nível de licença ArcInfo e extensões *3D Analyst* e *Spatial Analyst*. O Algoritmo está disponível no **Apêndice N** do trabalho e a seguir são descritos os passos realizados pela ferramenta para a geração das células de fluxo e cálculo do SPI.

Passo 1: Determinação de células de fluxo.

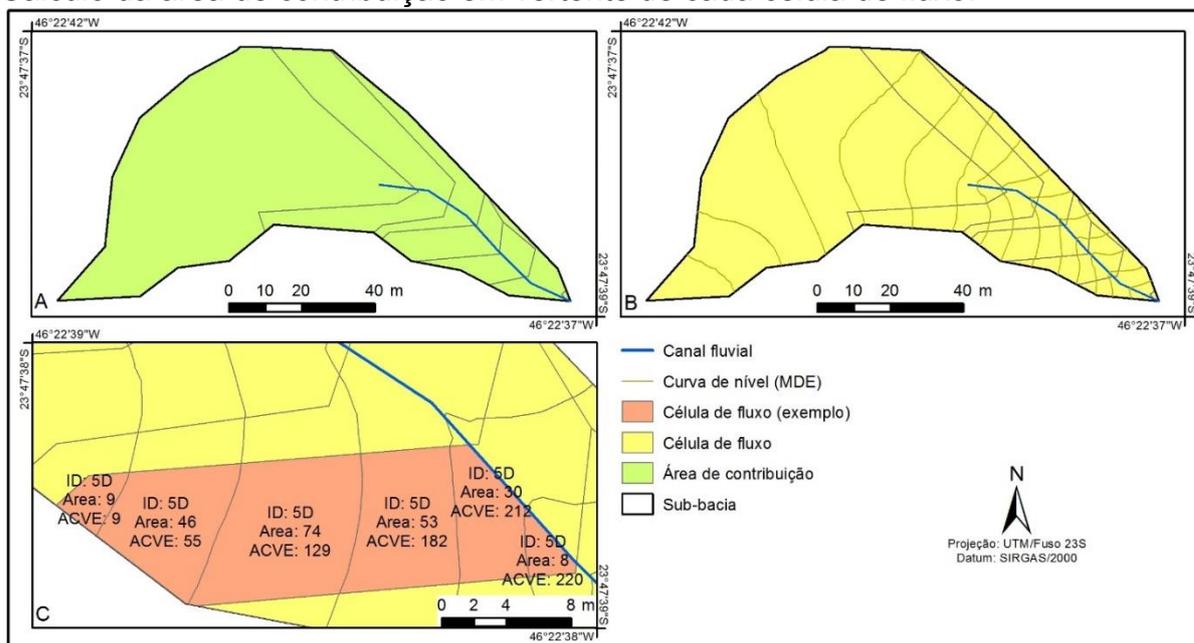
A) Seleciona-se o canal fluvial no interior de uma das sub-bacias. Esse canal é dividido em segmentos de mesmo comprimento. Nesse trabalho, os canais foram divididos em segmentos de 10m, que representa 5 vezes a menor distância linear distinta na escala. Por meio do método D8 é determinada a área de contribuição de cada segmento do canal fluvial (figura 46A);

B) A partir do MDE são extraídas as curvas de nível;

C) O resultado é interseccionado com o canal fluvial e com as curvas de nível para formar o que foi denominado de células de fluxo (figura 46B);

D) São calculadas a área e a altitude média de cada célula de fluxo.

Figura 46 - Determinação das células de fluxo. A) Delimitação da área de contribuição dos segmentos do canal fluvial. B) Delimitação das células de fluxo. C) Cálculo da área de contribuição em vertente de cada célula de fluxo.



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 2: Cálculo da área de contribuição em vertente (ACVE).

A) Para o cálculo da área de contribuição em vertente (ACVE), cada célula de fluxo é identificada de acordo com o segmento do canal fluvial a que está relacionada e com sua posição em relação ao segmento, que pode ser à direita ou à esquerda;

B) As células de fluxo relacionadas a um mesmo segmento do canal fluvial e localizadas em um mesmo lado, são processadas em ordem decrescente de altitude. Para a célula de maior altitude é calculada como ACVE o valor de sua área. Para a segunda célula de maior altitude é calculada como ACVE da área da primeira célula mais a sua respectiva área e assim por diante, como pode ser observado na figura 46C;

C) O passo 2B é repetido para todas as demais células de fluxo de acordo com o identificador criado em 2A.

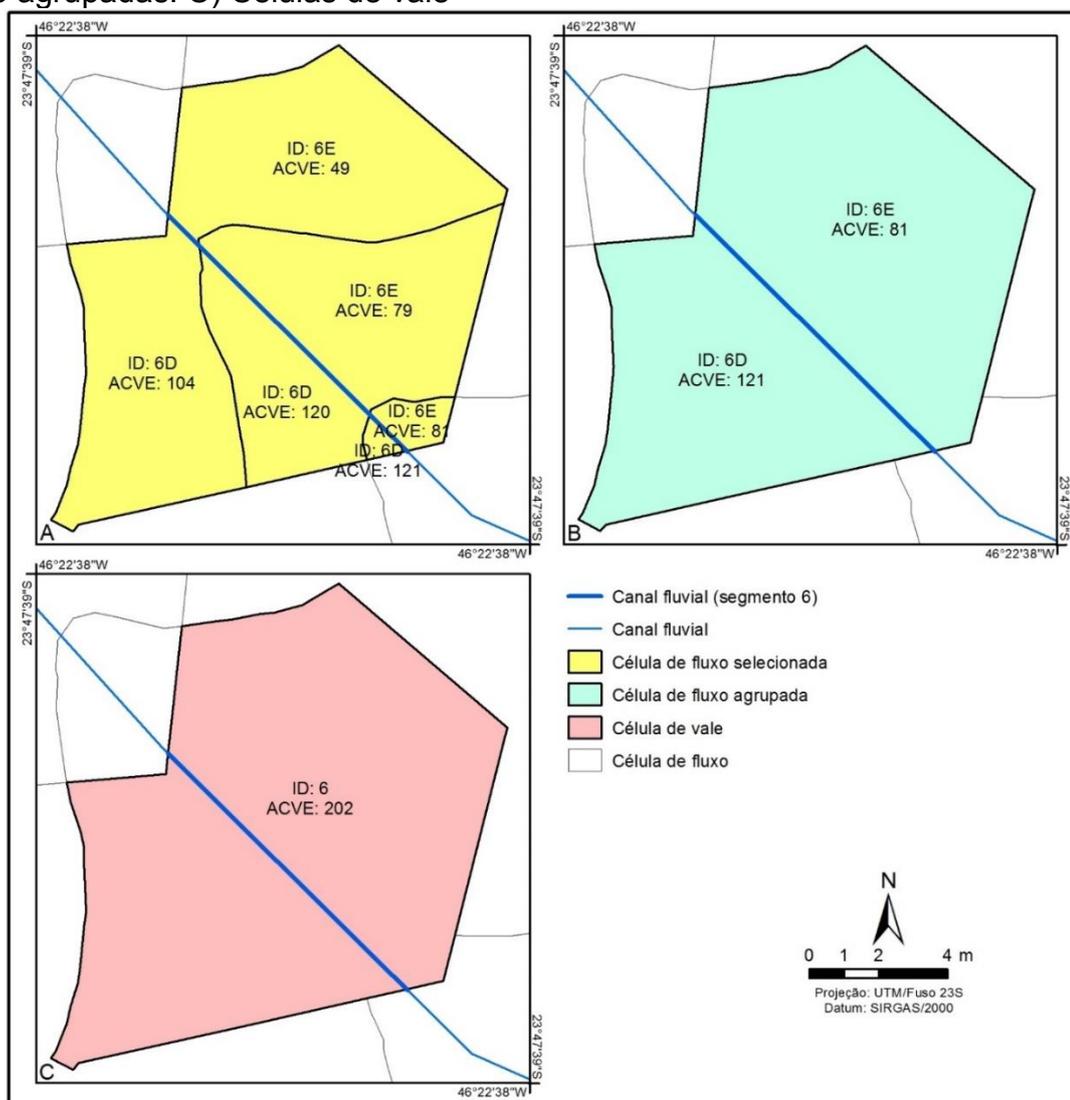
Passo 3: Determinação das células de vale.

A) As células que interseccionam o canal fluvial são selecionadas para o cálculo da área de contribuição em vale (ACVA). Na figura 47A pode-se observar em detalhe as células selecionadas com os seus respectivos identificadores e áreas de contribuição. No exemplo existem seis células com o identificador 6 (sendo três 6D e três 6E), ou seja, originadas do mesmo segmento do canal fluvial.

B) As células selecionadas no passo 3A e localizadas no mesmo lado do canal fluvial são agrupadas e o valor máximo de ACVE é atribuído para os polígonos resultantes conforme a figura 47B;

C) Os polígonos resultantes do passo 3B e originados do mesmo segmento do canal fluvial são agrupados e os valores de ACVE são somados, conforme a figura 47C. Os polígonos resultantes desse passo receberam o nome de células de vale.

Figura 47 - Determinação das células de vale. A) Célula de fluxo. B) Célula de fluxo agrupadas. C) Células de vale



Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 4: Cálculo da área de contribuição em vale (ACVA).

A) Para o cálculo da área de contribuição em vale (ACVA) as células de vale de todas as sub-bacias são processadas conjuntamente. Partindo de uma nascente, são selecionados os canais até chegar no exutório da bacia. No exemplo apresentado na

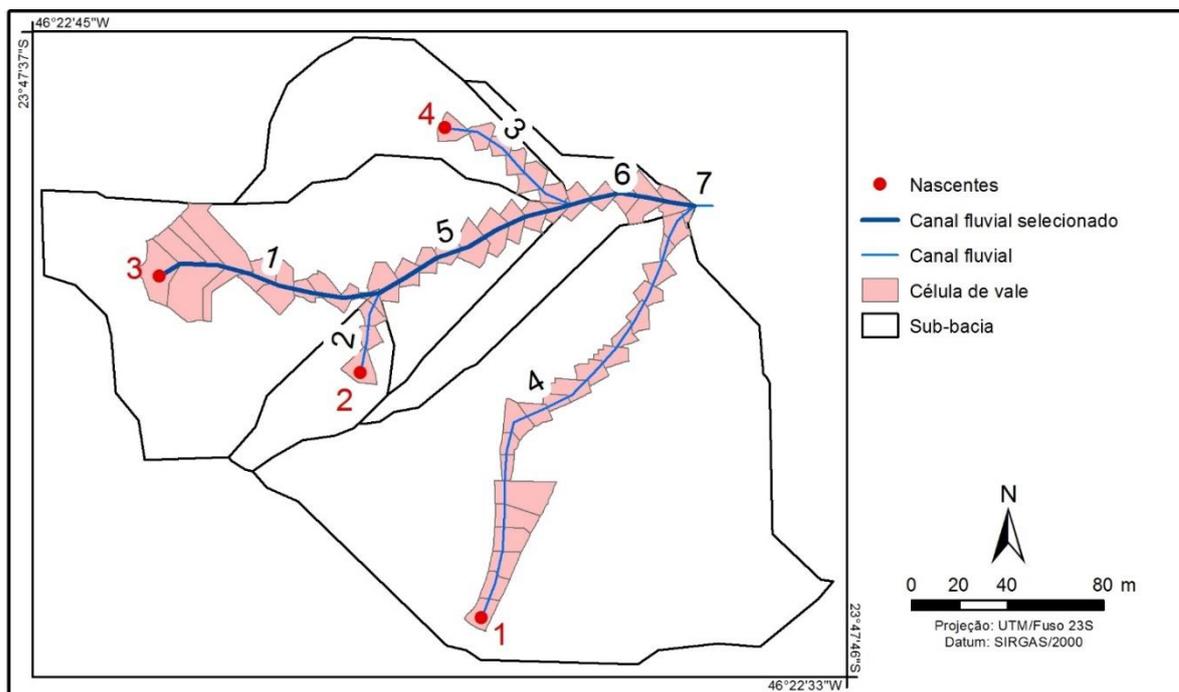
figura 48, partindo da nascente 3, foram selecionados os 3 canais (1, 5, 6) subsequentes até chegar ao exutório (7) da bacia;

B) As células de vale que interceptam os canais selecionados no passo 4A são então processadas. Segue-se a mesma ordem estabelecida para os canais, da nascente até o exutório da bacia. As células de vale de cada canal são ordenadas pela elevação média em ordem decrescente;

C) Nos canais de primeira ordem, à primeira célula de vale é atribuído apenas o valor de ACVE para ACVA. Para a segunda célula o valor de ACVA é definido como sendo o valor de ACVE da segunda célula mais o valor de ACVA da primeira célula. Assim sucessivamente até atingir a célula de menor elevação;

D) A partir dos canais de segunda ordem, as células receberão o fluxo de outras bacias, e por isso serão processadas mais de uma vez. No exemplo observado na figura 48, as células do canal 6 serão processadas 3 vezes, pois estão conectadas às nascentes 2, 3 e 4. No primeiro processamento, o valor de ACVA de determinada célula do canal 6 será definido como o valor de ACVE mais o valor de ACVA da célula anterior. A partir do segundo processamento, o valor de ACVA de cada célula do canal 6 será definido como o valor do ACVA das mesmas mais o ACVA da célula de menor elevação da bacia de primeira ordem da nascente que está sendo processada no momento.

E) Um novo arquivo de células de fluxo atualizadas é criado a partir desses procedimentos. Para esse arquivo a ACVE passa a ser denominada apenas de área de contribuição (AC). As células que interseccionam o canal fluvial são substituídas pelas células de vale e como AC é atribuído o valor de ACVA.

Figura 48 - Células de vale para cinco bacias selecionadas

Fonte: elaborado pelos autores.

Passo 5: Cálculo do SPI.

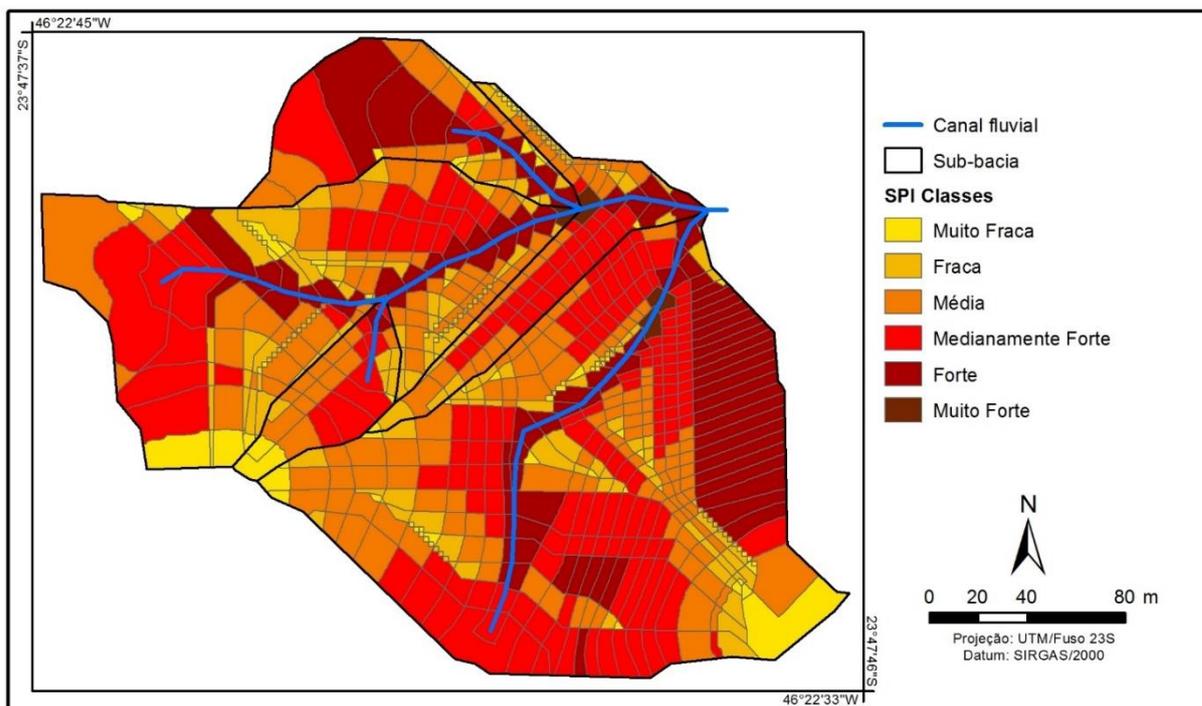
- A) Calcula-se a média de declividade para cada célula de fluxo atualizada.
- B) Calcula-se o SPI (*Stream Power Index*) por meio da equação 9.

$$SPI = \ln(AC \cdot D) \quad (9)$$

Em que: AC é a área de contribuição e D é a declividade média da célula de fluxo em porcentagem.

C) Para permitir a comparação do SPI com a energia do relevo, os valores de SPI foram classificados nas mesmas seis classes de energia apresentadas no quadro 26. Para o agrupamento foi utilizado um método de classificação denominado de quebras naturais (*natural breaks*). Esse método busca reduzir a variância no interior de cada classe e aumentar a variância entre as classes. A figura 49 representa o SPI com os valores classificados reorganizados de forma qualitativa.

Figura 49 - Classificação qualitativa do SPI para as células de fluxo



Fonte: elaborado pelos autores.

Validação

Para área de Cubatão e Analândia foram utilizados cadastros de cicatrizes de escorregamento, sulcos/ravinas e voçorocas pré-existente. O cadastro de cicatrizes de escorregamento foi elaborado por Lopes (2006) por meio da interpretação visual de fotografias aéreas de 1985. Foram delimitados os corpos principais dos escorregamentos, ou seja, as áreas que deram origem ao processo. Foram extraídas 339 cicatrizes que somadas totalizaram uma área de aproximadamente 120907m². O cadastro de voçorocas, sulcos e ravinas foi elaborado por Ferreira et al. (2015, não publicado) por meio de interpretação visual de imagem orbital de alta resolução do satélite GeoEye, adquirida por meio do serviço Bing Maps da empresa Microsoft, com data de 2011. Foram extraídas 12 voçorocas que somadas totalizaram uma área de 59538m². As ravinas e sulcos foram analisados conjuntamente, devido à dificuldade de estabelecer um critério objetivo para sua diferenciação por meio da interpretação das imagens. Foram extraídas 325 feições de sulcos e ravinas totalizando uma extensão de 8766m. Não foram extraídos sulcos e ravinas nas áreas de vegetação natural, silvicultura e urbana, devido à impossibilidade de visualizar essas feições nessas áreas por meio de imagens.

Para cada classe de energia do relevo e SPI verificou-se a densidade de ocorrência de cicatrizes de escorregamentos na área de Cubatão e a densidade de ocorrência de voçorocas e sulcos/ravinhas na área de Analândia. Buscou-se com essa análise verificar a correlação existente entre os produtos resultantes dessas técnicas e os processos considerados nesse trabalho. Foi calculada a densidade normalizada das feições em cada classe das variáveis, dividindo a soma da área ou perímetro de um processo em uma classe pelo total da área da mesma classe. Os valores de densidade foram normalizados dividindo-os pelo máximo de densidade observado entre as classes da variável. Os valores foram normalizados para permitir a comparação entre os valores de densidades diferentes.

As classes com áreas relativas menores que 1% do total das áreas das bacias e com menos de 1% de ocorrência do processo analisado não foram consideradas para o cálculo da densidade normalizada. O coeficiente de correlação Pearson (CCP) foi calculado para as classes das variáveis e suas respectivas densidades normalizadas para verificação da correlação espacial.

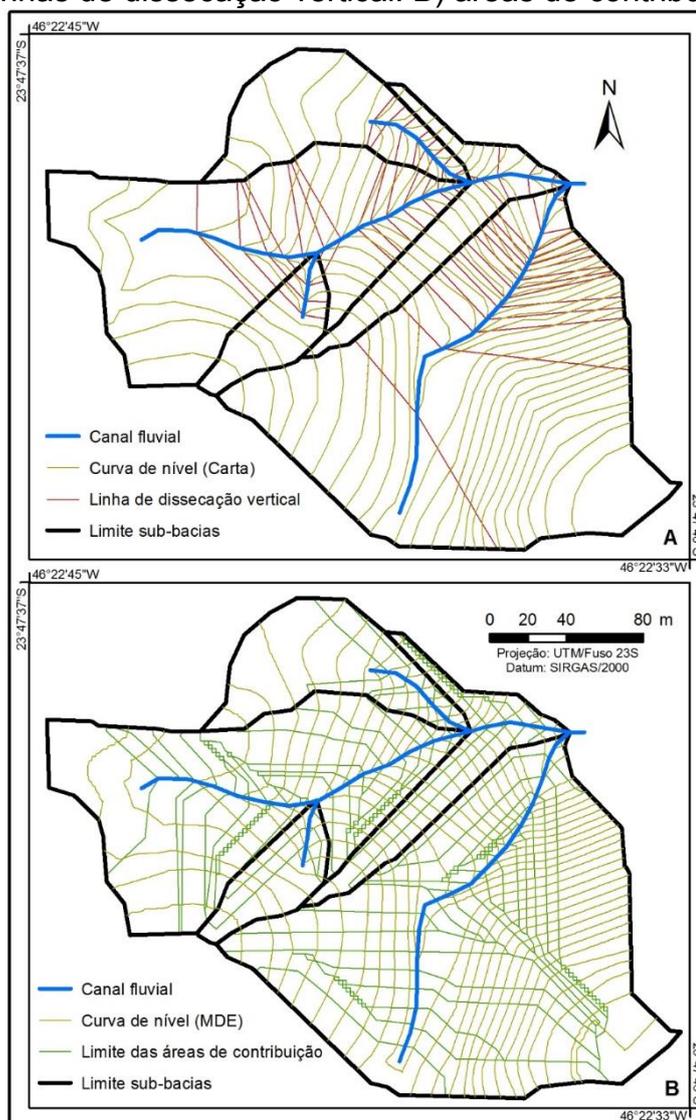
RESULTADOS E DISCUSSÃO

As células de fluxo foram geradas com o objetivo de superar limitações relacionadas às linhas retas construídas para o cálculo da DV na adaptação de Mauro et al. (1991) e empregada por Mendes (1993) na construção de sua carta de energia do relevo. No trabalho de Ferreira et al. (2015, não publicado) foi identificado que essas linhas retas não respeitam a forma das vertentes em ambientes de clima tropical, onde estas assumem formas convexas devido ao intenso intemperismo. A figura 50A ilustra um trecho da bacia do rio da Onça em Cubatão, na qual as linhas de dissecação vertical foram traçadas conforme a metodologia de Spiridonov (1981) adaptada por Mauro et al. (1991). Observa-se que essas linhas retas, que conectam um ponto de intersecção do canal de drenagem com a curva de nível ao ponto mais próximo da borda da sub-bacia, não respeitam a forma da vertente.

A proposta das células de fluxo, ilustradas na figura 50B, possibilita que a técnica represente melhor o relevo das áreas estudadas, principalmente no Brasil, onde há uma grande variedade de formas relacionadas aos diferentes domínios morfoclimáticos. As células de fluxo são o resultado do cruzamento entre as curvas de nível e as áreas de contribuição geradas por um método de fluxo unidirecional.

Trata-se de uma adaptação da proposta de Onstad e Brakensiek (1968), que objetivava originalmente o traçado de linhas de fluxo ortogonais às curvas de nível para a geração das células. No entanto, a complexa execução dessa proposta em ambiente computacional, conforme observado nos trabalhos de Moore, O'Loughlin e Burch (1988), Vertessy et al. (1993), Moretti e Orlandini (2008), motivou a adaptação aqui apresentada. Alguns resquícios do processamento matricial permanecem no mapa formando alinhamentos de pequenos polígonos, no entanto, devido à dimensão dos mesmos ($4m^2$) e a escala de trabalho adotada não é possível simplificá-los.

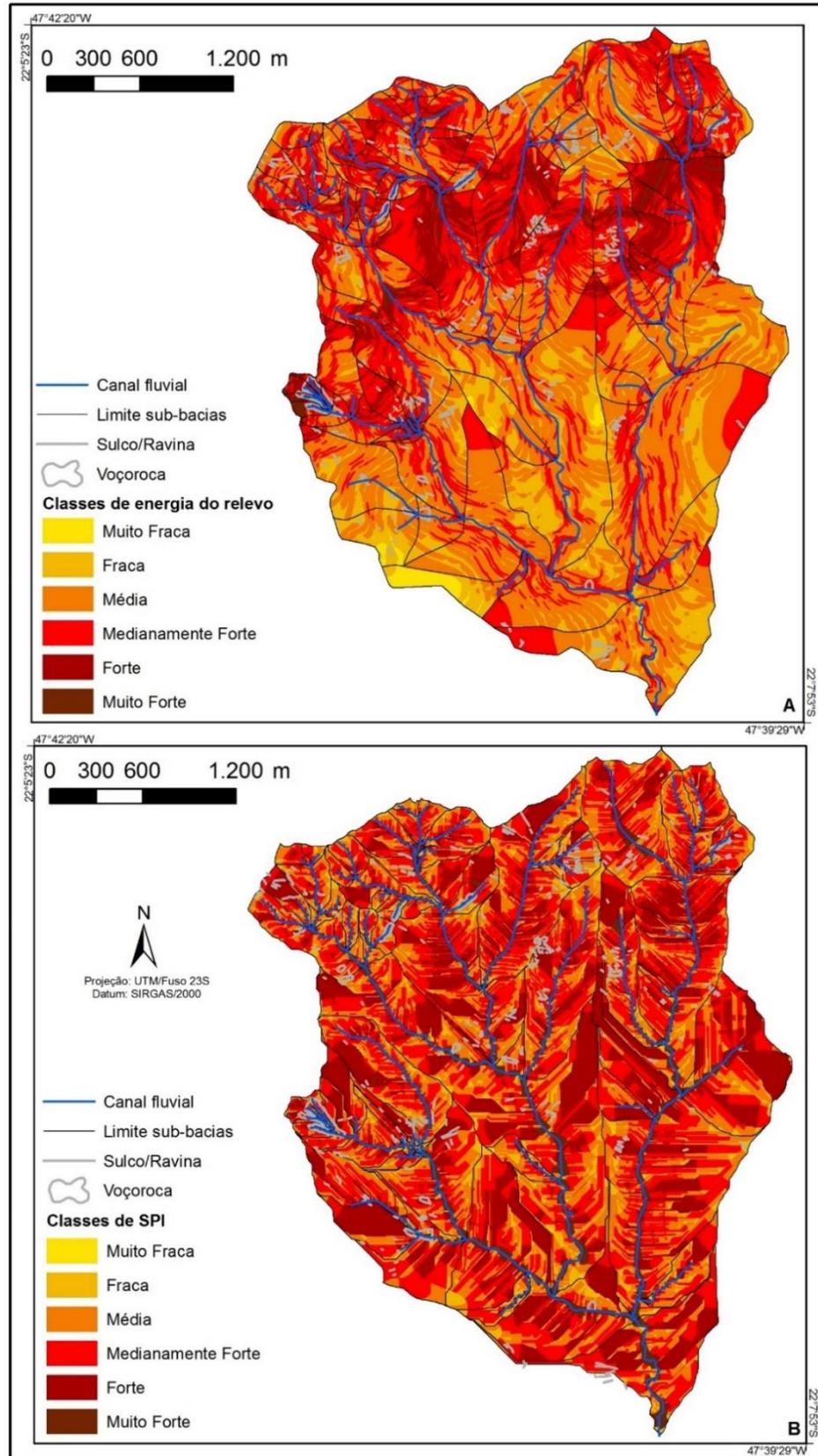
Figura 50 - Comparação entre linhas de dissecação vertical e áreas de contribuição. A) linhas de dissecação vertical. B) áreas de contribuição.



Fonte: elaborado pelos autores.

A figura 51 ilustra a distribuição de sulcos/ ravinas e voçorocas na bacia do córrego do Cavalheiro. A figura 51A mostra as classes de energia do relevo e a figura 52B as classes de SPI.

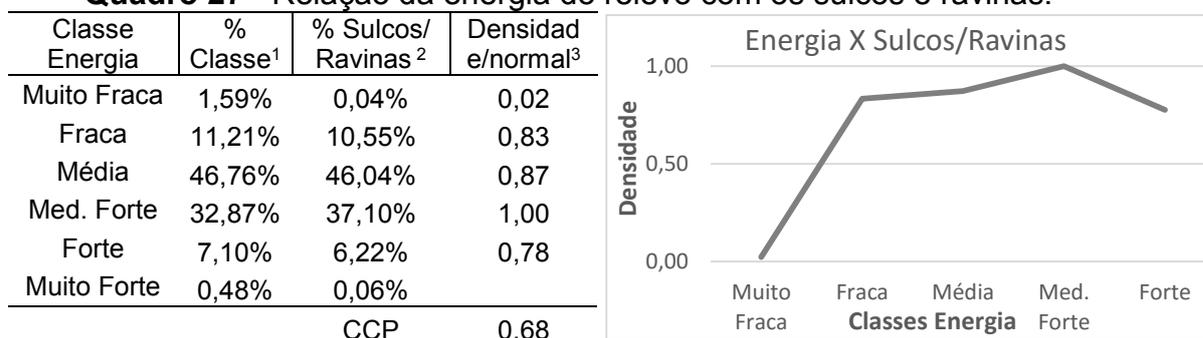
Figura 51 - Bacia do córrego do Cavalheiro. A –Energia do relevo; B – SPI (Disponível em maior escala no APÊNDICE I).



Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 27 ilustra uma correlação positiva entre os sulcos e ravinas e a energia do relevo (CCP 0,68). Contudo, se a primeira classe (Muito Fraca) for descartada da análise por sua baixa representatividade espacial (1,59%), observa-se que não houve correlação. Em trabalho anterior (Ferreira et al., 2015, não publicado) concluíram então que a ocorrência de sulcos/ravinas nessa área poderia estar mais fortemente condicionada por fatores como a constituição do solo e as práticas agropecuárias desenvolvidas do que pela energia do relevo.

Quadro 27 - Relação da energia do relevo com os sulcos e ravinas.



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da extensão de sulcos/ravinas na classe em relação ao total da extensão de sulcos/ravinas na bacia.

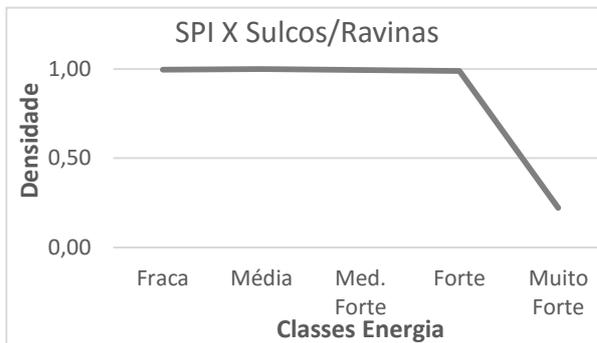
³ Densidade de sulcos/ravinas na classe normalizada pelo maior valor de densidade de sulcos/ravinas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 28 ilustra uma correlação negativa entre os sulcos e ravinas e SPI (CCP -0,72). Contudo se a última classe (Muito Forte) for descartada da análise por sua baixa representatividade espacial (1,90%), observa-se que não houve correlação. Dessa forma os resultados alcançados utilizando a energia do relevo e SPI são muito semelhantes para sulcos e ravinas.

Quadro 28 - Relação do SPI com os sulcos e ravinas.

Classe Energia	% Classe ¹	% Sulcos/Ravinas ²	Densidade e/normal ³
Muito Fraca	0,92%	0,52%	0,55
Fraca	9,26%	9,45%	1,00
Média	26,24%	26,88%	1,00
Med. Forte	36,42%	37,12%	1,00
Forte	25,25%	25,60%	0,99
Muito Forte	1,90%	0,43%	0,22
CCP			-0,71



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da extensão de sulcos/ravinas na classe em relação ao total da extensão de sulcos/ravinas na bacia.

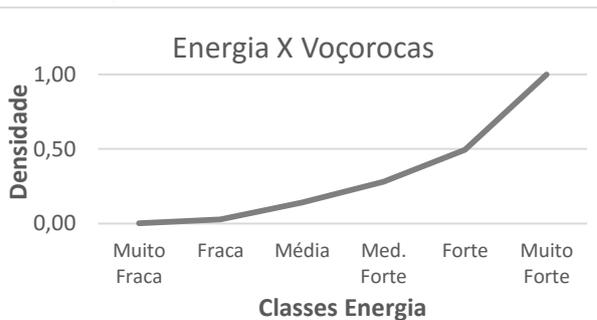
³ Densidade de sulcos/ravinas na classe normalizada pelo maior valor de densidade de sulcos/ravinas.

Fonte: elaborado pelos autores.

O quadro 29 ilustra uma forte correlação positiva entre as voçorocas e a energia do relevo (CCP 0,92). Em trabalho anterior (Ferreira et al., 2015, não publicado) concluíram que a combinação dos parâmetros de declividade e dissecação horizontal foram determinantes para se obter uma correlação positiva forte entre a energia do relevo e as voçorocas.

Quadro 29 - Relação da energia com as voçorocas.

Classe Energia (m)	% Classe ¹	% Voçorocas ²	Densidade e/normal ³
Muito Fraca	1,04%	0,01%	0,00
Fraca	12,65%	1,69%	0,03
Média	43,82%	28,72%	0,14
Med. Forte	31,28%	40,89%	0,28
Forte	9,97%	22,94%	0,49
Muito Forte	1,24%	5,76%	1,00
CCP			0,92



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de voçorocas na classe em relação ao total da área de voçorocas na bacia.

³ Densidade de voçoroca na classe normalizada pelo maior valor de densidade de voçorocas.

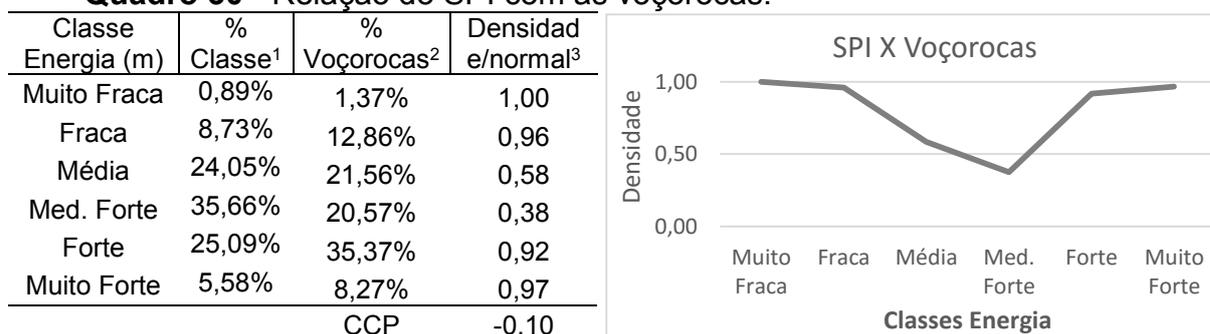
Fonte: elaborado pelos autores.

As maiores feições de voçoroca presentes na área estão instaladas ao longo dos canais fluviais, iniciando-se em algum ponto do canal e chegando até as nascentes devido a erosão remontante, como pode ser observado em detalhe na figura 52A e 52C. Assim, apresentam maior densidade nas classes forte e muito forte pois as cartas de declividade e dissecação horizontal concentram as classes altas nas áreas de interflúvio e de nascentes, que correspondem justamente as áreas de ocorrência das

grandes feições de voçorocamento. Já as voçorocas menores¹ ocorrem predominantemente em vertentes de grande extensão, onde há acréscimo no volume de água, bem como aumento progressivo da velocidade de escoamento, como pode ser observado em detalhe na figura 52B e 52D. Ao longo dessas vertentes as classes de energia variam muito, o que justifica uma distribuição da ocorrência das voçorocas entre as classes fraca, média e medianamente forte.

O quadro 30 ilustra uma não correlação entre as voçorocas e o SPI (CCP – 0,10). A densidade de voçorocas ocorre de forma bem distribuída entre todas as classes, demonstrando que o SPI não é um bom índice para a análise desse processo. Apesar desse índice tentar representar a energia potencial que a água de superfície tem para causar a erosão, parâmetros que influenciam na ocorrência de voçorocas como proximidade do canal fluvial e declividade não foram bem representados por essa análise.

Quadro 30 - Relação do SPI com as voçorocas.



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

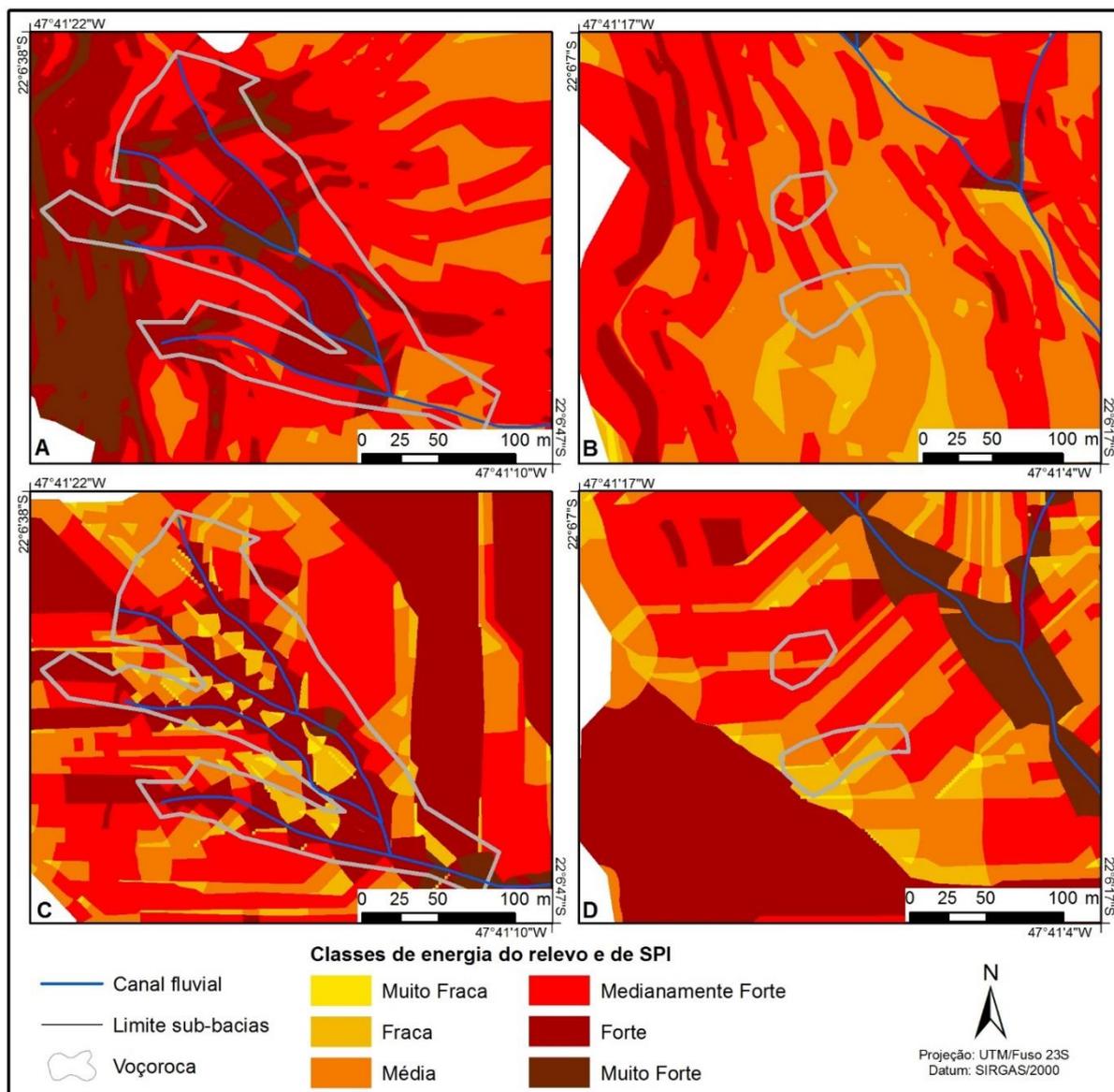
² Porcentagem da área de voçorocas na classe em relação ao total da área de voçorocas na bacia.

³ Densidade de voçoroca na classe normalizada pelo maior valor de densidade de voçorocas.

Fonte: elaborado pelos autores.

¹Neste trabalho entende-se como voçoroca a forma mais complexa de erosão linear gerada pela ação grandes concentrações de escoamento superficial (GUERRA; GUERRA, 2008)

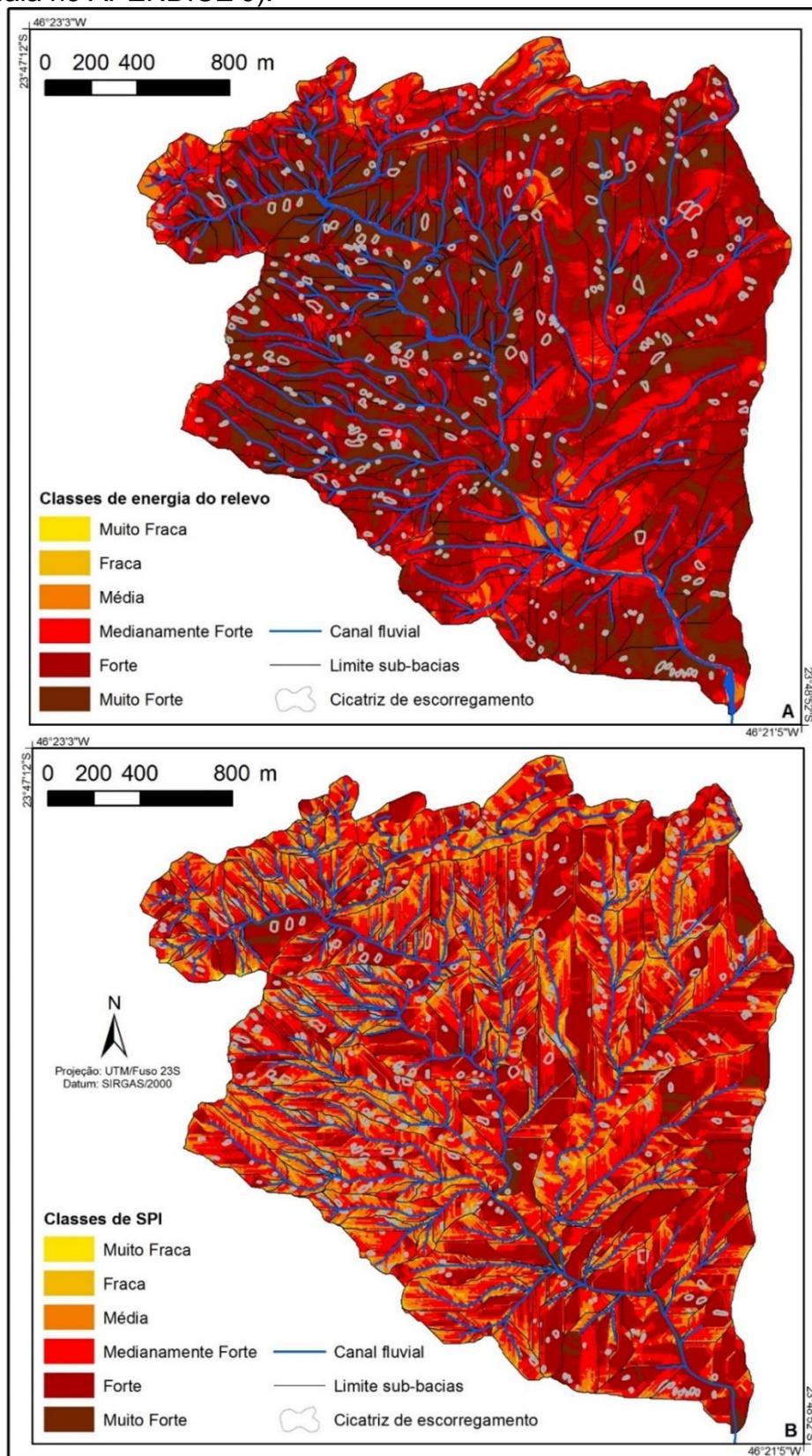
Figura 52 - Detalhes voçorocas. A – Energia do relevo e voçoroca instalada em área de nascentes. B – Energia do relevo e voçorocas instaladas em vertente. C – SPI e voçoroca instalada em área de nascentes. D – SPI e voçorocas instalada em vertente.



Fonte: elaborado pelos autores.

A figura 53 ilustra a distribuição de cicatrizes de escorregamento na bacia do rio da Onça. A figura 53A mostra as classes de energia do relevo e a figura 53B as classes de SPI.

Figura 53 - Bacia do rio da Onça. A –Energia do relevo; B – SPI (Disponível em maior escala no APÊNDICE J).



Fonte: elaborado pelos autores.

Os quadros 31 e 32 apresentam uma estatística das classes de energia do relevo e SPI e relações existente entres essas classes e as cicatrizes de escorregamento. As cicatrizes de escorregamento apresentaram uma correlação positiva quase perfeita com a energia do relevo (CCP 0,99) e uma forte correlação negativa com o SPI (CCP -0,80). Em trabalho anterior (Ferreira et al., 2015, não publicado) concluíram que a declividade foi determinante para o resultado alcançado com a energia do relevo. Contudo no cálculo de SPI, além da declividade utiliza-se a área de contribuição que não tem correlação com o processo de escorregamento, pois os mesmos não ocorrem em trechos de drenagem (maiores valores de área de contribuição) e estão mais concentrados em trechos superiores das vertentes.

Quadro 31 - Relação da energia do relevo com as cicatrizes de escorregamento.

Classe Energia	% Classe ¹	% Cicatrizes ²	Densidade/normal ³
Muito Fraca	0%	0%	
Fraca	0,24%	0%	
Média	3,35%	0,45%	0,09
Med. Forte	19,18%	8,84%	0,31
Forte	45,57%	44,23%	0,66
Muito Forte	31,67%	46,48%	1,00
CCP			0,99



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

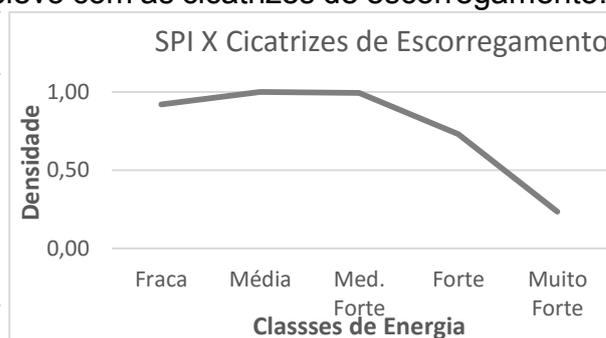
² Porcentagem da área de cicatrizes na classe em relação ao total da área de cicatrizes na bacia.

³ Densidade de cicatrizes na classe normalizada pelo maior valor de densidade de cicatrizes.

Fonte: elaborado pelos autores.

Quadro 32 - Relação da energia do relevo com as cicatrizes de escorregamento.

Classe Energia	% Classe ¹	% Cicatrizes ²	Densidade/normal ³
Muito Fraca	0,84%	0,84%	0,86
Fraca	7,33%	7,79%	0,92
Média	22,56%	26,08%	1,00
Med. Forte	33,34%	38,33%	0,99
Forte	30,00%	25,36%	0,73
Muito Forte	5,93%	1,61%	0,24
CCP			-0,80



¹ Porcentagem da classe em relação ao total da área da bacia.

² Porcentagem da área de cicatrizes na classe em relação ao total da área de cicatrizes na bacia.

³ Densidade de cicatrizes na classe normalizada pelo maior valor de densidade de cicatrizes.

Fonte: elaborado pelos autores.

Para comparar os resultados entre as duas bacias, as áreas relativas das três classes de maior intensidade de energia do relevo e SPI foram somadas. O resultado pode ser observado na tabela 9.

Tabela 9 - Comparação dos resultados da bacia córrego do Cavalheiro e bacia do rio da Onça.

Técnicas testadas	% das classes em relação ao total da área da bacia	
	Bacia córrego do Cavalheiro (Analândia)	Bacia do rio da Onça (Cubatão)
ENERGIA DO RELEVO (Classes: Med. Forte, Forte e Muito Forte)	40,45%	96,42%
SPI (Classes: Med. Forte, Forte e Muito Forte)	66,32%	69,27%

Fonte: elaborado pelos autores.

A partir dos valores de energia do relevo apresentados é possível compreender claramente a diferença entre o relevo de uma bacia localizada nas escarpas do Planalto Atlântico e o relevo de uma bacia situada na transição das *cuestas* com a Depressão Periférica Paulista. A bacia do rio da Onça apresenta um predomínio de altas classes de energia do relevo em 96% da área, o que reflete formas muito dissecadas, com elevada densidade de drenagem, vales fortemente entalhados e alta declividade das vertentes. Já na bacia do córrego do Cavalheiro, as altas classes de energia do relevo abrangem apenas 40,45% da área, concentrando-se principalmente no *front* cuestiforme e representam um relevo com declividade média muito inferior que a região da Serra do Mar.

A mesma observação não pode ser realizada a partir dos valores das classes superiores do SPI. As bacias do córrego do Cavalheiro (66,32%) e rio da Onça (69,27%) tiveram resultados muito próximos, não demonstrando o contraste existente entre as duas áreas. Esse resultado é uma consequência da bacia do rio da Onça apresentar maior declividade média e a bacia do córrego do Cavalheiro apresentar maiores valores de área de contribuição devido a menor densidade de drenagem. Quando esses parâmetros foram multiplicados na equação do SPI, resultaram nos valores semelhantes (tabela 9).

CONCLUSÕES

Apesar da energia do relevo e do SPI terem concepções similares, embasadas no potencial que o fluxo da água tem para o desencadeamento de processos morfodinâmicos, a aplicação gerou produtos significativamente diferentes. Enquanto a energia do relevo privilegia a dissecação horizontal ou principalmente a declividade para a determinação das classes de maior energia, o SPI considera o aumento da declividade conjuntamente ao aumento da área de contribuição para a geração de áreas de maior energia. Dessa forma, os produtos das aplicações dessas técnicas mostraram correlações diferentes com cicatrizes de escorregamento e voçorocas. O SPI apresentou uma correlação espacial negativa com escorregamentos e uma não correlação com voçorocas, enquanto que a energia do relevo apresentou uma correlação espacial positiva com voçorocas e escorregamentos. Conclui-se assim que a energia do relevo é um instrumento melhor para a análise dos processos de escorregamento e voçorocamento e que o SPI não é um parâmetro geomorfométrico equivalente para substituí-la em áreas como as estudadas nesse trabalho. Sugere-se que o SPI seja avaliado em áreas de relevo de menor declive, nas quais a área de contribuição tenha significado importante para a geração de processos erosivos.

Uma evolução ocorreu quanto a técnica proposta para a geração das células de fluxo, que se mostrou mais simples e objetiva que as propostas anteriores de automatização em ambiente computacional da ideia de Onstad e Brakensiek (1968). A técnica apresentada não demanda intervenção do usuário durante o processamento ou o estabelecimento de limiares e utiliza apenas um parâmetro para a segmentação da drenagem.

A utilização de células de fluxo mostrou-se vantajosa no que se refere à uma representação mais rigorosa das formas de relevo. As células retratam com precisão o escoamento superficial descensional que ocorre nas linhas de maior declive, no entanto, não consideram o escoamento difuso, presente principalmente em áreas de declividade mais suave. Apesar desse limitante, as células de fluxo devem ser estudadas para a obtenção de outros parâmetros, como dissecação vertical e comprimento de rampa.

AGRADECIMENTOS

Às bolsas de doutorado concedidas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 165930/2013-6 e nº 165931/2013-2.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, v. 18, p. 1-23, 1969.

ALMEIDA, F. F. M. D.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. B. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. Cap.15, p.244-269.

BAGNOLD, R. A. **Sediment discharge in streamflow, a preliminary announcement**. Washington, USA: Geological Survey, Circular 421. 23p. 1960.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. 2015. UNICAMP. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/>>. Acesso em: 20/01/2015.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CONFORTI, M.; AUCELLI, P. P. C.; ROBUSTELLI, G.; SCARCIGLIA, F. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). **Natural Hazards**, v. 56, p. 881–898, 2010.

CONOSCENTI, C.; AGNESI, V.; ANGILERI, S.; CAPPADONIA, C.; ROTIGLIANO, E.; MÄRKER, M. A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy. **Environmental Earth Sciences**, v. 70, p. 1179–1195, 2013.

CONOSCENTI, C.; ANGILERI, S.; CAPPADONIA, C.; ROTIGLIANO, E.; AGNESI, V.; MÄRKER, M. Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: A case of Sicily (Italy). **Geomorphology**, v. 204, p. 399–411, 2014.

CUNHA, C. M. L.; PINTON, L. G. A cartografia do relevo como subsídio para a análise morfogenética de setor cunestiforme. **Mercator**, v. 12, n. 27, p. 149-158, 2013.

DE BIASI, M. Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. **Geomorfologia**, v. 21, p. 2-13, 1970.

ESRI. **ArcGIS 10.2.2 for Desktop**. Redlands: ESRI, 2014. Cópia digital.

FERREIRA, M.V; RIEDEL, P. S.; TINÓS, T.M; CUNHA, C. M. L. **Aplicação do mapa de energia do relevo para o estudo de processos morfodinâmicos**. Artigo não publicado, p. 1-21, 2015.

GRUBER, S.; PECKHAM, S. Land-surface parameters and objects in hydrology. In: REUTER, H. I.; HENGL, T.; GESSLER, P.; SOILLE, P. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. Cap.07, p.171-194.

GUERRA., A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 652p.

HUBP, J. I. L. **Elementos de geomorfologia aplicada (métodos cartográficos)**. México: Instituto de Geografia, 1988. 128p.

LOPES, E. S. S. **Modelagem Espacial Dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – Uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista**. 2006. 282 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006

LUCÀ, F.; CONFORTI, M.; ROBUSTELLI, G. Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. **Geomorphology**, v. 134, p. 297–308, 2011.

MAGLIULO, P. Assessing the susceptibility to water-induced soil erosion using a geomorphological, bivariate statistics-based approach. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, n. 6, p. 1801-1820, 2012.

MÄRKER, M.; PELACANI, S.; SCHRÖDER, B. A functional entity approach to predict soil erosion processes in a small Plio-Pleistocene Mediterranean catchment in Northern Chianti, Italy. **Geomorphology**, v. 125, p. 530-540, 2011.

MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; BOVO, R.; TELES, A. P. S. S.; CARVALHO, M. B. S.; PICARELLI, A.; MELO, E. M. M. Contribuição ao planejamento ambiental de Cosmópolis - SP - BR. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, s/n., 1991, Toluca, México. **Anais...** UEAM, 1991. p.s/p.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do córrego Lafon – Araçatuba – SP**. 1993. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. **Water Resources Research**, v. 22, n. 8, p. 1350-1360, 1986.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J.; MACKENZIE, D. H. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies **Transactions of the ASABE**, v. 31, n. 4, p. 1098-1107, 1988.

MOORE, I. D.; O'LOUGHLIN, E. M.; BURCH, G. J. A contour-based topographic model for hydrological and ecological applications. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 13, n. 4, p. 305-320, 1988.

MORETTI, G.; ORLANDINI, S. Automatic delineation of drainage basins from contour elevation data using skeleton construction techniques. **Water Resources Research**, v. 44, n. 5, p. 1-16, 2008.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984.

ONSTAD, C. A.; BRAKENSIEK, D. L. Watershed simulation by stream path analogy. **Water Resources Research**, v. 4, n. 5, p. 965-971, 1968.

RODRIGUES, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra do Cubatão** 1992. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Física) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

SANTOS, Á. R. **A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupupiniquins à rodovia dos Imigrantes**. 1ª edição. São Paulo: O nome da Rosa, 2004. 128p.

SÃO PAULO. **Folha geológica de Corumbataí (Folha SF-23-Y-A-I-2)**. Formações Geológicas de Superfície. São Paulo: Instituto Geológico, 1984. Escala 1:50.000.

SMITH, G.-H. The relative relief of Ohio. **The Geographical Review**, v. 25, p. 272-284, 1935.

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de la Habana, 1981. 651p.

VERTESSY, R. A.; HATTON, T. J.; O'SHAUGHNESSY, P. J.; JAYASURIYA, M. D. A. Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2-4, p. 665-700, 1993.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho foi desenvolvido a partir da seguinte hipótese: é possível automatizar os processos de extração da DH e da DV e aprimorar a representação desses parâmetros, assim como da energia do relevo. Para verificar a hipótese, quatro experimentos foram realizados e a essa pôde ser confirmada parcialmente.

Nos experimentos 1 e 2 foram desenvolvidas ferramentas que possibilitaram a automatização de duas técnicas de extração dos dados de DH e DV. A avaliação dessas técnicas comprovou a eficiência das mesmas, além de evidenciar sua viabilidade para aplicação em grandes áreas, com ganho significativo de tempo. Os resultados obtidos em ambos os experimentos mostraram que tanto a técnica automatizada de DH, quanto a de DV, promoveram um aumento da confiabilidade nos dados em razão da qualidade gráfica no resultado final e da maior precisão no seu processo de elaboração, especialmente pela possibilidade de realizar correções e testes dos dados introduzidos na plataforma do software. Dessa forma, considera-se que a primeira parte da hipótese foi confirmada e que a automatização dos processos de extração da DH e da DV se mostrou vantajosa em relação às técnicas semiautomáticas difundidas. Qualquer usuário obterá resultados equivalentes devido ao uso de algoritmos computacionais e regras pré-estabelecidas nas ferramentas. Isso elimina a subjetividade inerente aos procedimentos manuais e semiautomáticos que podem limitar a reprodução dos resultados, comprometendo princípios básicos da ciência.

O experimento 3 foi realizado com o objetivo de empregar os resultados obtidos nos experimentos 1 e 2 no aprimoramento de uma carta de energia do relevo. Além disso, buscou-se verificar a correlação espacial entre a energia do relevo e os processos erosivos e movimentos de massa. Os resultados mostraram que a energia do relevo apresentou correlação espacial fortemente positiva com os processos de escorregamento translacionais e voçorocas e uma correlação positiva fraca com sulcos/ravinas. Esse experimento demonstrou que a DEC foi a variável que apresentou maior correlação com os processos analisados, sendo determinante para a correlação positiva obtida com a energia do relevo. As correlações das variáveis DH e DV com os processos analisados oscilaram do positivo ao negativo e foram discordantes entre si em todos os casos, ou seja, quando a DH apresentou uma correlação positiva a DV foi negativa e vice-versa.

O experimento 3 demonstrou ser necessário aprimorar a forma de obtenção dos dados de energia do relevo para que o terreno fosse melhor representado e a subjetividade reduzida. Com esse objetivo, no experimento 4 foi proposto o emprego de células de fluxo, que contribuem para uma melhor representação espacial, e do SPI, para quantificar a energia do relevo. Para avaliação dos resultados, foi realizada uma comparação com os produtos gerados no experimento 3, que mostrou que apesar da energia do relevo e do SPI terem concepções similares, embasadas no potencial que o fluxo da água tem para o desencadeamento de processos morfodinâmicos, a aplicação gerou produtos significativamente diferentes. Concluiu-se que a energia do relevo é um instrumento melhor para a análise dos processos de escorregamento e voçorocamento e que o SPI não é um parâmetro geomorfométrico equivalente para substituí-la. No entanto, a utilização das células de fluxo provou-se vantajosa no que se refere à uma representação mais rigorosa das formas da vertente.

A técnica proposta para a geração das células de fluxo provou ser mais simples e objetiva que propostas anteriores de automatização em ambiente computacional e mostrou potencial para a obtenção de outros parâmetros. A aplicação da técnica para a obtenção de dados de dissecação vertical e comprimento de rampa deve ser investigada, pois o aprimoramento desses dados pode contribuir para a análise do escoamento superficial, da perda de solos, do desenvolvimento de processos morfodinâmicos, entre outros estudos geomorfológicos.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Regiões de circundesnudação pós-cretácea, no Planalto Brasileiro. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, v. 1, p. 3-21, 1949.
- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 1-23, 1969.
- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 169-263, 1964.
- ALMEIDA, F. F. M. D.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. B. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap.15, p.244-269.
- BAGNOLD, R. A. **Sediment discharge in stream power, a preliminary announcement**. Washington, USA: Geological Survey, Circular 421. 23p. 1960.
- BERTI, M.; CORSINI, A.; DAEHNE, A. Comparative analysis of surface roughness algorithms for the identification of active landslides. **Geomorphology**, v. 182, p. 1-18, 2013.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7a edição. São Paulo: 2010. 355p.
- BRASIL - Projeto RADAMBRASIL, **Folha SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória :geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1983.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20: p. 395-403, 1996.
- CARPI JR., S. **Técnicas cartográficas aplicadas à dinâmica da Bacia do Ribeirão Araquá - SP**. 1996. 188 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.
- CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. 2015. UNICAMP. Disponível em: < <http://www.cpa.unicamp.br/> >. Acesso em: 20/01/2015.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Bluche, 1980. 188p.

CONFORTI, M.; AUCELLI, P. P. C.; ROBUSTELLI, G.; SCARCIGLIA, F. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). **Natural Hazards**, v. 56, p. 881–898, 2010.

CONOSCENTI, C.; AGNESI, V.; ANGILERI, S.; CAPPADONIA, C.; ROTIGLIANO, E.; MÄRKER, M. A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy. **Environmental Earth Sciences**, v. 70, p. 1179–1195, 2013.

CONOSCENTI, C.; ANGILERI, S.; CAPPADONIA, C.; ROTIGLIANO, E.; AGNESI, V.; MÄRKER, M. Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: A case of Sicily (Italy). **Geomorphology**, v. 204, p. 399–411, 2014.

CUNHA, C. M. L. da. **A Cartografia do Relevo no contexto da Gestão Ambiental**. 2001, 120 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

CUNHA, C. M. L.; PINTON, L. G. A cartografia do relevo como subsídio para a análise morfogenética de setor cuestasiforme. **Mercator**, v. 12, n. 27, p. 149-158, 2013.

DAWES, W. R.; SHORT, D. The significance of topology for modeling the surface hydrology of fluvial landscapes. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1045-1055, 1994.

DE BIASI, M. Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. **Geomorfologia**, v. 21, p. 2-13, 1970.

DE REU, J.; BOURGEOIS, J.; BATS, M.; ZWERTVAEGHER, A.; GELORINI, V.; DE SMEDT, P.; CHU, W.; ANTROP, M.; DE MAEYER, P.; FINKE, P.; VAN MEIRVENNE, M.; VERNIERS, J.; CROMBÉ, P. Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. **Geomorphology**, v. 186, p. 39-49, 2013.

DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. K.; PIKE, R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico **Zeitschrift für Geomorphologie Supplements**, v. 101, p. 109-126, 1995.

DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. M. **Landform Classification of New Mexico by Computer**. EUA: U.S. Geological Survey: 15 p., 1991.

DINESH, A. C.; JOSEPH MARKOSE, V.; JAYAPPA, K. S. Bearing, azimuth and drainage (bAd) calculator: A new GIS supported tool for quantitative analyses of drainage networks and watershed parameters. **Computers & Geosciences**, v. 48, p. 67-72, 2012.

DOBOS, E.; HENGL, T. Soil mapping applications. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. Cap.20, p.461-479.

DRĂGUȚ, L.; BLASCHKE, T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, v. 81, p. 330-344, 2006.

DUNN, M.; HICKEY, R. The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. **Cartography**, v. 27, n. 1, p. 9-15, 1998.

DURY, G. H. Quantitative measurement of available relief and of depth of dissection. **Geological Magazine**, v. 88, n. 5, p. 339-343, 1951.

EHSANI, A. H.; QUIEL, F. Geomorphometric feature analysis using morphometric parameterization and artificial neural networks. **Geomorphology**, v. 99, p. 1-12, 2008.

ESRI. **ArcGIS 10.2.1 for Desktop**. Redlands: ESRI, 2013. Cópia digital.

ESRI. **ArcGIS 10.2.2 for Desktop**. Redlands: ESRI, 2014. Cópia digital.

EVANS, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). **Spatial analysis in geomorphology**. New York: Harper and Row, 1972. p.17-90.

FACINCANI, E. M. **Morfotectônica da depressão periférica paulista e cuesta basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba, SP**. 2000. 222f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FERREIRA, M.V; RIEDEL, P. S.; TINÓS, T.M; CUNHA, C. M. L. **Aplicação do mapa de energia do relevo para o estudo de processos morfodinâmicos**. Artigo não publicado, p. 1-21, 2015.

FLORENZANO, T. G. Cartografia. In: FLORENZANO, T. G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. p. 105-128.

FLORES, D. M.; CUNHA, C. M. L. Análise morfométrica da bacia do Ribeirão Balainho - Suzano (SP). **Estudos Geográficos**, v. 8, n. 1, p. 22-43, 2010.

FREITAS, R. O. Textura da drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 11, p. 53-57, 1952.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Ed.). **Terrain analysis: principles and applications**. New York, USA: Wiley, 2000. Cap.3, p.51-86.

GHIMIRE, M. Multivariate morphological characteristics and classification of first-order basins in the Siwaliks, Nepal. **Geomorphology**, v. 204, p. 192-207, 2014.

GRECHIA, L. **Dinâmica geomorfológica da bacia hidrográfica do córrego Bom Jardim, Brasilândia**. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2011.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; ALVES, F. M. SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil. **Computers & Geosciences**, v. 33, n. 1, p. 10–19, 2007.

GRUBER, S.; PECKHAM, S. Land-surface parameters and objects in hydrology. In: REUTER, H. I.; HENGL, T.; GESSLER, P.; SOILLE, P. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. Cap.07, p.171-194.

GUERRA., A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008. 652p.

GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo. IPT, 1976.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de Escavação**. 2ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1984. 194p.

HAMMOND, E. H. Small scale continental landform maps. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 44, p. 32-42, 1954.

HAMMOND, E. H. Analysis of properties in landform geography: An application to broadscale landform mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 54, p. 11-19, 1964.

HENGL, T.; EVANS, I. S. Mathematical and digital models of the land surface. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. Cap.02, p.31-64.

HENGL, T.; REUTER, H. I. **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. Amsterdam: Elsevier, 2008. 772p.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275-370, 1945.

HUBP, J. I. L. **Elementos de geomorfologia aplicada (métodos cartográficos)**. México: Instituto de Geografia, 1988. 128p.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Noções básicas de cartografia**. Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. 130p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos em geociências. Rio de Janeiro: IBGE: 175 p., 2009.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:1.000.000. São Paulo: IPT: 94 p., 1981.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Programa Serra do Mar: Levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande**. São Paulo, 1986. Relatório n 23394, 5 vol.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147-156, 2013.

KING, C. A. M. Trend-surface analysis of central pennine erosion surfaces. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 47, p. 47-59, 1969.

KOEFFLER, N.F. et. al. **Solos da bacia do Rio Corumbataí**. Rio Claro: Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1992. Escala: 1:50.000.

KOPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra** Buenos Aires, Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Mapeamento geomorfológico: a carta de energia do relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 269-284, 2012.

LOIBL, D.; LEHMKUHL, F.; GRIEBINGER, J. Reconstructing glacier retreat since the Little Ice Age in SE Tibet by glacier mapping and equilibrium line altitude calculation. **Geomorphology**, v. 214, p. 22-39, 2014.

LOPES, E. S. S. **Modelagem Espacial Dinâmica em Sistema de Informação Geográfica – Uma aplicação ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista**. 2006. 282 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

LUCÀ, F.; CONFORTI, M.; ROBUSTELLI, G. Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. **Geomorphology**, v. 134, p. 297–308, 2011.

MACHADO, A. C. P.; CUNHA, C. M. L. Análise quantitativa do relevo por intermédio das cartas morfométricas da alta bacia do Rio Itanhaém, Baixada Santista (SP). **Climatologia e estudos da paisagem (Climep)**, v. 5, n. 2, p. 5-35, 2010.

MACHADO, A. C. P.; CUNHA, C. M. L. Feições denudacionais localizadas em áreas de alto potencial de acúmulo de energia: um estudo da alta bacia do rio Itanhaém, baixada santista, São Paulo. In: CONGRESO DE MEIO AMBIENTE, 7, 2012, La Plata, Argentina. **Actas...** Asociación de Universidades Grupo Montevideo, 2012. p.1-7.

MACHADO, A. C. P.; CUNHA, C. M. L. A influência das características morfométricas do relevo na morfodinâmica: um estudo da alta bacia do Rio Itanhaém (SP). **Geociências**, v. 32, n. 2, p. 298-316, 2013.

MACHADO FILHO, J. G. **Estabilidade de encostas e condicionantes geológicos, geomorfológicos, estruturais, num trecho da Serra de Cubatão**. 2000. 172f.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and landform elements in geomorphometry. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, v.33, 2008. Cap.09, p.227-256.

MAGLIULO, P. Assessing the susceptibility to water-induced soil erosion using a geomorphological, bivariate statistics-based approach. **Environmental Earth Sciences**, v. 67, n. 6, p. 1801-1820, 2012.

MARK, D.; ARONSON, P. Scale-dependent fractal dimensions of topographic surfaces: An empirical investigation, with applications in geomorphology and computer mapping. **Journal of the International Association for Mathematical Geology**, v. 16, n. 7, p. 671-683, 1984.

MÄRKER, M.; PELACANI, S.; SCHRÖDER, B. A functional entity approach to predict soil erosion processes in a small Plio-Pleistocene Mediterranean catchment in Northern Chianti, Italy. **Geomorphology**, v. 125, p. 530-540, 2011.

MARQUES NETO, R. Estudo integrado do relevo no plano de manejo da Floresta Nacional de Passa Quatro (Passa Quatro, MG): contribuições da geomorfologia na gestão de unidades de conservação. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 395–407, 2012.

MARQUES NETO, R.; ANDRADE, A. C. D. Expansão urbana e apropriação do relevo em São Lourenço (MG): a bacia do Córrego Jardim. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 36, p. 331-347, 2010.

MAURO, C. A.; RUSSO, I. L.; BOVO, R.; TELES, A. P. S. S.; CARVALHO, M. B. S.; PICARELLI, A.; MELO, E. M. M. Contribuição ao planejamento ambiental de Cosmópolis - SP - BR. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, s/n., 1991, Toluca, México. **Anais... UEAM**, 1991. p.s/p.

MELO, M. S. **A formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenoica na depressão periférica paulista**. 1995. 144 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MENDES, I. A. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial na bacia do córrego Lafon – Araçatuba – SP**. 1993. 171 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MINÁR, J.; EVANS, I. S. Elementary forms for land surface segmentation: the theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. **Geomorphology**, Amsterdam, v. 95, p. 236-259, 2008.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. **Water Resources Research**, v. 22, n. 8, p. 1350-1360, 1986.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J.; MACKENZIE, D. H. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies **Transactions of the ASABE**, v. 31, n. 4, p. 1098-1107, 1988.

MOORE, I. D.; GRAYSON, R. B. Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data. **Water Resources Research**, v. 27, n. 6, p. 1177-1191, 1991.

MOORE, I. D.; O'LOUGHLIN, E. M.; BURCH, G. J. A contour-based topographic model for hydrological and ecological applications. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 13, n. 4, p. 305-320, 1988.

MOREIRA-NORDEMANN, L.M. et al. **Caracterização química das águas de chuva de Cubatão**. São José dos Campos: INPE, 1986. 63 p. (3965-RPE/515).

MORETTI, G.; ORLANDINI, S. Automatic delineation of drainage basins from contour elevation data using skeleton construction techniques. **Water Resources Research**, v. 44, n. 5, p. 1-16, 2008.

MORSE, S. P. A Mathematical Model for the Analysis of Contour-Line Data. **Journal of the Association for Computing Machinery**, v. 15, n. 2, p. 205-220, 1968.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984.

OLAYA, V. Basic land-surface parameters. In: REUTER, H. I.; HENGL, T.; GESSLER, P.; SOILLE, P. (Ed.). **Geomorphometry: concepts, software, applications**. Amsterdam: Elsevier, 2008. Cap.06, p.171-170.

OLIVEIRA, J.B. de. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. **Boletim Científico nº 45**, Campinas: Instituto Agrônomo, 1999b.

OLIVEIRA, J.B. de et. al. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999a. 4 mapas, color., 68 cm X 98 cm. Escala 1:500.000. Acompanha uma legenda expandida.

ONSTAD, C. A.; BRAKENSIEK, D. L. Watershed simulation by stream path analogy. **Water Resources Research**, v. 4, n. 5, p. 965-971, 1968.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. 1968. 86f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1968.

PEUCKER, T. K.; DOUGLAS, D. H. Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data. **Computer Graphics and Image Processing**, v. 4, n. 4, p. 375-387, 1975.

PIKE, R. J. The geometric signature: Quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. **Mathematical Geology**, v. 20, n. 5, p. 491-511, 1988.

PINTO, A. L. Avaliação do potencial erosivo em bacias hidrográficas: estudo do Córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Entre-Lugar**, v. 3, n. 6, p. 45-63, 2012.

PINTON, L. de G.; CUNHA, C. M. L da. Avaliação da dissecação horizontal e vertical da bacia do córrego do Cavalheiro Analândia/SP: Subsídios para o planejamento do uso e ocupação da terra. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

POIRAUD, A. Landslide susceptibility–certainty mapping by a multi-method approach: A case study in the Tertiary basin of Puy-en-Velay (Massif central, France). **Geomorphology**, v. 216, p. 208-224, 2014.

RAY, R. G. **Fotografias aéreas na interpretação e mapeamentos Geológicos**. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico, 1963. 88p.

RODRIGUES, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra do Cubatão** 1992. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Física) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997. 63p.

SADOWSKI, G.R. **Tectônica da Serra de Cubatão**. 1974. 159 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo.

SANTOS, Á. R. **A grande barreira da Serra do Mar: da trilha dos Tupupiniquins à rodovia dos Imigrantes**. 1ª edição. São Paulo: O nome da Rosa, 2004. 128p.

SÃO PAULO. **Folha geológica de Corumbataí (Folha SF-23-Y-A-I-2)**. Formações Geológicas de Superfície. São Paulo: Instituto Geológico, 1984. Escala 1:50.000.

SATO, S. E.; CUNHA, C. M. L. O uso de técnicas morfométricas em municípios litorâneos: o caso de Mongaguá (SP). **Estudos Geográficos**, v. 5, n. 2, p. 1-20, 2007.

SEADE. **Sistemas de consulta a dados sociais, econômicos e demográficos do estado de São Paulo**. 2014. Secretaria Estadual de Planejamento e Desenvolvimento Regional do Estado de São Paulo. Disponível em: < <http://www.seade.gov.br/banco-de-dados/> >. Acesso em: 15/07/2013.

SILVA, D. L.; CUNHA, C. M. L. Análise morfométrica da bacia do córrego do Lageado (SP). **Caminhos da Geografia**, v. 9, n. 26, p. 153-172, 2008.

SILVA, G.; PINTO, A. L. Aprimoramento de metodologias e técnicas cartográficas de mapeamento morfológico - estudo de caso: a bacia do córrego Fundo, Aquidauana, MS. In: **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, 2006, Campo Grande.

Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE. p.949-958.

SMITH, G.-H. The relative relief of Ohio. **The Geographical Review**, v. 25, p. 272-284, 1935.

SMITH, K. G. Standards, for grading texture of erosional topography. **American Journal of Science**, v. 248, p. 655-668, 1950.

SOUZA, T. A.; CUNHA, C. M. L. Análise dos atributos físico-ambientais do município de Praia Grande (SP). **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 303-318, 2012.

SPEIGHT, J. G. Landform. In: MCDONALD, R. C.; ISBELL, R. F.; SPEIGHT, J. G.; WALKER, J.; HOP, M. S. (Ed.). **Australian soil and land survey field handbook**. Melbourne: Inkata Press, 1990. p.9-57.

SPIRIDONOV, A. I. **Princípios de la metodología de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico**. Havana: Universidad de la Habana, 1981. 651p.

STEINKE, V. A.; SANO, E. E. Semi-automatic identification, GIS-based morphometry of geomorphic features of Federal District of Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 1, p. 3-9, 2011.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area altitude) analysis of erosional topography. **BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V. T. (Ed.). **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1964. p.439-476.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. H. **Geografia Física**. 3ª edição. Barcelona: Omega, 2005. 550p.

TOMINAGA, L. K. Análise e mapeamento de risco. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J. e AMARAL, R. D. (Ed.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1ª edição. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. Cap.9, p.147-160.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965. 496p.

TROPMAIR, H. Regiões Ecológicas do Estado de São Paulo. **Biogeografia**. São Paulo: USP, nº. 10, 1975.

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

VARGAS, M. As lições dos escorregamentos da Serra do Mar. In: **Encontro Técnico de Estabilização de Taludes**. Atas. São Paulo: ABMS, 1981. 197p.

VERTESSY, R. A.; HATTON, T. J.; O'SHAUGHNESSY, P. J.; JAYASURIYA, M. D. A. Predicting water yield from a mountain ash forest catchment using a terrain analysis based catchment model. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2-4, p. 665-700, 1993.

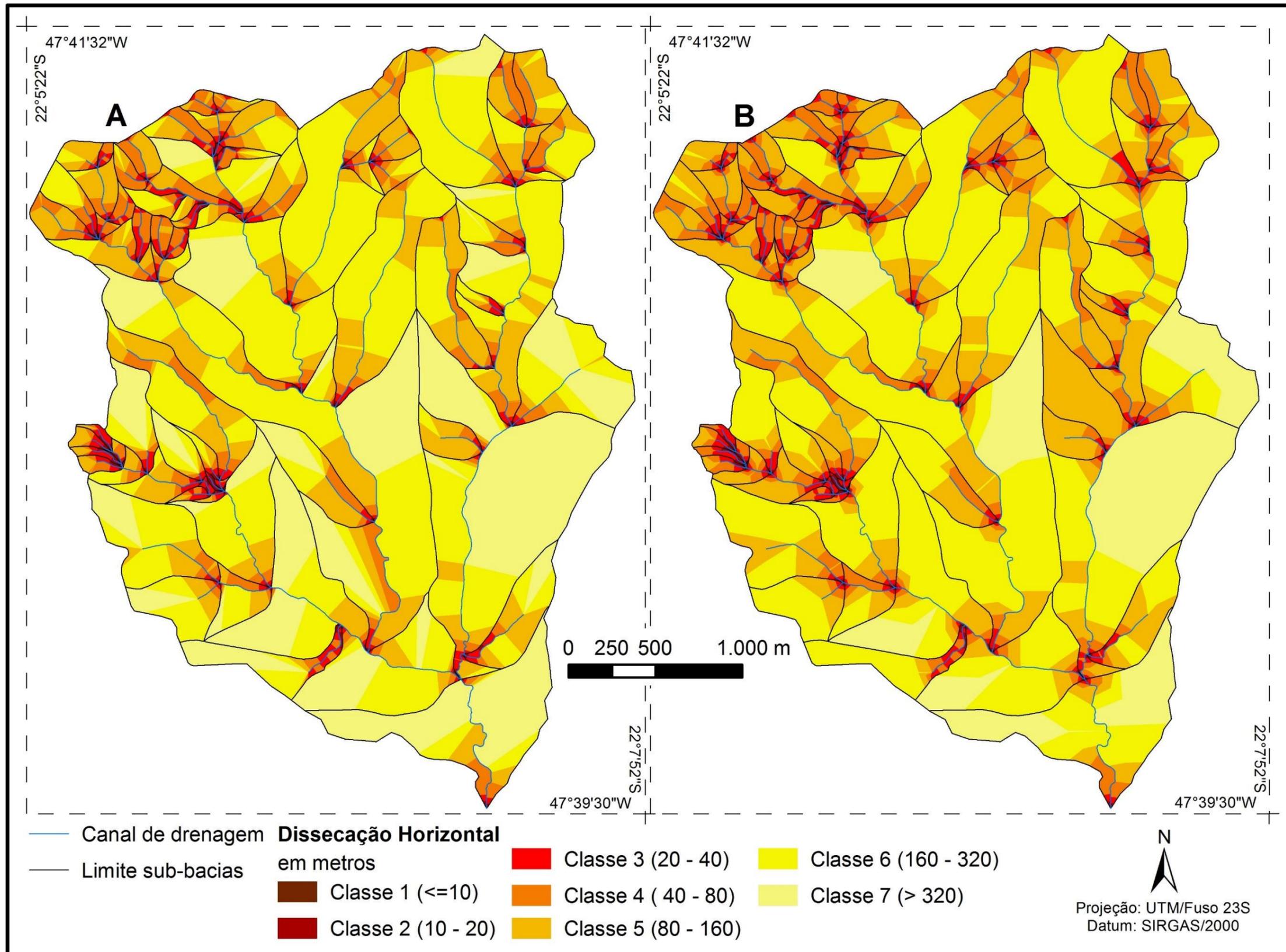
WEISS, A. Topographic position and landforms analysis. In: ESRI USER CONFERENCE, 21, 2001, San Diego, USA. **Anais...** Esri, 2001. p.s/p.

YOUNG, M.; EVANS, I. S. **Statistical characterization of altitude matrices by computer**. England: Dept. of Geography, University of Durham. 28p. 1978.

ZACHARIAS, A. A. **Metodologias convencionais e digitais para a elaboração de cartas morfométricas do relevo**. 2001. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

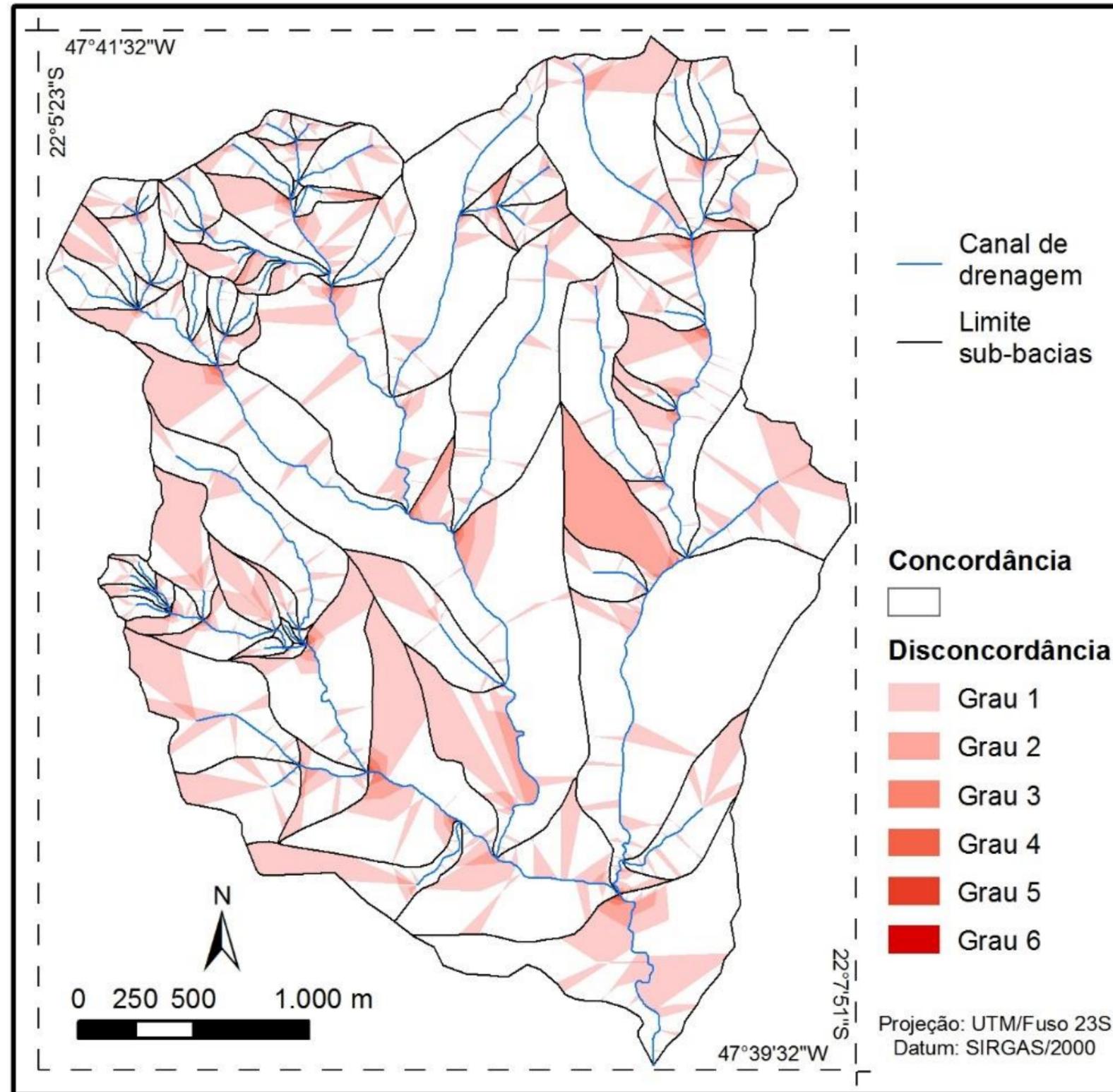
ZACHARIAS, A. A.; FREITAS, M. I. C.; SANCHEZ, M. C. Uso da cartografia digital na elaboração de cartas morfométricas do relevo: uma proposta metodológica. **Geografia**, v. 30, n. 1, p. 37-57, 2005.

APÊNDICE A – Mapa de dissecação horizontal: A - técnica automática; B - técnica semiautomática



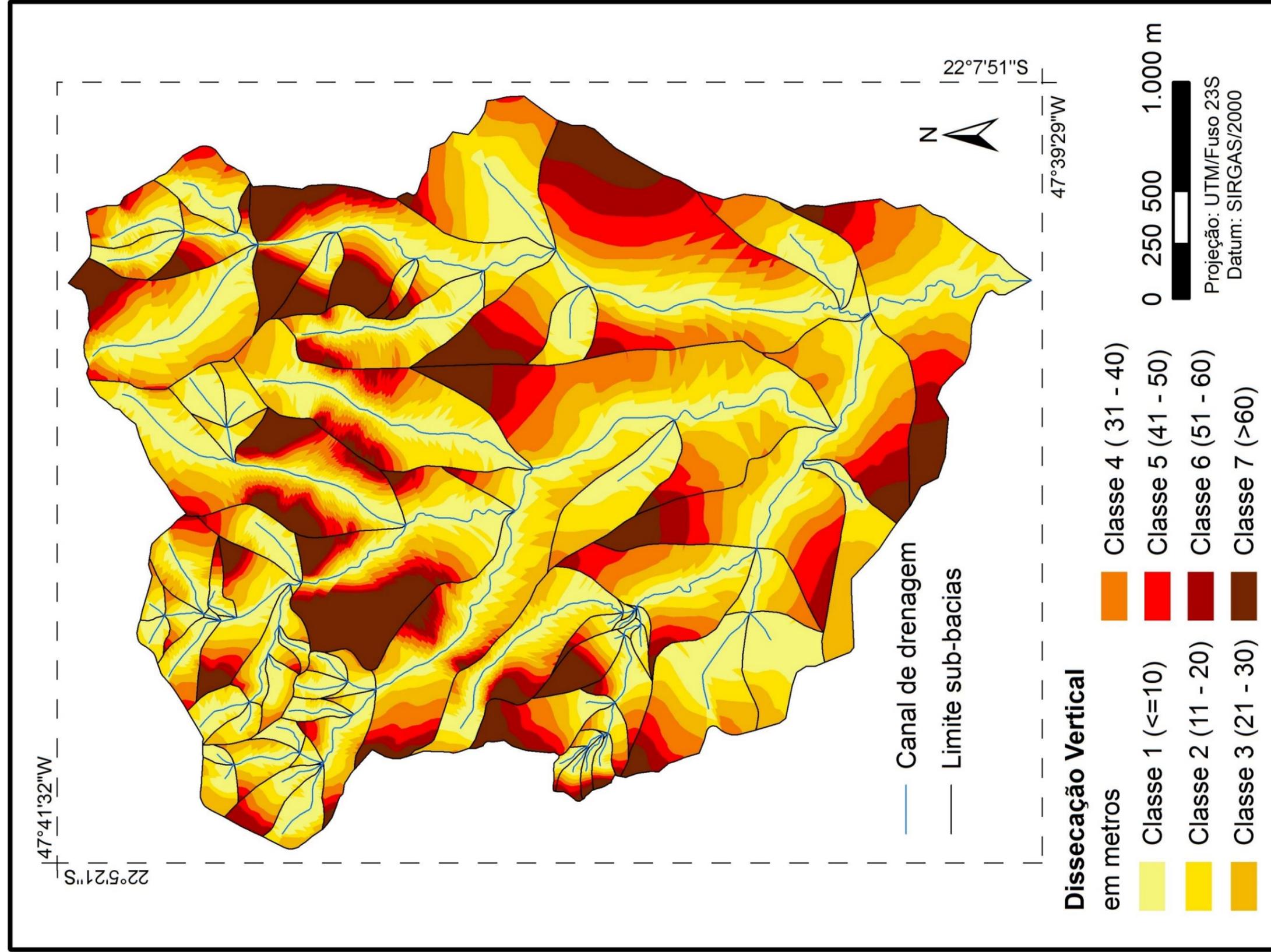
Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE B - Distribuição das áreas de concordância e discordância resultantes da comparação das duas técnicas



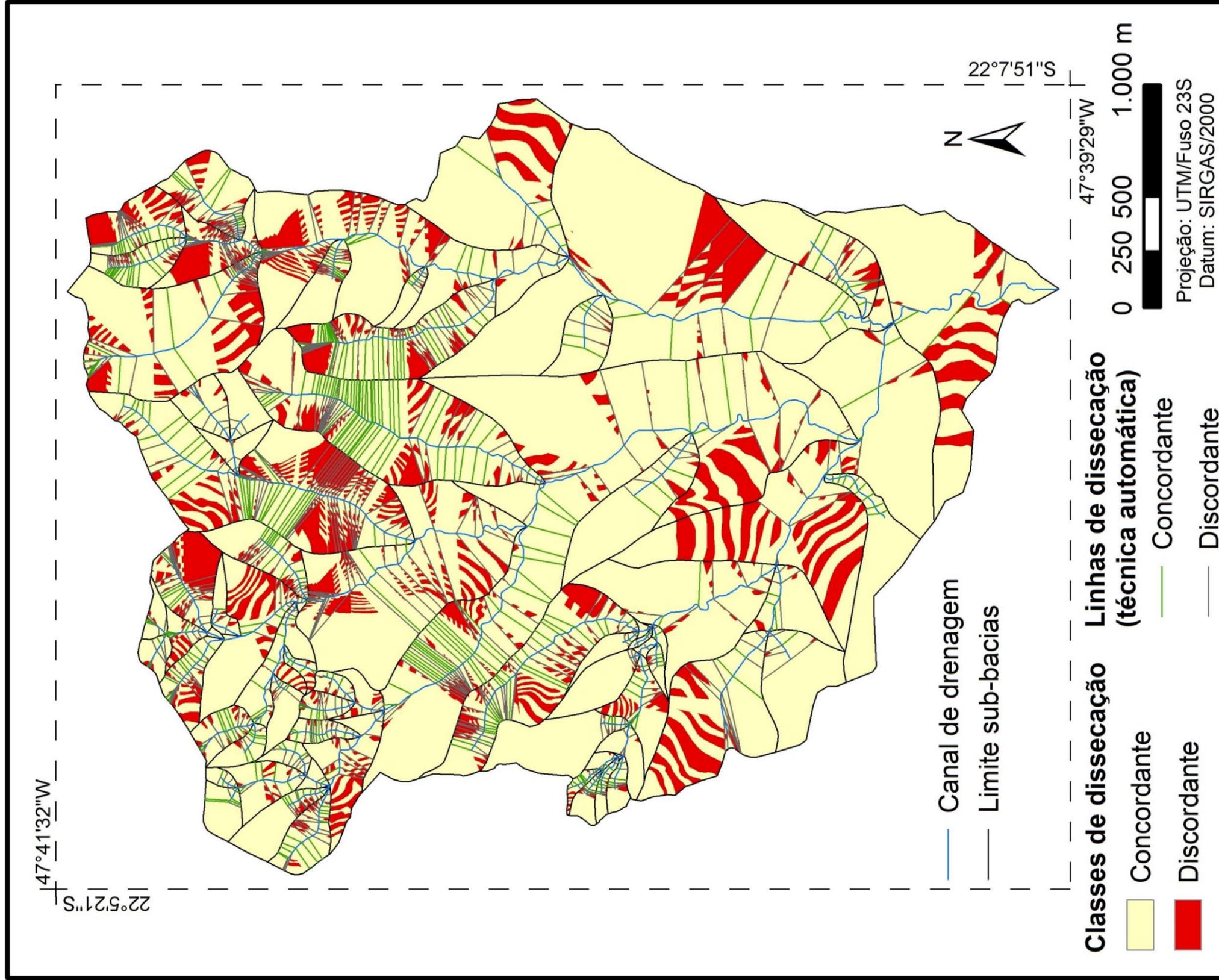
Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE C - Carta de dissecação vertical elaborada pelo método automático



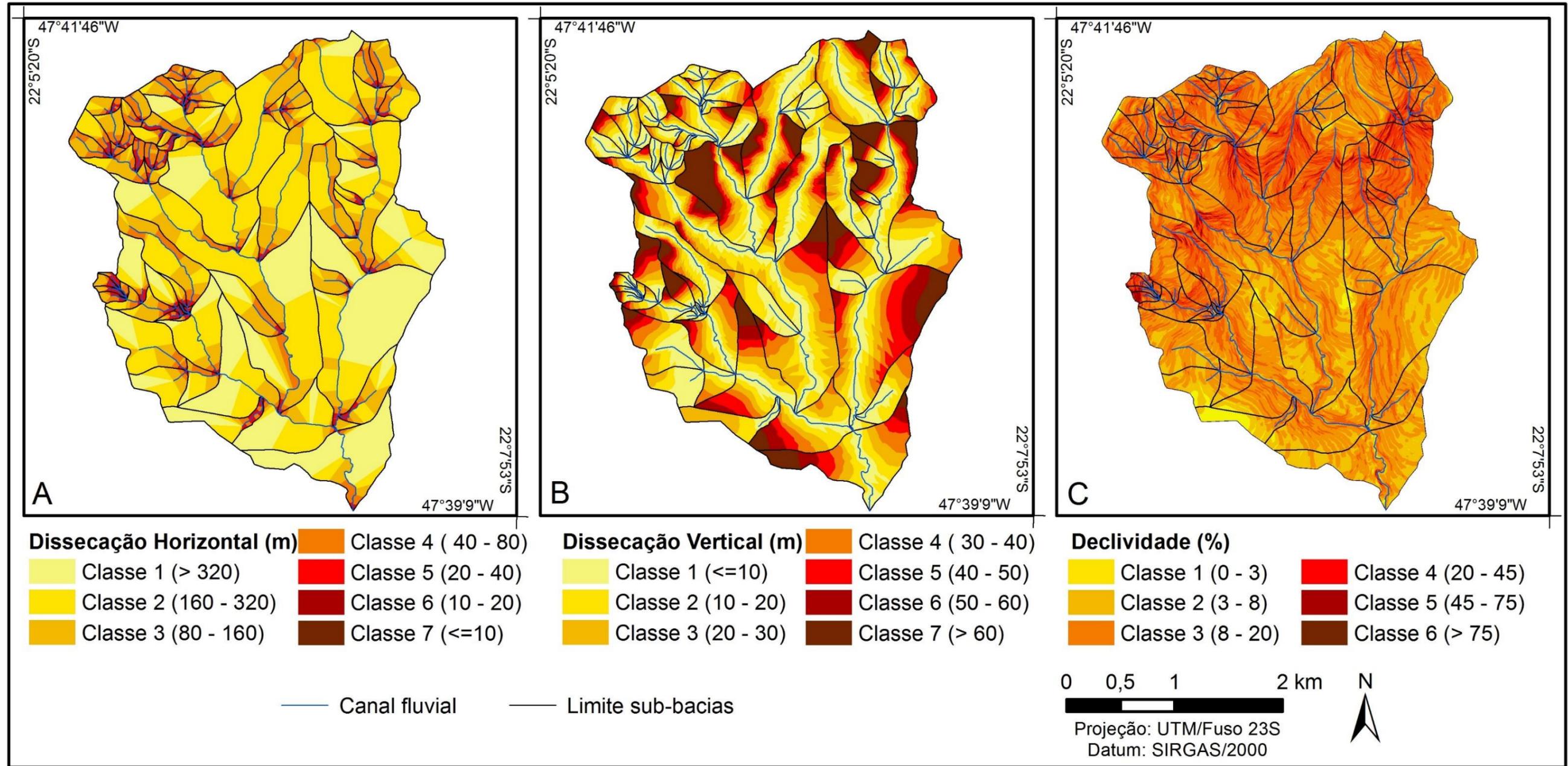
Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE D - Carta de concordâncias e discordâncias ocorridas entre as linhas e entre as classes de dissecação vertical resultantes da comparação das duas técnicas testadas



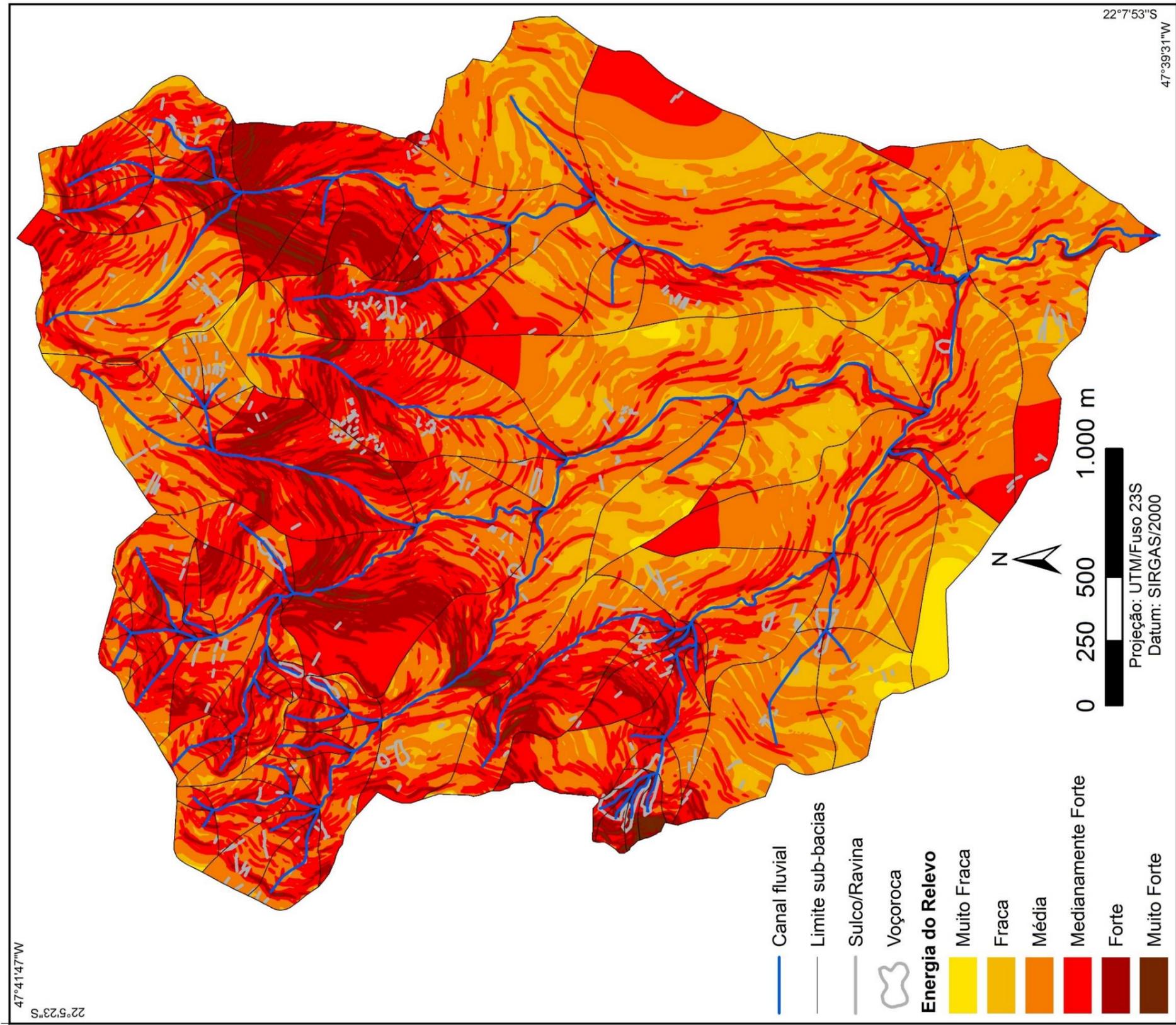
Fonte: elaborado pelos autores

APÊNDICE E - Bacia do córrego do Cavalheiro. A – Dissecação horizontal; B – Dissecação vertical; C – Declividade



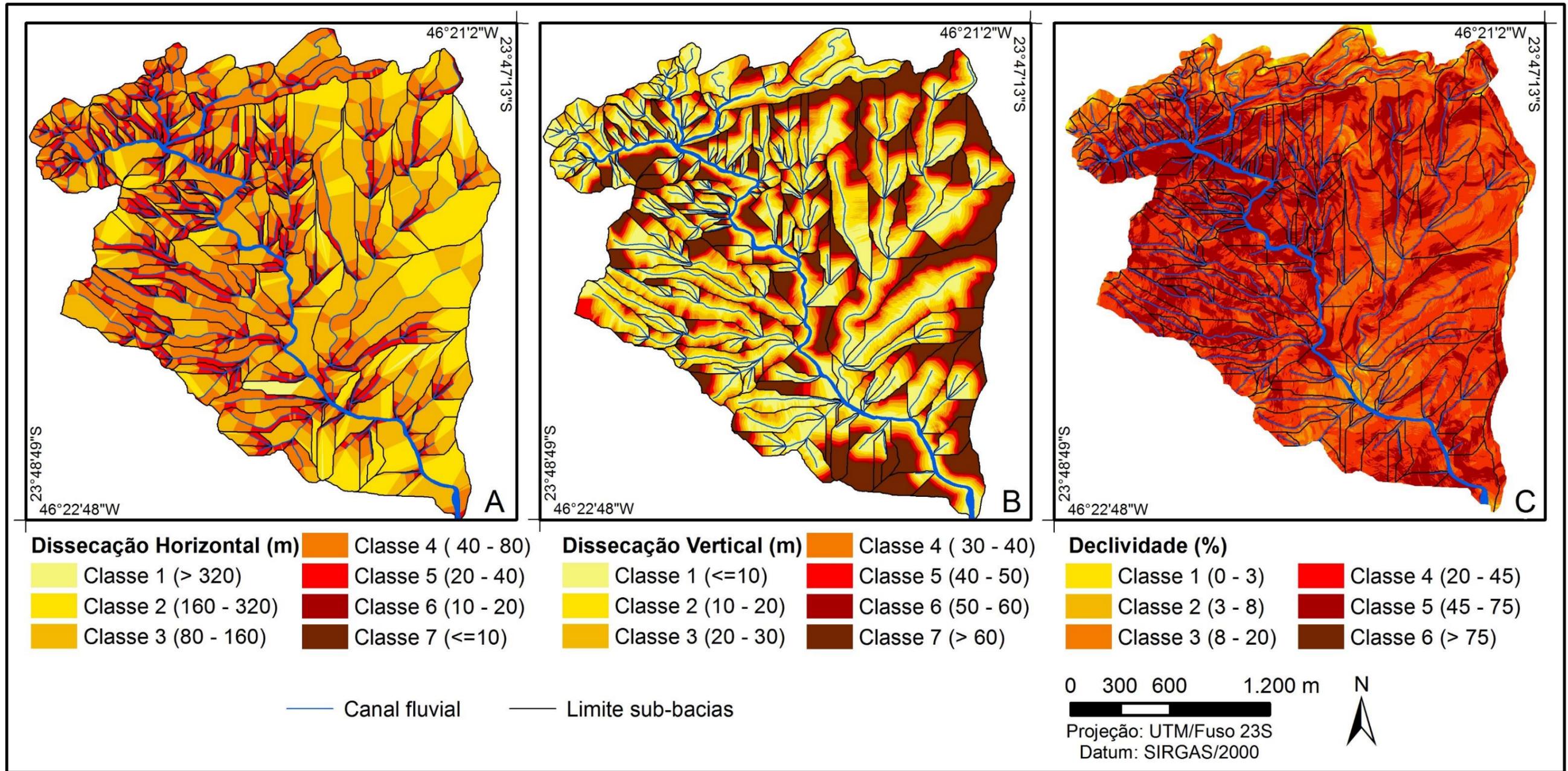
Fonte: elaborado pelos autores

APÊNDICE F - Energia do relevo da bacia do córrego do Cavalheiro



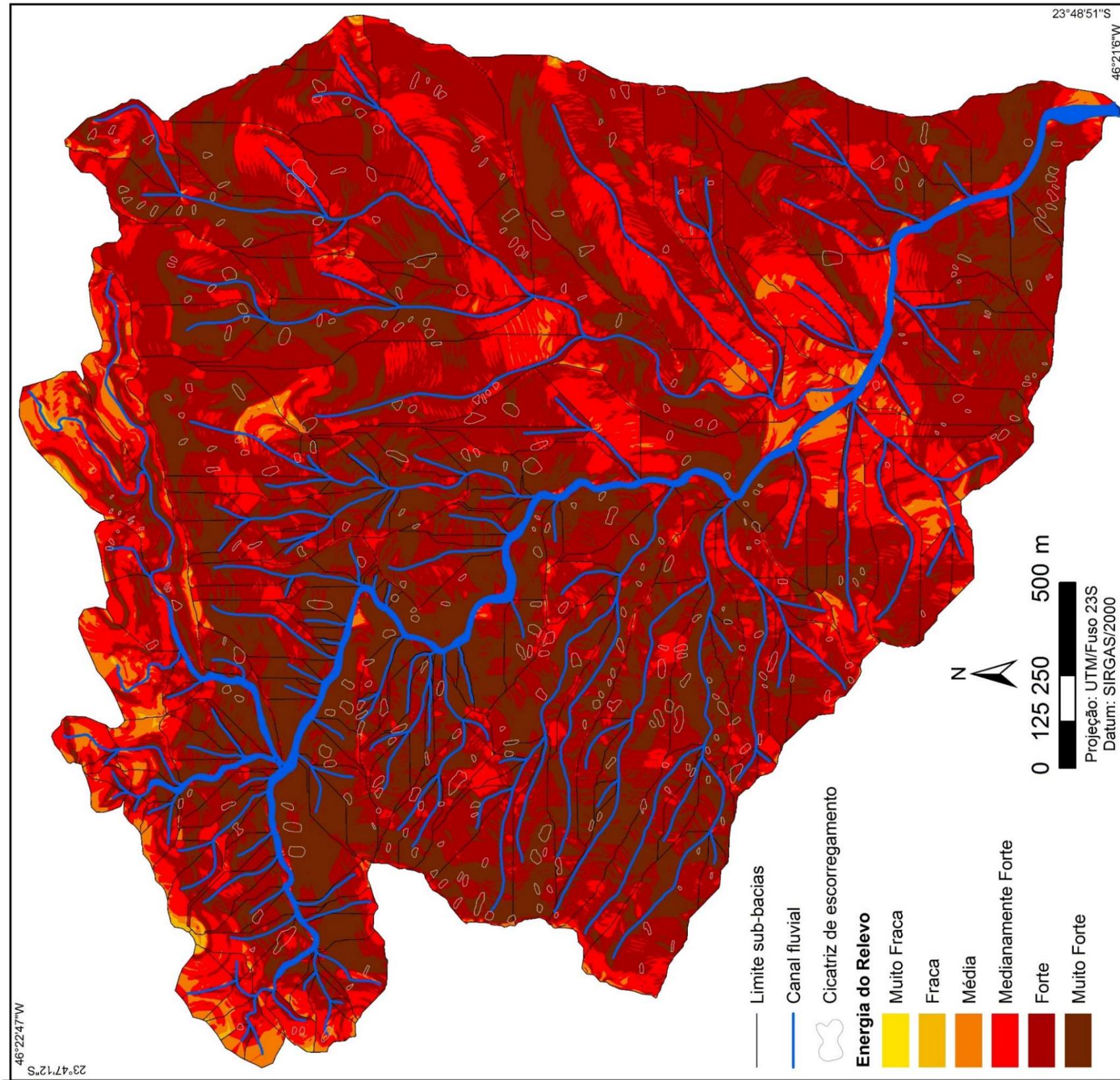
Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE G - Bacia do rio da Onça. A – Dissecação horizontal; B – Dissecação vertical; C – Declividade



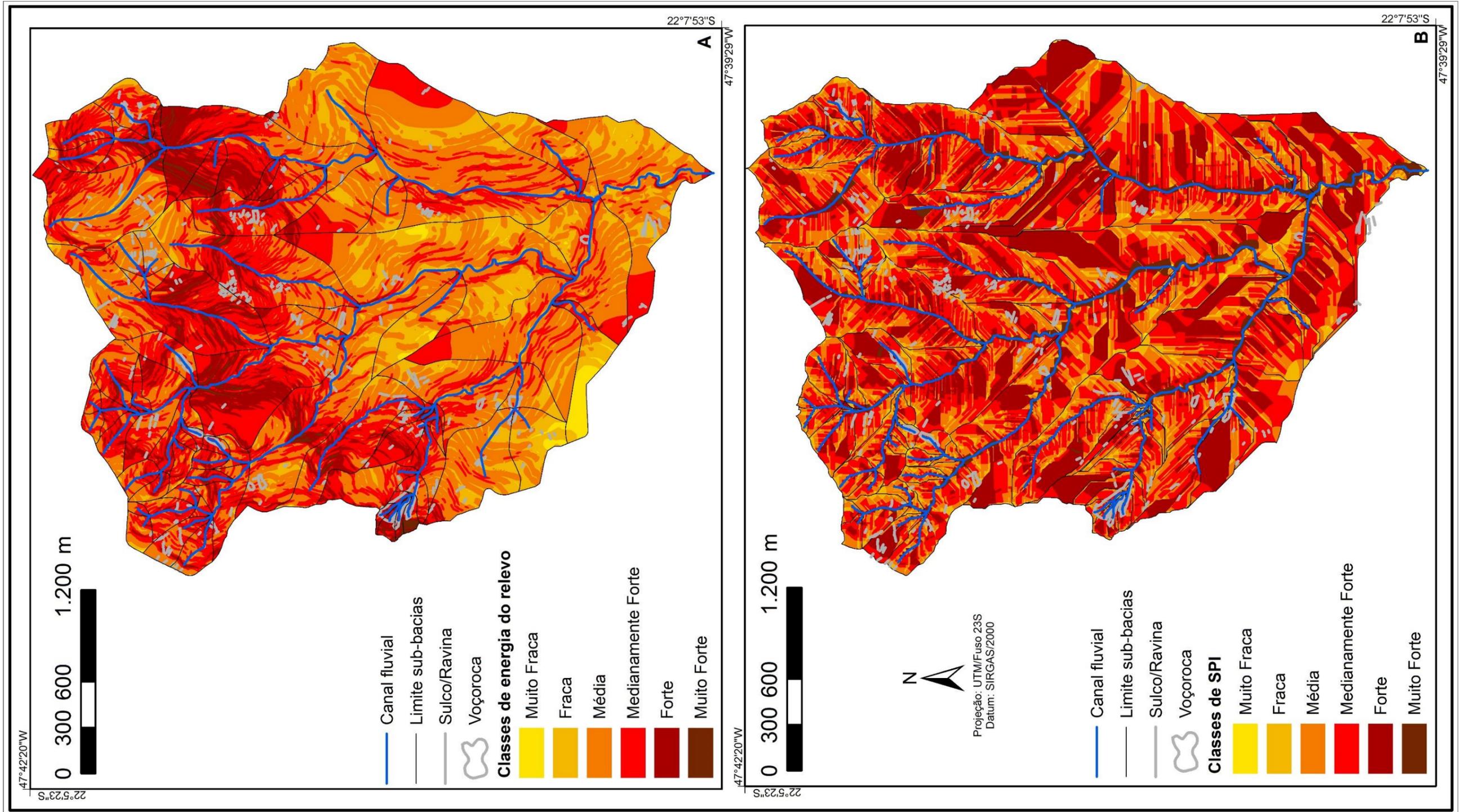
Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE H - Energia do relevo da bacia do rio da Onça



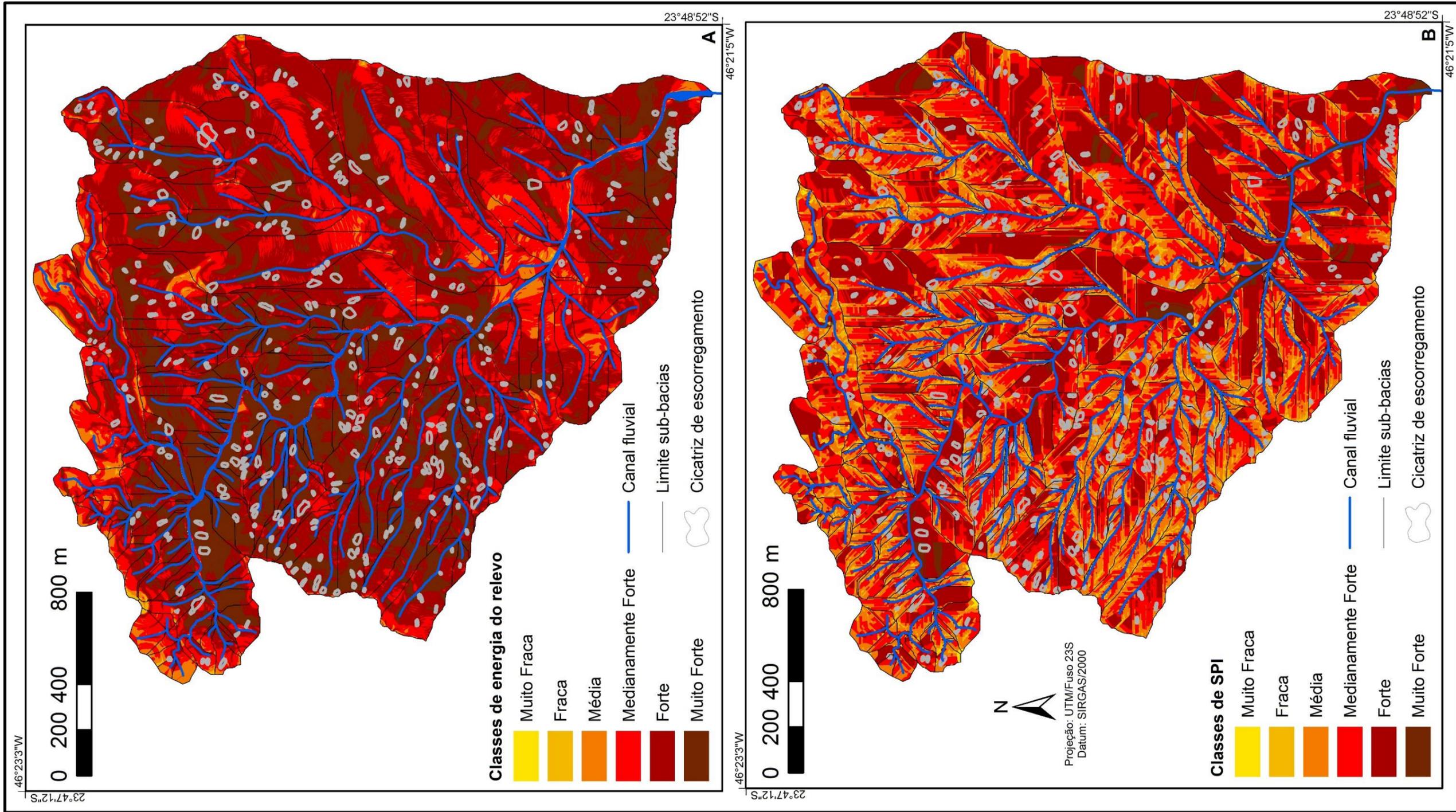
Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE I - Bacia do córrego do Cavalheiro. A –Energia do relevo; B – SPI



Fonte: elaborado pelos autores.

APÊNDICE J - Bacia do rio da Onça. A –Energia do relevo; B – SPI



Fonte: elaborado pelos autores

APÊNDICE L – Algoritmo para o cálculo da Dissecação Horizontal

```

##Append Polygons##
import arcpy
#Set environments
arcpy.env.XYResolution = "0.00001 Meters"
arcpy.env.XYTolerance = "0.0001 Meters"

arcpy.env.overwriteOutput = True
arcpy.env.workspace =
arcpy.GetParameterAsText(0)
C2=arcpy.GetParameterAsText(1)
C3=arcpy.GetParameterAsText(2)

# List all file geodatabases in the current
workspace
workspaces = arcpy.ListWorkspaces(".*",
"FileGDB")
fcs=[]
for workspace in workspaces:
    # List all Dissec FCS in workspaces
    arcpy.env.workspace = workspace
    featureclasses =
arcpy.ListFeatureClasses("DissecHC1*")
    if len (featureclasses)>0:
        fc=featureclasses[0]
        path="%s\%s" % (workspace,fc)
        fcs.append(path)
if len(fcs)>0:
    spatial_reference =
arcpy.Describe(fcs[0]).spatialReference

DissecOut_folder=arcpy.GetParameterAsText(
3)

DissecOut_name=arcpy.GetParameterAsText(
4)
    DissecOut_C1=DissecOut_name+"C1"

arcpy.CreateFeatureclass_management(Disse
cOut_folder, DissecOut_C1, "POLYGON", "",
"", "", spatial_reference)
    target="%s\%s" %
(DissecOut_folder,DissecOut_C1)
    arcpy.AddField_management(target,
"Classe_Dis_C1", "TEXT", "", "", "", "",
"NULLABLE")
    arcpy.Append_management (fcs, target,
"NO_TEST")

    if C2!="0":
        fcs=[]
        for workspace in workspaces:
            arcpy.env.workspace = workspace
            featureclasses =
arcpy.ListFeatureClasses("DissecHC2*")
            if len (featureclasses)>0:
                fc=featureclasses[0]
                path="%s\%s" % (workspace,fc)
                fcs.append(path)
            if len(fcs)>0:
                spatial_reference =
arcpy.Describe(fcs[0]).spatialReference
                DissecOut_C2=DissecOut_name+"C2"

arcpy.CreateFeatureclass_management(Disse
cOut_folder, DissecOut_C2, "POLYGON", "",
"", "", spatial_reference)
            target="%s\%s" %
(DissecOut_folder,DissecOut_C2)
            arcpy.AddField_management(target,
"Classe_Dis_C2", "TEXT", "", "", "", "",
"NULLABLE")
            arcpy.Append_management (fcs,
target, "NO_TEST")
            if C3!="0":
                fcs=[]
                for workspace in workspaces:
                    arcpy.env.workspace = workspace
                    featureclasses =
arcpy.ListFeatureClasses("DissecHC3*")
                    if len (featureclasses)>0:
                        fc=featureclasses[0]
                        path="%s\%s" % (workspace,fc)
                        fcs.append(path)
                    if len(fcs)>0:
                        spatial_reference =
arcpy.Describe(fcs[0]).spatialReference
                        DissecOut_C3=DissecOut_name+"C3"

arcpy.CreateFeatureclass_management(Disse
cOut_folder, DissecOut_C3, "POLYGON", "",
"", "", spatial_reference)
                    target="%s\%s" %
(DissecOut_folder,DissecOut_C3)
                    arcpy.AddField_management(target,
"Classe_Dis_C3", "TEXT", "", "", "", "",
"NULLABLE")
                    arcpy.Append_management (fcs,
target, "NO_TEST")

##Flipline##

import arcpy
from arcpy import env
import os
inFeatures=arcpy.GetParameterAsText(0)
try:
    arcpy.FlipLine_edit(inFeatures)
except Exception, e:
    # If an error occurred, print line number and
error message
    import traceback, sys
    tb = sys.exc_info()[2]
    print "Line %i" % tb.tb_lineno
    print e.message

```

```

##Dissecação Horizontal Core##
# Import system modules
import arcpy, os, random, sys
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
import math
from operator import itemgetter
from collections import OrderedDict

#Set environments
arcpy.env.overwriteOutput = True
arcpy.env.XYResolution = "0.00001 Meters"
arcpy.env.XYTolerance = "0.0001 Meters"

# Check out the ArcGIS extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
arcpy.CheckOutExtension("3D")

# Set local variables
env.workspace =
arcpy.GetParameterAsText(0)
Stream = arcpy.GetParameterAsText(1)
Basin = arcpy.GetParameterAsText(2)
Springs = arcpy.GetParameterAsText(3)
SplitStream_par =
float(arcpy.GetParameterAsText(4))
Group =float(arcpy.GetParameterAsText(5))
DEM=arcpy.GetParameterAsText(6)
c_str_C1 = arcpy.GetParameterAsText(7)
c_str_C2 = arcpy.GetParameterAsText(8)
c_str_C3 = arcpy.GetParameterAsText(9)
#Build Dissection classes
def list_classes (c_str, Classes):
    c_list = c_str.split(";")
    for c in c_list:
        c_int=int(c)
        Classes.append(c_int)
Classes_C1=[]
list_classes (c_str_C1, Classes_C1)
if c_str_C2!="0":
    Classes_C2=[]
    list_classes (c_str_C2, Classes_C2)
if c_str_C3!="0":
    Classes_C3=[]
    list_classes (c_str_C3, Classes_C3)

#function for calc class
def CalcClass (lenght, Class_list):
    for c,x in enumerate(Class_list):
        if lenght <= x:
            return c+1
            break

#Get Basin ID
Basin_ids = arcpy.SearchCursor (Basin)
rowB = Basin_ids.next()
Basin_idN = int(rowB.getValue("ID_Basin"))
Basin_id = "%d"%(Basin_idN)
arcpy.AddMessage("Processando Bacia
{0}".format(Basin_id))

```

```

#Basin Buffer and set extent
arcpy.MakeFeatureLayer_management(Basin,
"Basin_layer")
b100="in_memory"+"\\\\"+"b100"
b_0_5="in_memory"+"\\\\"+"b_0_5"
arcpy.Buffer_analysis("Basin_layer", b100,
"100 Meters", "FULL")
arcpy.Buffer_analysis("Basin_layer", b_0_5,
"0.05 Meters", "FULL")
descBasin = arcpy.Describe(b100)
arcpy.env.extent = descBasin.extent

#Prepare DEM
DEM_R="Dem_R"
arcpy.Resample_management(DEM, DEM_R,
"0.5", "NEAREST")
arcpy.MakeRasterLayer_management
(DEM_R, "DEM_R_layer")

#####START - Processing Stream#####
##Split Stream##

###START SPLIT LINE CODE IN A SAME
DISTANCE### Source:
http://nodedangles.wordpress.com/2011/05/01/quick-dirty-arcpy-batch-splitting-polylines-to-a-specific-length/
def splitline (inFC,FCName,alongDist):

    OutDir = env.workspace
    outFCName = FCName
    outFC = OutDir+"/"+outFCName

    def distPoint(p1, p2):
        calc1 = p1.X - p2.X
        calc2 = p1.Y - p2.Y

        return math.sqrt((calc1**2)+(calc2**2))

    def
midpoint(prevpoint,nextpoint,targetDist,totalDis
t):
        newX = prevpoint.X + ((nextpoint.X -
prevpoint.X) * (targetDist/totalDist))
        newY = prevpoint.Y + ((nextpoint.Y -
prevpoint.Y) * (targetDist/totalDist))
        return arcpy.Point(newX, newY)

    def splitShape(feat,splitDist):
        # Count the number of points in the
current multipart feature
        #
        partcount = feat.partCount
        partnum = 0
        # Enter while loop for each part in the
feature (if a singlepart feature
# this will occur only once)
        #
        lineArray = arcpy.Array()

```

```

while partnum < partcount:
    part = feat.getPart(partnum)

    totalDist = 0

    pnt = part.next()
    pntcount = 0

    prevpoint = None
    shapelist = []

    # Enter while loop for each vertex
    #
    while pnt:
        if not (prevpoint is None):
            thisDist =
distPoint(prevpoint,pnt)
            totalDist
                maxAdditionalDist = splitDist -
totalDist

            if (totalDist+thisDist)> splitDist:
                while(totalDist+thisDist) >
splitDist:
                    maxAdditionalDist =
splitDist - totalDist

                    newpoint =
midpoint(prevpoint,pnt,maxAdditionalDist,thisD
ist)
                    lineArray.add(newpoint)

shapelist.append(lineArray)

                    lineArray = arcpy.Array()
                    lineArray.add(newpoint)
                    prevpoint = newpoint
                    thisDist =
distPoint(prevpoint,pnt)
                    totalDist = 0

                    lineArray.add(pnt)
                    totalDist+=thisDist
                else:
                    totalDist+=thisDist
                    lineArray.add(pnt)

#shapelist.append(lineArray)
            else:
                lineArray.add(pnt)
                totalDist = 0

            prevpoint = pnt
            pntcount += 1

            pnt = part.next()

            # If pnt is null, either the part is
            finished or there is an

```

```

# interior ring
#
if not pnt:
    pnt = part.next()

partnum += 1

if (lineArray.count > 1):
    shapelist.append(lineArray)

return shapelist

if arcpy.Exists(outFC):
    arcpy.Delete_management(outFC)

arcpy.Copy_management(inFC,outFC)

deleterows = arcpy.UpdateCursor(outFC)
for iDRow in deleterows:
    deleterows.deleteRow(iDRow)

del iDRow
del deleterows

inputRows = arcpy.SearchCursor(inFC)
outputRows = arcpy.InsertCursor(outFC)
fields = arcpy.ListFields(inFC)

numRecords =
int(arcpy.GetCount_management(inFC).getOut
put(0))
OnePercentThreshold = numRecords // 100

iCounter = 0
iCounter2 = 0

for iInRow in inputRows:
    inGeom = iInRow.shape
    iCounter+=1
    iCounter2+=1
    if (iCounter2 >
(OnePercentThreshold+0)):
        iCounter2=0

        if (inGeom.length > alongDist):
            shapeList =
splitShape(iInRow.shape,alongDist)

            for itmp in shapeList:
                newRow = outputRows.newRow()
                for ifield in fields:
                    if (ifield.editable):

newRow.setValue(ifield.name,iInRow.getValue
(ifield.name))
                    newRow.shape = itmp
                    outputRows.insertRow(newRow)
            else:
                outputRows.insertRow(iInRow)

```

```

del inputRows
del outputRows

####END SPLIT LINE CODE IN A SAME
DISTANCE###

Stream_Split = "Stream_Split"
splitline(Stream,Stream_Split,SplitStream_par)

#####END - Processing Stream#####

#####Processing Basin#####
#Densify Basin
BasinN="BasinN"
arcpy.Copy_management(Basin, BasinN)
Densi_BasinV = SplitStream_par/4
Densi_BasinV = "%f Meters" %Densi_BasinV
arcpy.Densify_edit(Basin, "DISTANCE",
Densi_BasinV)

#Basin to line
Basin_line = "in_memory\Basin_line"
b_line_0_5="in_memory\B_line_0_5"
arcpy.FeatureToLine_management([Basin],
Basin_line)
arcpy.FeatureToLine_management([b_line_0_5],
b_line_0_5)
#Delete the first point of basin
StreamStart_point =
"in_memory\StreamStart_point"
arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
Stream, StreamStart_point , "START")
DrenaStart_buffer1="in_memory\DrenaStart_b
uffer1"
arcpy.Buffer_analysis(StreamStart_point ,
DrenaStart_buffer1, "1 Meters", "FULL",
"ROUND", "NONE", "")
BasinLine_erase =
"in_memory\BasinLine_erase"
arcpy.Erase_analysis(Basin_line,
DrenaStart_buffer1, BasinLine_erase)
BasinLine_dissolve="in_memory\BasinLine_dis
solve"
arcpy.Dissolve_management(BasinLine_erase
, BasinLine_dissolve, "", "", "SINGLE_PART",
"DISSOLVE_LINES")
#Class Basin
arcpy.MakeFeatureLayer_management(Spring
s, "Springs_layer")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
prings_layer", 'COMPLETELY_WITHIN',
Basin, "", "NEW_SELECTION")
Basin_cursor =
sorted(arcpy.da.SearchCursor("Springs_layer",
"OBJECTID"))
if len(Basin_cursor)==1:
    BasinSpring=True
else:
    BasinSpring=False

# Generate Distance
DistMap = "in_memory\DistMap"
arcpy.gp.EucDistance_sa(Stream_Split,
DistMap, "", "0.5")

#Buffer Stream_split
Stream_buffer2m =
"in_memory\Stream_buffer2m"
arcpy.Buffer_analysis(Stream_Split,
Stream_buffer2m, "2 Meters", "FULL",
"ROUND", "NONE", "")

#Add and calculate Azimute field in
Stream_Split
arcpy.AddField_management(Stream_Split,
"azimuth", "Double", "", "", "", "", "NULLABLE")
codeblock = """def CalculaAzimuth(linea):
    if (hasattr(linea,'type') and linea.type ==
'polyline'):
        xf = linea.firstPoint.X
        yf = linea.firstPoint.Y
        xl = linea.lastPoint.X
        yl = linea.lastPoint.Y
        dX = xl - xf
        dY = yl - yf
        PI = math.pi
        Azimuth = 0 #Default case, dX = 0 and dY
>= 0
        if dX > 0:
            Azimuth = 90 - math.atan( dY / dX ) *
180 / PI
        elif dX < 0:
            Azimuth = 270 - math.atan( dY / dX ) *
180 / PI
        elif dY < 0:
            Azimuth = 180
        return Azimuth
    else:
        return False"""
arcpy.CalculateField_management(Stream_Sp
lit,"azimuth",'CalculaAzimuth(!shape!),'PYTHO
N_9.3', codeblock)

#Calculate Maximum Elevation for SplitStream
Segments
##Add Field (z_max)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(Strea
m_Split, "SplitStream_layer")
arcpy.AddField_management
("SplitStream_layer", "z_max", "LONG")
arcpy.AddField_management
("SplitStream_layer", "z_maxID", "LONG")
##Calculate SplitStream_Maxtab
SplitStream_Maxtab="SplitStream_Maxtab"
outZSaT=ZonalStatisticsAsTable
("SplitStream_layer", "OBJECTID",
"DEM_R_layer", SplitStream_Maxtab,
"NODATA", "MAXIMUM")

```

```

arcpy.MakeTableView_management
("SplitStream_Maxtab",
"SplitStream_Maxtab_view")
##Add join
arcpy.AddJoin_management
("SplitStream_layer", "OBJECTID",
"SplitStream_Maxtab_view", "OBJECTID_1")
##Calculate field
arcpy.CalculateField_management
("SplitStream_layer", "z_max",
"[SplitStream_Maxtab.MAX]", "VB", "")
##Remove join
arcpy.RemoveJoin_management
("SplitStream_layer")
arcpy.CalculateField_management
("SplitStream_layer", "z_maxID",
"[z_max]+[OBJECTID]", "VB", "")

##Generate Stream_EndsPoint
Stream_EndsPoint =
"in_memory\StreamEnds_B%s"%Basin_id
arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
Stream, Stream_EndsPoint, "BOTH_ENDS")
##Select Mid stream Segments
arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
plitStream_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")
arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
plitStream_layer", 'intersect',
Stream_EndsPoint, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
##Calculate distance to Basin border
arcpy.Near_analysis("SplitStream_layer",
Basin_line)
##Select SplitStream Segments with distance
Less than 0.5 meter
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("S
plitStream_layer", "SUBSET_SELECTION",
'NEAR_DIST < 0.5')

#Mid dreña segments to point
StreamPoints = "StreamPoints"
arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
Stream_Split, StreamPoints, "MID")
arcpy.AddField_management(StreamPoints,
"azimuth2", "Double", "", "", "", "",
"NULLABLE")

#Add XY field and ID_ptdren field to
StreamPoints
arcpy.AddXY_management(StreamPoints)
arcpy.AddField_management(StreamPoints,
"ID_ptdren", "SHORT", "", "", "", "",
"NULLABLE")
#assign ID_ptdren with OBJECTID
cursorP = arcpy.UpdateCursor(StreamPoints)
for rowP in cursorP:
    rowP.setValue("ID_ptdren",
rowP.getValue("OBJECTID"))
    cursorP.updateRow(rowP)

```

```

del cursorP, rowP

#Start - Calculate azimuth seg dren X g
StreamPoints_cursor =
arcpy.da.UpdateCursor(StreamPoints,
("OBJECTID", "azimuth2"))
StreamPoints_list = sorted
(arcpy.da.SearchCursor(StreamPoints,
["OBJECTID", "POINT_X", "POINT_Y"]))
e=0
g=int(Group/2)
for a in StreamPoints_cursor:
    if (e-g)<0:
        firstx=StreamPoints_list[0][1]
        firsty=StreamPoints_list[0][2]
    else:
        firstx=StreamPoints_list[e-g][1]
        firsty=StreamPoints_list[e-g][2]
    if (e+g)>(len(StreamPoints_list)-1):
        lastx=StreamPoints_list[len(StreamPoints_list)-
1][1]
        lasty=StreamPoints_list[len(StreamPoints_list)-
1][2]
    else:
        lastx=StreamPoints_list[e+g][1]
        lasty=StreamPoints_list[e+g][2]
    #Calculate Azimuth
    xf = firstx
    yf = firsty
    xl = lastx
    yl = lasty
    dX = xl - xf
    dY = yl - yf
    PI = math.pi
    Azimuth = 0 #Default case, dX = 0 and dY
    >= 0
    if dX > 0:
        Azimuth = 90 - math.atan( dY / dX ) * 180
    / PI
    elif dX < 0:
        Azimuth = 270 - math.atan( dY / dX ) * 180
    / PI
    elif dY < 0:
        Azimuth = 180
    a[1]=Azimuth
    StreamPoints_cursor.updateRow(a)
    e+=1

del a, e, StreamPoints_cursor,
StreamPoints_list
#END - Calculate azimuth seg dren X g

#Generate pts_Basin
pts_Basin = "in_memory\pts_Basin"
arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
BasinLine_dissolve, pts_Basin, "ALL")
if BasinSpring==True:

```

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Basin
N, "BasinN_layer")
  Densi_BasinV_N="%f Meters"
%SplitStream_par
  arcpy.Densify_edit("BasinN_layer",
"DISTANCE", Densi_BasinV_N)
  Basin_line_N = "in_memory\Basin_line_N"

arcpy.FeatureToLine_management([BasinN],
Basin_line_N)
  BasinLine_erase_N =
"in_memory\BasinLine_erase_N"
  arcpy.Erase_analysis(Basin_line_N,
DrenaStart_buffer1, BasinLine_erase_N)

BasinLine_dissolve_N="in_memory\BasinLine
_dissolve_N"

arcpy.Dissolve_management(BasinLine_erase
_N, BasinLine_dissolve_N, "", "",
"SINGLE_PART", "DISSOLVE_LINES")
  pts_Basin_N="in_memory\pts_Basin_N"

arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
BasinLine_dissolve_N, pts_Basin_N, "ALL")

#Add XY field, direcao field and delete overlap
points
arcpy.AddXY_management(pts_Basin)
arcpy.DeleteIdentical_management(pts_Basin,
"POINT_X;POINT_Y", "0.001 Meters", "0")

#Create linesC, linesC_L and linesC_R
spatial_reference =
arcpy.Describe(Basin).spatialReference
arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "linesC_L", "POLYLINE", "", "", "",
spatial_reference)
arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "linesC_R", "POLYLINE", "", "", "",
spatial_reference)
arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "linesC", "POLYLINE", "", "", "",
spatial_reference)
linesC_L = "linesC_L"
linesC_R = "linesC_R"
linesC = "linesC"

#Create layers
expressionZ = "'z_max">=0'
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(StreamPoints, "StreamPoints_layer",
expressionZ)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(pts_B
asin, "pts_Basin_layer")

##Analyse StreamPoints##
#Create StreamPoints List#
##Generate Cursors

```

```

rows_StreamPoints=sorted(arcpy.da.SearchC
ursor("StreamPoints_layer", "z_maxID"))
rows_SplitStream=sorted(arcpy.da.SearchCur
sor("SplitStream_layer", "z_maxID"))
#Definig StreamPoints_list
StreamPoints_list = []
##Populate StreamPoints_list
if len(rows_SplitStream)>0:
  StreamPoints_values = []
  for value in rows_StreamPoints:
    StreamPoints_values.append
(int(value[0]))

n=1
while (len(rows_SplitStream)+1)>=n:
  if n==1:
    listP=[]
    for value in StreamPoints_values:
      if value<=rows_SplitStream[0][0]:
        listP.append(value)
  if n==(len(rows_SplitStream)+1):
    listP=[]
    for value in StreamPoints_values:
      if value>rows_SplitStream[n-2][0]:
        listP.append(value)
  if n>1 and n<=len(rows_SplitStream):
    listP=[]
    for value in StreamPoints_values:
      if value>rows_SplitStream[n-2][0]
and value<=rows_SplitStream[n-1][0]:
        listP.append(value)
  ##StreamPoints_list
  listP_corect=[]
  len_list=len(listP)
  for e, pt in enumerate (listP):
    if e<len_list-(e+1):
      listP_corect.append(str(listP[e]))
      listP_corect.append(str(listP[len_list-
(e+1)]))
    continue
  if e==len_list-(e+1):
    listP_corect.append(str(listP[e]))
    break
  else:
    break
  listP=listP_corect
  for row in listP:
    StreamPoints_list.append(row)
  n+=1
#Remove duplicate values

StreamPoints_list=list(list(OrderedDict.fromkey
s(StreamPoints_list).keys()))
else:
  for row in rows_StreamPoints:
    StreamPoints_list.append(int(row[0]))
  ##Invert StreamPoints_list
  StreamPoints_List_corect=[]
  len_list=len(StreamPoints_list)
  for e, pt in enumerate (StreamPoints_list):

```

```

        if e<len_list-(e+1):

StreamPoints_List_corect.append(str(StreamP
oints_list[e]))

StreamPoints_List_corect.append(str(StreamP
oints_list[len_list-(e+1)])
    continue
    if e==len_list-(e+1):

StreamPoints_List_corect.append(str(StreamP
oints_list[e]))
    break
    else:
    break
    StreamPoints_list=StreamPoints_List_corect

#Process all StreamPoints
len_list=len(StreamPoints_list)
pt_n=0
arcpy.AddMessage(StreamPoints_list)
for row_ptdrena in StreamPoints_list:
    pt_n+=1
    arcpy.AddMessage("Processando B{0}
Ponto {1}/{2}".format(Basin_id,pt_n,len_list))
    #Get id ptdrena
    ID_StreamPoint = str(row_ptdrena)
    # Make a pt_select layer
    expressionS = "'z_maxID"
    ='ID_StreamPoint
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
("StreamPoints_layer",
"StreamPoints_layer_S", expressionS)
    #Select Switch Drena_Split segment
    expression_drena="'z_maxID" <> %d'%
(int(ID_StreamPoint))
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(Stream_Split, "Stream_Split_layer",
expression_drena)

    # Get pt direction
    dir_rows = arcpy.SearchCursor
("StreamPoints_layer_S")
    dir_row = dir_rows.next()
    dir_seg = int(dir_row.getValue("azimuth2"))
    del dir_rows, dir_row

    #Create expression_leftlines
    LimitL_min = dir_seg
    LimitL_max = LimitL_min + 180
    if LimitL_max<=360:
        expression_leftlines = 'AZIMUTH > %s
and AZIMUTH <= %s'% (LimitL_min,
LimitL_max)
    elif LimitL_max>360:
        LimitL_max-=360
        expression_leftlines = 'AZIMUTH > %s
OR AZIMUTH <= %s'% (LimitL_min,
LimitL_max)

    ##Create a angle restriction for sightlines
    #Calculate base values
    base1 = dir_seg+90
    if base1>360:
        base1-=360
    base2 = dir_seg-90
    if base2<0:
        base2+=360
    open_ang=5
    base1_min = base1 - open_ang
    if base1_min<0:
        base1_min+=360
    base1_max = base1 + open_ang
    if base1_max>360:
        base1_max-=360
    base2_min = base2 - open_ang
    if base2_min<0:
        base2_min+=360
    base2_max = base2 + open_ang
    if base2_max>360:
        base2_max-=360
    base1_min = "%f" % base1_min
    base1_max = "%f" % base1_max
    base2_min = "%f" % base2_min
    base2_max = "%f" % base2_max

    # Create expression_sightlines to limit
sightlines angles
    expression_sightlines = 'AZIMUTH > %s
and AZIMUTH <= %s or AZIMUTH > %s and
AZIMUTH<= %s'% (base1_min, base1_max,
base2_min, base2_max)
    if base2<=open_ang or base2>360-
open_ang:
        expression_sightlines = 'AZIMUTH > %s
and AZIMUTH <= %s or AZIMUTH > %s or
AZIMUTH<= %s'% (base1_min, base1_max,
base2_min, base2_max)
    if base1 <= open_ang or base1>360-
open_ang:
        expression_sightlines = 'AZIMUTH > %s
or AZIMUTH <= %s or AZIMUTH > %s and
AZIMUTH<= %s'% (base1_min, base1_max,
base2_min, base2_max)

    #Build Sightlines
    sightlines =
"in_memory\sightline_pt"+ID_StreamPoint

arcpy.ddd.ConstructSightLines("StreamPoints_
layer_S", "pts_Basin_layer", sightlines,
"<None>", "<None>", "<None>", "0.5",
"OUTPUT_THE_DIRECTION")

    ####Spatial Query#### part 1
    #Filter Sightlines with open_angle using
expression_sightlines
    #sightlines_Selected =
"sightline_pt"+ID_StreamPoint+"_S"

```

```

#arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion(sightlines, env.workspace,
sightlines_Selected, expression_sightlines)

sightlines_Selected="in_memory\sightline_pt"+
ID_StreamPoint+"_S"

sightlines_Selected_name="sightline_pt"+ID_S
treamPoint+"_S"

arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion(sightlines, "in_memory",
sightlines_Selected_name,
expression_sightlines)
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines_Selected, "sightlines_layer")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect', linesC_L, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect', linesC_R, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect', b_line_0_5, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect',
"Stream_Split_layer", "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")

####Attribute Left Query#### part2
#Build Left Sightlines apling
expression_leftline to select left lines
arcpy.MakeFeatureLayer_management
("sightlines_layer", "sightlinesED_layer")
sightlines_SelectedL =
"in_memory\sightline_pt"+ID_StreamPoint+"_
S_L"

sightlines_SelectedL_name="sightline_pt"+ID_
StreamPoint+"_S_L"

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("si
ghtlinesED_layer", "NEW_SELECTION",
expression_leftlines)
#Export Left Sightlines Selection

arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion("sightlinesED_layer", "in_memory",
sightlines_SelectedL_name)

arcpy.AddGeometryAttributes_management
(sightlines_SelectedL, "LENGTH", "", "", "")

####Attribute Right Query#### part2
#Build Right Sightlines apling invert
expression_leftline to select Right lines
sightlines_SelectedR =
"in_memory\sightline_pt"+ID_StreamPoint+"_S
_R"

sightlines_SelectedR_name="sightline_pt"+ID
_StreamPoint+"_S_R"

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("si
ghtlinesED_layer", "SWITCH_SELECTION")
#Export Right Sightlines Selection

arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion("sightlinesED_layer", "in_memory",
sightlines_SelectedR_name)
arcpy.AddGeometryAttributes_management
(sightlines_SelectedR, "LENGTH", "", "", "")

####START - Select the best sightlines####
#Select Best left line
lenght_cursor_left =
sorted(arcpy.da.SearchCursor(sightlines_Se
lectedL, ["LENGTH", "OID_TARGET"]))
if len(lenght_cursor_left)>0:
Add_L=True
#lenght_left=lenght_cursor_left[0][0]
Lenght_left=lenght_cursor_left[0][0]
m_rowID = lenght_cursor_left[0][1]
#classL = CalcClass(lenght_left)
m_rowID = "%d" % m_rowID
expressionF = 'OID_TARGET='+
m_rowID
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines_SelectedL, "sightlineL_select",
expressionF)
arcpy.Append_management
("sightlineL_select", linesC_L, "NO_TEST", "",
"")
#Select Best Right line
lenght_cursor_right =
sorted(arcpy.da.SearchCursor(sightlines_Se
lectedR, ["LENGTH", "OID_TARGET"]))
if len(lenght_cursor_right)>0:
Add_R=True
Lenght_right=lenght_cursor_right[0][0]
m_rowID = lenght_cursor_right[0][1]
m_rowID = "%d" % m_rowID
expressionF = 'OID_TARGET='+
m_rowID
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines_SelectedR, "sightlineR_select",
expressionF)

```

```

        arcpy.Append_management
("sightlineR_select", linesC_R, "NO_TEST", "",
)
        #Clean memory
        try:

arcpy.Delete_management("sightlines_layer")

arcpy.Delete_management("sightlines_layer")
        arcpy.Delete_management(sightlines)

arcpy.Delete_management(sightlines_Selected
d)

arcpy.Delete_management(sightlines_Selected
dL)

arcpy.Delete_management(sightlines_Selected
dR)
        except:
            pass

        ###END - Select the best sightlines###

##START - Processing Last Point###
if BasinSpring==True:
    #Get id ptdrena
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(pts_Basin_N, "pts_Basin_layer_N")

    #Select Stream Segments
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(Stream_Split, "Stream_Split_layer")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
tream_Split_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
tream_Split_layer", 'intersect', "Springs_layer",
"", "REMOVE_FROM_SELECTION")

    #Build Sightlines
    sightlines =
"in_memory\sightline_ptNascente"

arcpy.ddd.ConstructSightLines("Springs_layer"
, "pts_Basin_layer_N", sightlines, "<None>",
"<None>", "<None>", "0.5",
"OUTPUT_THE_DIRECTION")
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines, "sightlines_layer")

        ###Spatial Query### part 1

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect', linesC_L, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect', linesC_R, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
    sightlines_SelectedED =
"in_memory\sightline_ptNascente_ED"

sightlines_SelectedED_name="sightline_ptNas
cente_ED"

arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversio
n("sightlines_layer", "in_memory",
sightlines_SelectedED_name)

        ###Spatial Query### part 2
        arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines_SelectedED,
"sightlines_SelectedED_layer")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_SelectedED_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_SelectedED_layer", 'intersect',
b_line_0_5, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
        arcpy.Append_management
("sightlines_SelectedED_layer", linesC,
"NO_TEST", "", "")
        #Clean memory
        try:
            arcpy.Delete_management(sightlines)

arcpy.Delete_management(sightlines_Selected
dED)
        except:
            pass

###END - Last Point Processing###

#Apeend sightlines
arcpy.Append_management(linesC_L, linesC,
"NO_TEST", "", "")
arcpy.Append_management(linesC_R, linesC,
"NO_TEST", "", "")

# Build Dissection pol
infeatures = [linesC, Stream, Basin]
Dissech_pol = "DisH_B"+Basin_id
clusTol = "0.01 Meters"
arcpy.FeatureToPolygon_management(infeatu
res, Dissech_pol, clusTol,"NO_ATTRIBUTES",
"")

# Add Horizontal dissection field

```

```

arcpy.AddField_management(Dissech_pol,
"Classe_Dis_C1", "Text", "", "", "", "",
"NULLABLE")
if c_str_C2!="0":
    arcpy.AddField_management(Dissech_pol,
"Classe_Dis_C2", "Text", "", "", "", "",
"NULLABLE")
if c_str_C3!="0":
    arcpy.AddField_management(Dissech_pol,
"Classe_Dis_C3", "Text", "", "", "", "",
"NULLABLE")

```

```

# Calculate max dist table
MaxDist_Table =
env.workspace+"\MaxDist_table"
outZSaT =
ZonalStatisticsAsTable(Dissech_pol,
"OBJECTID", DistMap, MaxDist_Table,
"NODATA", "MAXIMUM")

```

```

#Add Join
arcpy.MakeFeatureLayer_management(Dissec
H_pol, "Dissech_pol_lyr")
arcpy.JoinField_management("Dissech_pol_ly
r", "OBJECTID", MaxDist_Table,
"OBJECTID_1", ["MAX"])
Dissech_pol2 = "DisH2_B"+Basin_id
arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversio
n("Dissech_pol_lyr", env.workspace,
Dissech_pol2)

```

```

#Calculate Dissection field with update cursor
cursor = arcpy.UpdateCursor(Dissech_pol2)
for row in cursor:
    value=row.getValue("MAX")
    class_pol_C1=CalcClass(value,
Classes_C1)
    if isinstance (class_pol_C1, int)==True:
        classe_C1= "Classe %d" %class_pol_C1
        row.setValue("Classe_Dis_C1",
classe_C1)
    else:

```

```

arcpy.AddMessage("ALERTA!!!POLIGONO
NÃO CLASSIFICADO. MAIOR CLASSE DE
DISSECAÇÃO FORNECIDA MENOR QUE A
DISSECAÇÃO DO POLIGONO")
    if c_str_C2!="0":
        class_pol_C2=CalcClass(value,
Classes_C2)
        if isinstance (class_pol_C2, int)==True:
            classe_C2= "Classe %d"
%class_pol_C2
            row.setValue("Classe_Dis_C2",
classe_C2)
        else:

```

```

arcpy.AddMessage("ALERTA!!!POLIGONO
NÃO CLASSIFICADO. MAIOR CLASSE DE

```

```

DISSECAÇÃO FORNECIDA MENOR QUE A
DISSECAÇÃO DO POLIGONO")
    if c_str_C3!="0":
        class_pol_C3=CalcClass(value,
Classes_C3)
        if isinstance (class_pol_C3, int)==True:
            classe_C3= "Classe %d"
%class_pol_C3
            row.setValue("Classe_Dis_C3",
classe_C3)
        else:

```

```

arcpy.AddMessage("ALERTA!!!POLIGONO
NÃO CLASSIFICADO. MAIOR CLASSE DE
DISSECAÇÃO FORNECIDA MENOR QUE A
DISSECAÇÃO DO POLIGONO")
        cursor.updateRow(row)
    del cursor, row

```

```

#Dissolve polygons based on dissection
classes
Dissech_Dissolve_C1="in_memory"+"\"+"Diss
HC1_B"+Basin_id
arcpy.Dissolve_management(Dissech_pol2,
Dissech_Dissolve_C1, ["Classe_Dis_C1"], "",
"SINGLE_PART")
if c_str_C2!="0":

```

```

Dissech_Dissolve_C2="in_memory"+"\"+"Diss
HC2_B"+Basin_id
    arcpy.Dissolve_management(Dissech_pol2,
Dissech_Dissolve_C2, ["Classe_Dis_C2"], "",
"SINGLE_PART")
if c_str_C3!="0":

```

```

Dissech_Dissolve_C3="in_memory"+"\"+"Diss
HC3_B"+Basin_id
    arcpy.Dissolve_management(Dissech_pol2,
Dissech_Dissolve_C3, ["Classe_Dis_C3"], "",
"SINGLE_PART")

```

```

#Split polygons
infeatures=[Dissech_Dissolve_C1,Stream]
Basin_split_C1="in_memory"+"\"+"B"+Basin_i
d+"_Split_C1"
arcpy.FeatureToPolygon_management(infeatu
res, Basin_split_C1,
clusTol,"NO_ATTRIBUTES", "")
if c_str_C2!="0":
    infeatures=[Dissech_Dissolve_C2,Stream]

```

```

Basin_split_C2="in_memory"+"\"+"B"+Basin_i
d+"_Split_C2"

```

```

arcpy.FeatureToPolygon_management(infeatu
res, Basin_split_C2,
clusTol,"NO_ATTRIBUTES", "")
if c_str_C3!="0":
    infeatures=[Dissech_Dissolve_C3,Stream]

```

```

Basin_split_C3="in_memory"+"\\ "+B"+Basin_id+
_split_C3"

arcpy.FeatureToPolygon_management(infeatures, Basin_split_C3,
clusTol,"NO_ATTRIBUTES", "")

#Union polygons
infeatures=[DissechH_Dissolve_C1,Basin_split_C1]
DissechH_Union_C1="in_memory"+"\\ "+DissechH_UnionC1_B"+Basin_id
arcpy.Union_analysis(infeatures,DissechH_Union_C1,"ALL",clusTol)
if c_str_C2!="0":

infeatures=[DissechH_Dissolve_C2,Basin_split_C2]

DissechH_Union_C2="in_memory"+"\\ "+DissechH_UnionC2_B"+Basin_id

arcpy.Union_analysis(infeatures,DissechH_Union_C2,"ALL",clusTol)
if c_str_C3!="0":

infeatures=[DissechH_Dissolve_C3,Basin_split_C3]

DissechH_Union_C3="in_memory"+"\\ "+DissechH_UnionC3_B"+Basin_id

arcpy.Union_analysis(infeatures,DissechH_Union_C3,"ALL",clusTol)

#Clip polygons
DissechH_F_C1="DissechC1_B"+Basin_id
arcpy.Clip_analysis (DissechH_Union_C1, Basin, DissechH_F_C1)
if c_str_C2!="0":
    DissechH_F_C2="DissechC2_B"+Basin_id
    arcpy.Clip_analysis (DissechH_Union_C2, Basin, DissechH_F_C2)
if c_str_C3!="0":
    DissechH_F_C3="DissechC3_B"+Basin_id
    arcpy.Clip_analysis (DissechH_Union_C3, Basin, DissechH_F_C3)

#Clean memory
try:
    arcpy.Delete_management(Stream_Split)
    arcpy.Delete_management(DistMap)

arcpy.Delete_management(Stream_buffer2m)
arcpy.Delete_management(StreamPoints)
arcpy.Delete_management(BasinN)
arcpy.Delete_management(Basin_line)
arcpy.Delete_management(b_line_0_5)

arcpy.Delete_management(StreamStart_point)
arcpy.Delete_management(DrenaStart_buffer1)

arcpy.Delete_management(BasinLine_erase)

arcpy.Delete_management(BasinLine_dissolve)
    arcpy.Delete_management(pts_Basin)
    arcpy.Delete_management(Basin_line_N)

arcpy.Delete_management(BasinLine_erase_N)

arcpy.Delete_management(BasinLine_dissolve_N)
    arcpy.Delete_management(pts_Basin_N)
    arcpy.Delete_management(b100)
    arcpy.Delete_management(b_0_5)

arcpy.Delete_management(DissechH_Dissolve_C1)

arcpy.Delete_management(DissechH_Dissolve_C2)

arcpy.Delete_management(DissechH_Dissolve_C3)
    arcpy.Delete_management(Basin_split_C1)
    arcpy.Delete_management(Basin_split_C2)
    arcpy.Delete_management(Basin_split_C3)

arcpy.Delete_management(DissechH_Union_C1)

arcpy.Delete_management(DissechH_Union_C2)

arcpy.Delete_management(DissechH_Union_C3)

except:
    pass

###Reclass###
import arcpy
#Set environments
arcpy.env.XYResolution = "0.00001 Meters"
arcpy.env.XYTolerance = "0.0001 Meters"
arcpy.env.overwriteOutput = True

#Variable
folder=arcpy.GetParameterAsText(0)
arcpy.env.workspace=folder
C_str=arcpy.GetParameterAsText(1)
Suffix=arcpy.GetParameterAsText(2)

#List Classes function
def list_classes (c_str, Classes):

```

```

c_list = c_str.split(";")
for c in c_list:
    c_int=int(c)
    Classes.append(c_int)
#Build list classes
Classes=[]
list_classes (C_str, Classes)

#Define field name
field="Classe_Dis"+Sufix

#function for calc class
def CalcClass (lenght, Class_list):
    for c,x in enumerate(Class_list):
        if lenght <= x:
            return c
            break

# List all file geodatabases in the current
workspace
workspaces = arcpy.ListWorkspaces(".*",
"FileGDB")
fcs=[]
for workspace in workspaces:
    # List all DisH_ FCS in workspaces
    arcpy.env.workspace = workspace
    featureclasses =
arcpy.ListFeatureClasses("DisH_*")
    if len (featureclasses)>0:
        fc_name=featureclasses[0]
        fc="%s\%s" % (workspace,fc_name)
        arcpy.AddField_management(fc, field,
"Text", "", "", "", "", "", "NULLABLE")
        #Calculate Dissecation field with update
cursor
        cursor = arcpy.UpdateCursor(fc)
        for row in cursor:
            value=row.getValue("MAX")
            class_pol=CalcClass(value, Classes)
            classe= "Classe %d" %class_pol
            row.setValue(field, classe)
            cursor.updateRow(row)
        del cursor, row
        #Dissolve polygons based on dissecation
classes
        Basin_ID=(fc_name.split("_"))[1]
        DissecH_Dissolve="%s\%s" %
(workspace,Basin_ID)
        arcpy.Dissolve_management(fc,
DissecH_Dissolve, [field], "", "SINGLE_PART")
        #Split polygons

drenagem=folder+"\General.gdb\Drenagem"
infeatures=[DissecH_Dissolve,drenagem]
Bacia_split=Basin_ID+"_Split"
clusTol = "0.01 Meters"

arcpy.FeatureToPolygon_management(infeatu
res, Bacia_split, clusTol,"NO_ATTRIBUTES",
"")

#Union polygons
infeatures=[DissecH_Dissolve,Bacia_split]

DissecH_union="DissecUnion_"+Basin_ID

arcpy.Union_analysis(infeatures,DissecH_unio
n,"ALL",clusTol)
#Clip polygons

DissecH_F="DissecH_"+Basin_ID+"_" +Sufix
Basin=workspace+"\\"+Basin_ID
arcpy.Clip_analysis (DissecH_union,
Basin, DissecH_F)

#Build DissecH List
path="%s\%s" % (workspace,DissecH_F)
fcs.append(path)

if len(fcs)>0:
    spatial_reference =
arcpy.Describe(fcs[0]).spatialReference

DissecOut_folder=arcpy.GetParameterAsText(
3)

DissecOut_name=arcpy.GetParameterAsText(
4)
DissecOut=DissecOut_name

arcpy.CreateFeatureclass_management(Disse
cOut_folder, DissecOut, "POLYGON", "", "", "",
spatial_reference)
target="%s\%s" %
(DissecOut_folder,DissecOut)
arcpy.AddField_management(target, field,
"TEXT", "", "", "", "", "NULLABLE")
arcpy.Append_management (fcs, target,
"NO_TEST")

```

APÊNDICE M – Algoritmo para o cálculo da Dissecação Vertical

```

##Dissecação Vertical##
# -*- coding: cp1252 -*-
# Import system modules
import arcpy, os, random, sys
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
import math
from math import hypot
from operator import itemgetter
from operator import add
import collections
from collections import OrderedDict

###Start extendline - Source:
http://gis.stackexchange.com/questions/71645/a-tool-or-way-to-extend-line-by-specified-distance
def extendline (layer, distance):

    #Computes new coordinates x3,y3 at a
    #specified distance
    #along the prolongation of the line from
    x1,y1 to x2,y2
    def newcoord(coords, dist):
        (x1,y1),(x2,y2) = coords
        dx = x2 - x1
        dy = y2 - y1
        linelen = hypot(dx, dy)

        x3 = x2 + dx/linelen * dist
        y3 = y2 + dy/linelen * dist
        return x3, y3

    #accumulate([1,2,3,4,5]) --> 1 3 6 10 15
    #Equivalent to itertools.accumulate() which
    #isn't present in Python 2.7
    def accumulate(iterable):
        it = iter(iterable)
        total = next(it)
        yield total
        for element in it:
            total = add(total, element)
            yield total

    #OID is needed to determine how to break
    #up flat list of data by feature.
    coordinates = [[row[0], row[1]] for row in
        arcpy.da.SearchCursor(layer,
        ["OID@", "SHAPE@XY"],
        explode_to_points=True)]

    oid,vert = zip(*coordinates)

    #Construct list of numbers that mark the
    #start of a new feature class.
    #This is created by counting OIDs and then
    #accumulating the values.
    vertcounts =
    list(accumulate(collections.Counter(oid).values
    ()))

    #Grab the last two vertices of each feature
    lastpoint = [point for x,point in
    enumerate(vert) if x+1 in vertcounts or x+2 in
    vertcounts]

    #Convert flat list of tuples to list of lists of
    #tuples.
    #Obtain list of tuples of new end
    #coordinates.
    newvert = [newcoord(y, distance) for y in
    zip(*[iter(lastpoint)]*2)]

    j = 0
    with arcpy.da.UpdateCursor(layer,
    "SHAPE@XY", explode_to_points=True) as
    rows:
        for i,row in enumerate(rows):
            if i+1 in vertcounts:
                row[0] = newvert[j]
                j+=1
                rows.updateRow(row)
###End extendline

###START SPLIT LINE CODE IN A SAME
    DISTANCE### Source:
http://nodedangles.wordpress.com/2011/05/01/quick-dirty-arcpy-batch-splitting-polylines-to-a-specific-length/
def splitline (inFC,FCName,alongDist):

    OutDir = env.workspace
    outFCName = FCName
    outFC = OutDir+"/"+outFCName

    def distPoint(p1, p2):
        calc1 = p1.X - p2.X
        calc2 = p1.Y - p2.Y

        return math.sqrt((calc1**2)+(calc2**2))

    def
    midpoint(prevpoint,nextpoint,targetDist,totalDis
    t):
        newX = prevpoint.X + ((nextpoint.X -
        prevpoint.X) * (targetDist/totalDist))
        newY = prevpoint.Y + ((nextpoint.Y -
        prevpoint.Y) * (targetDist/totalDist))
        return arcpy.Point(newX, newY)

    def splitShape(feat,splitDist):
        # Count the number of points in the
        #current multipart feature
        #
        partcount = feat.partCount

```

```

partnum = 0
# Enter while loop for each part in the
feature (if a singlepart feature
# this will occur only once)
#
lineArray = arcpy.Array()

while partnum < partcount:
    # Print the part number
    #
    #print "Part " + str(partnum) + ":"
    part = feat.getPart(partnum)
    #print part.count

    totalDist = 0

    pnt = part.next()
    pntcount = 0

    prevpoint = None
    shapelist = []

    # Enter while loop for each vertex
    #
    while pnt:

        if not (prevpoint is None):
            thisDist =
distPoint(prevpoint,pnt)
            totalDist
            maxAdditionalDist = splitDist -
totalDist

            #print thisDist, totalDist,
maxAdditionalDist

            if (totalDist+thisDist)> splitDist:
splitDist:
                while(totalDist+thisDist) >
splitDist - totalDist
                    maxAdditionalDist =
maxAdditionalDist
                    #print thisDist, totalDist,
maxAdditionalDist
                    newpoint =
midpoint(prevpoint,pnt,maxAdditionalDist,thisD
ist)
                    lineArray.add(newpoint)

shapelist.append(lineArray)

                    lineArray = arcpy.Array()
                    lineArray.add(newpoint)
                    prevpoint = newpoint
                    thisDist =
distPoint(prevpoint,pnt)
                    totalDist = 0

                    lineArray.add(pnt)
                    totalDist+=thisDist
                else:
                    totalDist+=thisDist

lineArray.add(pnt)
#shapelist.append(lineArray)
else:
    lineArray.add(pnt)
    totalDist = 0

    prevpoint = pnt
    pntcount += 1

    pnt = part.next()

    # If pnt is null, either the part is
finished or there is an
    # interior ring
    #
    if not pnt:
        pnt = part.next()
    if pnt:
        print "Interior Ring:"
        partnum += 1

    if (lineArray.count > 1):
        shapelist.append(lineArray)

    return shapelist

if arcpy.Exists(outFC):
    arcpy.Delete_management(outFC)

arcpy.Copy_management(inFC,outFC)

#origDesc = arcpy.Describe(inFC)
#sR = origDesc.spatialReference

#revDesc = arcpy.Describe(outFC)
#revDesc.ShapeFieldName

deleterows = arcpy.UpdateCursor(outFC)
for iDRow in deleterows:
    deleterows.deleteRow(iDRow)

try:
    del iDRow
    del deleterows
except:
    pass

inputRows = arcpy.SearchCursor(inFC)
outputRows = arcpy.InsertCursor(outFC)
fields = arcpy.ListFields(inFC)

numRecords =
int(arcpy.GetCount_management(inFC).getOut
put(0))
OnePercentThreshold = numRecords // 100

#printit(numRecords)

iCounter = 0

```

```

iCounter2 = 0

for iInRow in inputRows:
    inGeom = iInRow.shape
    iCounter+=1
    iCounter2+=1
    if (iCounter2 >
(OnePercentThreshold+0)):
        #printit("Processing Record
"+str(iCounter) + " of "+ str(numRecords))
        iCounter2=0

        if (inGeom.length > alongDist):
            shapeList =
splitShape(iInRow.shape,alongDist)

            for itmp in shapeList:
                newRow = outputRows.newRow()
                for ifield in fields:
                    if (ifield.editable):

newRow.setValue(ifield.name,iInRow.getValue
(ifield.name))
                    newRow.shape = itmp
                    outputRows.insertRow(newRow)
                else:
                    outputRows.insertRow(iInRow)

            del inputRows
            del outputRows

        #printit("Done!")
####END SPLIT LINE CODE IN A SAME
DISTANCE###

#Set environments
arcpy.env.overwriteOutput = True
arcpy.env.XYResolution = "0.00001 Meters"
arcpy.env.XYTolerance = "0.0001 Meters"

# Check out the ArcGIS extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
arcpy.CheckOutExtension("3D")

# Set local variables
WorkFolder=arcpy.GetParameterAsText(0)
Stream=arcpy.GetParameterAsText(1)
Basins_input=arcpy.GetParameterAsText(2)
Contour_input=arcpy.GetParameterAsText(3)
ContourInterval_par=float(arcpy.GetParameter
AsText(4))
ContourElevField=arcpy.GetParameterAsText(
5)
DEM=arcpy.GetParameterAsText(6)
Scale=arcpy.GetParameterAsText(7)
DissecOut_location=arcpy.GetParameterAsTe
xt(8)
DissecOut_name=arcpy.GetParameterAsText(
9)

#Define Scale_par, SplitStream_par and
BufferStream_par, DensifyBasin_par
Scale_par=int((Scale.split(":"))[1])/5000
SplitStream_par=Scale_par
BufferStream_par=str(Scale_par*5)
DensifyBasin_par="%d Meters" %Scale_par

#Set a folder as Workspace
env.workspace=WorkFolder

# Prepare fodler to Work #
## List all file geodatabases in the current
workspace
workspaces=arcpy.ListWorkspaces("",
"FileGDB")
## Delete each geodatabase
for workspace in workspaces:
    arcpy.Delete_management(workspace)
    arcpy.SetParameterAsText(1, "true")

## Create "General" file geodatabase
General_GDB=WorkFolder+"\General.gdb"
arcpy.CreateFileGDB_management(WorkFold
er, "General", "CURRENT")
env.workspace=WorkFolder+"\General.gdb"

# Process Stream #
## Export Stream to "General" geodatabase
StreamFlip=General_GDB+"\StreamFlip"
arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversio
n(Stream, General_GDB, "StreamFlip", "", "",
"")

## Flip Stream
arcpy.FlipLine_edit(StreamFlip)

#Prepare DEM
DEM_R=General_GDB+"\Dem_R"
arcpy.Resample_management(DEM, DEM_R,
"0.5", "NEAREST")
arcpy.MakeRasterLayer_management
(DEM_R, "DEM_R_layer")

#Processing Basins
## Export Basins to "General" geodatabase
Basins=General_GDB+"\Basins"
arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversio
n(Basins_input, General_GDB, "Basins", "", "",
"")
##Calculate Z_min and Z_max for all bassins
###Add Fields (z_min and z_max)
arcpy.MakeFeatureLayer_management(Basins
, "Basins_layer")
arcpy.AddField_management ("Basins_layer",
"z_min", "LONG")
arcpy.AddField_management ("Basins_layer",
"z_max", "LONG")
###Calculate Elev statistic table
MinMax_tab=General_GDB+"\MinMax_tab"

```

```

outZSaT=ZonalStatisticsAsTable
("Basins_layer", "OBJECTID", "DEM_R_layer",
MinMax_tab, "NODATA", "MIN_MAX")
arcpy.MakeTableView_management
(MinMax_tab, "MinMax_tab_view")
####Add join
arcpy.AddJoin_management ("Basins_layer",
"OBJECTID", "MinMax_tab_view",
"OBJECTID_1")
###Calculate fields
arcpy.CalculateField_management
("Basins_layer", "z_min", "[MinMax_tab.MIN]",
"VB", "")
arcpy.CalculateField_management
("Basins_layer", "z_max",
"[MinMax_tab.MAX]", "VB", "")
###Remove join
arcpy.RemoveJoin_management
("Basins_layer")

#Make Unsplit and make contour Layer
Contour=General_GDB+"\Contour"
arcpy.UnsplitLine_management
(Contour_input, Contour, ContourElevField)
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(Contour, "Contour_layer")

#Create Basins List#
##Create direct list (Basins_list)
rows_Basins=arcpy.SearchCursor (Basins)
Basins_list = []
for row in rows_Basins:
    value = str(row.getValue("OBJECTID"))
    Basins_list.append(value)

NC_dissec=0

# Processing each Basin #
len_BasinsList=len(Basins_list)
##Loop Basins
for rowB in Basins_list:
    #Set Basins extend
    descbasins=arcpy.Describe(Basins)
    arcpy.env.extent=descbasins.extent

    #Get a basin ID
    Basin_ID=int(rowB)
    Basin_Name="B%d"%Basin_ID
    arcpy.AddMessage("Processando Bacia
%d/%d "%(Basin_ID, len_BasinsList))

    #Create a Geodatabase
    arcpy.CreateFileGDB_management
(WorkFolder, Basin_Name, "CURRENT")

    #Set geodatabase as Workspace
    env.workspace=("%s\%s.gdb" %
(WorkFolder, Basin_Name))

    #Export a basin

    expressionBasin = "OBJECTID"
    ='+str(Basin_ID)
    Basin_S="B_%d"%Basin_ID

    arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion
("Basins_layer", env.workspace, Basin_S,
expressionBasin)
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(Basin_S, "Basin_S_layer")

    #Basin buffer and set basin extend

    BasinBuffer="in_memory\B%d_100"%Basin_I
D

    BasinBuffer_05="in_memory\B%d_100"%Basi
n_ID
    arcpy.Buffer_analysis(Basin_S, BasinBuffer,
"100 Meters", "FULL")
    arcpy.Buffer_analysis(Basin_S,
BasinBuffer_05, "0.5 Meters", "FULL")
    descbasin=arcpy.Describe(BasinBuffer)
    arcpy.env.extent=descbasin.extent

    #Processing stream Part 1#
    ##Clip stream
    StreamClip="Stream_B%d"%Basin_ID
    arcpy.Clip_analysis(StreamFlip, Basin_S,
StreamClip, "")
    ##Dissolve stream

    StreamDissolve="StreamDissolve_B%d"%Basi
n_ID
    arcpy.Dissolve_management (StreamClip,
StreamDissolve,"", "", "SINGLE_PART")
    ##Buffer stream
    Stream_buffer2m =
"in_memory\Stream_buffer2m_B%d"%Basin_I
D
    arcpy.Buffer_analysis(StreamClip,
Stream_buffer2m, "2 Meters", "FULL",
"ROUND", "NONE", "")

    #Processing basin and basin points#
    ##Densify basin
    BasinDensify="B%d_Densify"%Basin_ID
    arcpy.Copy_management(Basin_S,
BasinDensify, "")
    arcpy.Densify_edit(BasinDensify,
"DISTANCE", DensifyBasin_par)
    ##Basin to line

    BasinLine="in_memory\B%d_Line"%Basin_ID

    BasinBuffer_05_line="in_memory\B%d_05_lin
e"%Basin_ID

    arcpy.FeatureToLine_management([BasinDen
sify], BasinLine)

```

```

arcpy.FeatureToLine_management([BasinBuffer_05], BasinBuffer_05_line)
    ##Delete the both ends points of basin
    Stream_EndsPoint =
"in_memory\StreamEnds_B%d"%Basin_ID

arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
StreamDissolve, Stream_EndsPoint,
"BOTH_ENDS")

StreamEnds_buffer="in_memory\StreamEnds
Buffer_B%d"%Basin_ID
arcpy.Buffer_analysis(Stream_EndsPoint,
StreamEnds_buffer, "1 Meters", "FULL",
"ROUND", "NONE", "")
BasinLine_erase =
"in_memory\B%d_LineErase"%Basin_ID
arcpy.Erase_analysis(BasinLine,
StreamEnds_buffer, BasinLine_erase)

BasinLine_dissolve="in_memory\B%d_LineDis
solve"%Basin_ID

arcpy.Dissolve_management(BasinLine_erase
, BasinLine_dissolve, "", "", "SINGLE_PART",
"DISSOLVE_LINES")
    ##Generate Basin Point
    BasinPoints =
"in_memory\B%d_point"%Basin_ID

arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
BasinLine_dissolve, BasinPoints, "ALL")
    ##Add XY field and delete overlap points
arcpy.AddXY_management(BasinPoints)

arcpy.DeleteIdentical_management(BasinPoint
s, "POINT_X;POINT_Y", "", "0")
    ##Calculate BasinPtElev statistic table

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Basin
Points, "BasinPoints_layer")

BasinPtElev_tab="in_memory\BasinPtElev_tab
"
    outZSaT=ZonalStatisticsAsTable
("BasinPoints_layer", "OBJECTID",
"DEM_R_layer", BasinPtElev_tab, "NODATA",
"MAXIMUM")
arcpy.MakeTableView_management
(BasinPtElev_tab, "BasinPtElev_tab_view")
    ##Get Min a Max elevation of the basin
basin_rows = arcpy.SearchCursor (Basin_S)
basin_row = basin_rows.next()

Basin_MinElev=int(basin_row.getValue("z_min
"))

Basin_MaxElev=int(basin_row.getValue("z_ma
x"))

#Clip contour
ContourClip="in_memory\Contour_B%d"%Basi
n_ID
arcpy.Clip_analysis(Contour, Basin_S,
ContourClip, "")

#Processing Stream Part 2#
##Split stream
SplitStream="SplitStre_B%d" %Basin_ID
splitline(StreamDissolve,SplitStream,
SplitStream_par)
##Add and calculate Azimuth field for
SplitStream
arcpy.AddField_management(SplitStream,
"azimuth", "Double", "", "", "", "", "NULLABLE")
codeblock = """def CalculaAzimuth(linea):
    if (hasattr(linea,'type') and linea.type ==
'polyline'):
        xf = linea.firstPoint.X
        yf = linea.firstPoint.Y
        xl = linea.lastPoint.X
        yl = linea.lastPoint.Y
        dX = xl - xf
        dY = yl - yf
        PI = math.pi
        Azimuth = 0 #Default case, dX = 0 and
dY >= 0
        if dX > 0:
            Azimuth = 90 - math.atan( dY / dX ) *
180 / PI
        elif dX < 0:
            Azimuth = 270 - math.atan( dY / dX
)* 180 / PI
        elif dY < 0:
            Azimuth = 180
        return Azimuth
    else:
        return False"""

arcpy.CalculateField_management(SplitStrea
m,"azimuth",'CalculaAzimuth(!shape!),'PYTHO
N_9.3', codeblock)
    ##Calculate Maximum Elevation for
SplitStream Segments
    ###Add Field (z_max)

arcpy.MakeFeatureLayer_management(SplitSt
ream, "SplitStream_layer")
arcpy.AddField_management
("SplitStream_layer", "z_max", "LONG")
    ###Calculate SplitStream_Maxtab
SplitStream_Maxtab="SplitStream_Maxtab"
outZSaT=ZonalStatisticsAsTable
("SplitStream_layer", "OBJECTID",
"DEM_R_layer", SplitStream_Maxtab,
"NODATA", "MAXIMUM")

```

```

    arcpy.MakeTableView_management
("SplitStream_Maxtab",
"SplitStream_Maxtab_view")
    ####Add join
    arcpy.AddJoin_management
("SplitStream_layer", "OBJECTID",
"SplitStream_Maxtab_view", "OBJECTID_1")
    ####Calculate field
    arcpy.CalculateField_management
("SplitStream_layer", "z_max",
"[SplitStream_Maxtab.MAX]", "VB", "")
    ####Remove join
    arcpy.RemoveJoin_management
("SplitStream_layer")

    ##Select Mid stream Segments

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
plitStream_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
plitStream_layer", 'intersect',
Stream_EndsPoint, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
    ##Calculate distance to Basin border
    arcpy.Near_analysis("SplitStream_layer",
BasinLine)
    ##Select SplitStream Segments with
distance Less than 0.5 meter

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("S
plitStream_layer", "SUBSET_SELECTION",
'NEAR_DIST < 0.5')

    ##Generate StreamPointsMulti using
"intersection tools"

StreamPoints_Multi="StreamPointsMulti_B%d"
%Basin_ID
    arcpy.Intersect_analysis ([ContourClip,
SplitStream], StreamPoints_Multi, "ALL", "",
"POINT")

StreamPoints_count=arcpy.GetCount_manage
ment(StreamPoints_Multi)

StreamPoints_count=int(StreamPoints_count.g
etOutput(0))
    if StreamPoints_count==0:
        ##Generate MID stream points

Stream_MidPoints="in_memory\Stream_MidP
oints"

arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
StreamDissolve, Stream_MidPoints, "MID")

    if StreamPoints_count>0:

        ##Create StreamPoint and convert
multipoint to point

StreamPoints="StreamPointsB%d"%Basin_ID
    arcpy.MultipartToSinglepart_management
(StreamPoints_Multi, StreamPoints)

        ##Generate MID stream points

Stream_SlitAtPoints1="in_memory\StreamAtSl
itPoints1"
        arcpy.SplitLineAtPoint_management
(StreamDissolve, StreamPoints,
Stream_SlitAtPoints1, 0.1)

Stream_SlitAtPoints2="in_memory\StreamAtSl
itPoints2"
        arcpy.SplitLineAtPoint_management
(Stream_SlitAtPoints1, "BasinPoints_layer",
Stream_SlitAtPoints2, 0.1)

Stream_MidPoints="in_memory\Stream_MidP
oints"

arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
Stream_SlitAtPoints2, Stream_MidPoints,
"MID")

        #Create Dissection lines StreamPoints
Buffer
        spatial_reference =
arcpy.Describe(Basin_S).spatialReference

arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "DissecLines_L", "POLYLINE", "", "",
"", spatial_reference)

arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "DissecLines_R", "POLYLINE", "",
"", "", spatial_reference)

arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "DissecLines_L_temp",
"POLYLINE", "", "", "", spatial_reference)

arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "DissecLines_R_temp",
"POLYLINE", "", "", "", spatial_reference)

arcpy.CreateFeatureclass_management(env.w
orkspace, "Contour_PointSegs", "POLYLINE",
"", "", "", spatial_reference)
        DissecLines_L="DissecLines_L"
        DissecLines_R="DissecLines_R"

DissecLines_L_temp="DissecLines_L_temp"

DissecLines_R_temp="DissecLines_R_temp"
        Contour_PointSegs="Contour_PointSegs"

```



```

arcpy.MakeFeatureLayer_management
("StreamPoints_layer", "Stream_Point",
expressionS)

StreamPoint_Buffer="in_memory\StreamPt%s
_Buffer"%StreamPoint_ID

arcpy.Buffer_analysis("Stream_Point",
StreamPoint_Buffer, BufferStream_par,
"FULL", "ROUND", "NONE", "")

StreamPoint_Buffer_05="in_memory\StreamPt
%s_Buffer05"%StreamPoint_ID

arcpy.Buffer_analysis("Stream_Point",
StreamPoint_Buffer_05, "0.1", "FULL",
"ROUND", "NONE", "")
    #Select contour

arcpy.SelectLayerByLocation_management("C
ontour_layer", 'intersect', "Stream_Point",
"0.1", "NEW_SELECTION")
    #Clip Contour and append

Contour_PointSeg="in_memory\Contour_Point
%sSeg"%StreamPoint_ID
    arcpy.Clip_analysis("Contour_layer",
StreamPoint_Buffer, Contour_PointSeg)
    arcpy.Append_management
([Contour_PointSeg], Contour_PointSegs,
"NO_TEST")

    #Processing StreamPoint_Buffer#
    ##Convert StreamPoint Buffer to line

StreamPoint_PTLine="in_memory\StreamPoin
tPT%s_BLine"%StreamPoint_ID

arcpy.PolygonToLine_management(StreamPoi
nt_Buffer, StreamPoint_PTLine,
"IGNORE_NEIGHBORS")
    ##Convert StreamPoints PTLine and
Contour to polygon

StreamPoint_PTSplit="in_memory\StreamPoin
tPT%s_Split"%StreamPoint_ID

arcpy.FeatureToPolygon_management([Strea
mPoint_PTLine,Contour_PointSeg],
StreamPoint_PTSplit, "", "NO_ATTRIBUTES",
"")

arcpy.MakeFeatureLayer_management
(StreamPoint_PTSplit,
"StreamPoint_PTSplit_layer")
    ##Clip StreamDissolve with
StreamPoint_PTSplit

StreamClip_point="in_memory\StreamClip_PT
%s"%StreamPoint_ID
    arcpy.Clip_analysis(StreamDissolve,
StreamPoint_PTSplit, StreamClip_point, "")
    ##Convert StreamClip_point to point

StreamClip_PtFirst="in_memory\StreamClip_P
t%sFirst"%StreamPoint_ID

arcpy.FeatureVerticesToPoints_management(
StreamClip_point, StreamClip_PtFirst,
"START")
    ##Select StreamPoint_PTSplit
polygon

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
treamPoint_PTSplit_layer", 'intersect',
StreamClip_PtFirst, "", "NEW_SELECTION")

arcpy.MakeFeatureLayer_management
("StreamPoint_PTSplit_layer",
"LowSector_layer")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
treamPoint_PTSplit_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")

arcpy.MakeFeatureLayer_management
("StreamPoint_PTSplit_layer",
"HighSector_layer")
    ##Generate LowSector_line

LowSector_line="in_memory\LowSector_line"
    arcpy.Erase_analysis
(StreamPoint_PTLine, "HighSector_layer",
LowSector_line, "0.1")

    #Erase Contour and Stream

ContourErase="in_memory\ContourErase_pt%
s"%StreamPoint_ID
    arcpy.Erase_analysis(ContourClip,
StreamPoint_Buffer, ContourErase)

Stream_Erasept="in_memory\StreamErase_pt
%s"%StreamPoint_ID

arcpy.Erase_analysis(StreamDissolve,Stream
Point_Buffer_05, Stream_Erasept)

    # Get Stream_Point Elevation and
Azimuth#
    dir_rows = arcpy.SearchCursor
("Stream_Point")
    dir_row = dir_rows.next()
    ##Get direction
    dir_Stream_Point =
int(dir_row.getValue("azimuth"))
    ##Get elevation

```

```
elev_Stream_Point=int(dir_row.getValue(ContourElevField))
```

```
    #Select low contours
    expression_Contour='%s<=%d'%
(ContourElevField, elev_Stream_Point)
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(ContourErase, "ContourLow_layer",
expression_Contour)
```

```
    #Create expression#
    a=10
    ##Expression expression_leftlines#
    LimitL_min = dir_Stream_Point + a
    if LimitL_min > 360:
        LimitL_min-=360
    LimitL_max = LimitL_min + (180 - a)
    if LimitL_max<=360:
        expression_leftlines = 'AZIMUTH
> %s and AZIMUTH <= %s'% (LimitL_min,
LimitL_max)
    elif LimitL_max>360:
        LimitL_max-=360
        expression_leftlines = 'AZIMUTH
> %s OR AZIMUTH <= %s'% (LimitL_min,
LimitL_max)
    ##Expression expression_rightlines
    LimitR_min = dir_Stream_Point - a
    if LimitR_min < 0:
        LimitR_min+=360
    LimitR_max = LimitR_min - (180 - a)
    if LimitR_max>=0:
        expression_rightlines = 'AZIMUTH
> %s and AZIMUTH <= %s'% (LimitR_max,
LimitR_min)
    elif LimitR_max<0:
        LimitR_max+=360
        expression_rightlines = 'AZIMUTH
> %s OR AZIMUTH <= %s'% (LimitR_max,
LimitR_min)
```

```
    #Build and select Sightline#
    ##Build Sightlines
    sightlines =
"in_memory\sightlines_pt"+StreamPoint_ID
    sample_distance=0.5
```

```
arcpy.ddd.ConstructSightLines("Stream_Point"
, "BasinPoints_layer", sightlines, "<None>",
"<None>", "<None>", sample_distance,
"OUTPUT_THE_DIRECTION")
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines, "sightlines_layer")
```

```
    ##Add Target elevation Fields to
sightlines
```

```
    arcpy.AddField_management
("sightlines_layer", "ElevTarg", "Double")
    ##Add join Sightlines with Basin
Points
```

```
    arcpy.AddJoin_management
("sightlines_layer", "OID_TARGET",
"BasinPtElev_tab_view", "OBJECTID_1")
    ##Calculate ElevTarg field
    arcpy.CalculateField_management
("sightlines_layer", "ElevTarg",
"[BasinPtElev_tab.MAX]", "VB", "")
    ##Remove join from sightlines_layer
    arcpy.RemoveJoin_management
("sightlines_layer")
    ##Select Sightlines with elevation >=
Stream_Point elevation
    expressionSightlines='ElevTarg >=
%s'% str(elev_Stream_Point)
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines, "sightlines_layer",
expressionSightlines)
```

```
    ###Spatial Query### part 1
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect',
DissecLines_L_temp, "0.1",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect',
DissecLines_R_temp, "0.1",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect',
BasinBuffer_05_line, "0.1",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect',
"ContourLow_layer", "0.1",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect', LowSector_line,
"0.1", "REMOVE_FROM_SELECTION")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("si
ghtlines_layer", 'intersect', Stream_Erasept,
"0.05", "REMOVE_FROM_SELECTION")
```

```
    ###Attribute Left Query### part2
```

```
    #Build Left Sightlines apling
expression_leftline to select left lines
```

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management
("sightlines_layer", "sightlinesLR_layer")
    sightlines_SelectedL =
"sightline_pt"+StreamPoint_ID+"_S_L"

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("si
ghtlinesLR_layer", "NEW_SELECTION",
expression_leftlines)
    #Export Left Sightlines Selection

arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversio
n("sightlinesLR_layer", env.workspace,
sightlines_SelectedL)

    ####Attribute Right Query#### part2
    #Build Right Sightlines apling
expression_rightlines to select right lines
    sightlines_SelectedR =
"sightline_pt"+StreamPoint_ID+"_S_R"

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("si
ghtlinesLR_layer", "NEW_SELECTION",
expression_rightlines)
    #Export Right Sightlines Selection

arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversio
n("sightlinesLR_layer", env.workspace,
sightlines_SelectedR)

    ####START - Select the best
sightlines####
    #Select Best left line
    lenght_cursor_left =
sorted(arcpy.da.SearchCursor(sightlines_Sele
ctedL, ["Shape_Length", "OBJECTID"]))
    if len(lenght_cursor_left)>0:
        Add_L=True

Lenght_left=lenght_cursor_left[0][0]
    m_rowID = lenght_cursor_left[0][1]
    #classL = CalcClass(lenght_left)
    m_rowID = "%d" % m_rowID
    expressionF = 'OBJECTID ='+
m_rowID

arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines_SelectedL, "sightlineL_select",
expressionF)

arcpy.Append_management("sightlineL_select
", DissecLines_L_temp, "NO_TEST")

DissecLines_L_erase="in_memory\DissecLine
s_L_erase"

arcpy.Erase_analysis("sightlineL_select",
"LowSector_layer", DissecLines_L_erase)

    arcpy.Append_management
(DissecLines_L_erase, DissecLines_L,
"NO_TEST", "", "")
    #Select Best Right line
    lenght_cursor_right =
sorted(arcpy.da.SearchCursor(sightlines_Sele
ctedR, ["Shape_Length", "OBJECTID"]))
    if len(lenght_cursor_right)>0:
        Add_R=True

Lenght_right=lenght_cursor_right[0][0]
    m_rowID =
lenght_cursor_right[0][1]
    m_rowID = "%d" % m_rowID
    expressionF = 'OBJECTID ='+
m_rowID

arcpy.MakeFeatureLayer_management
(sightlines_SelectedR, "sightlineR_select",
expressionF)

arcpy.Append_management("sightlineR_select
", DissecLines_R_temp, "NO_TEST")

DissecLines_R_erase="in_memory\DissecLine
s_R_erase"

arcpy.Erase_analysis("sightlineR_select",
"LowSector_layer", DissecLines_R_erase)
    arcpy.Append_management
(DissecLines_R_erase, DissecLines_R,
"NO_TEST")
    #Delete memory files
    try:

arcpy.Delete_management(StreamPoint_Buffe
r)

arcpy.Delete_management(StreamPoint_Buffe
r_05)

arcpy.Delete_management(StreamPoint_PTLi
ne)

arcpy.Delete_management(StreamPoint_PTS
plit)

arcpy.Delete_management(StreamClip_point)

arcpy.Delete_management(StreamClip_PtFirst
)

arcpy.Delete_management(ContourErase)

arcpy.Delete_management(Stream_Erasept)

arcpy.Delete_management(sightlines)

arcpy.Delete_management(DissecLines_L_era
se)

```

```

arcpy.Delete_management(DissecLines_R_erase)
    except:
        pass

    ###END - Select the best
sightlines###
    arcpy.AddMessage("Ponto %d/%d
OK!"%(n, len_StreamPointsList))
    ###END Processing each Stream
Point###

    arcpy.AddMessage("Calculando a
dissecação...")
    # Build Vertical Dissection pol and
Dissection Zones
    if StreamPoints_count>0:
        #Prepare Contour_PointSegs
        arcpy.MakeFeatureLayer_management
(Contour_PointSegs,
"Contour_PointSegs_layer")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("C
ontour_PointSegs_layer", "", "", "",
"SWITCH_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("C
ontour_PointSegs_layer", 'intersect',
BasinLine, "",
"REMOVE_FROM_SELECTION")
    #Define infeatures
    infeatures_pol = [DissecLines_R,
DissecLines_L, StreamClip, Basin_S,
ContourClip]
    #infeatures_zones =
[DissecLines_R_temp, DissecLines_L_temp,
StreamClip, Basin_S,
"Contour_PointSegs_layer"]
    infeatures_zones =
[DissecLines_R_temp, DissecLines_L_temp,
StreamClip, Basin_S]
    else:
        infeatures_pol = [StreamClip, Basin_S,
ContourClip]
        infeatures_zones =[StreamClip, Basin_S]
        DissecV_inter = "in_memory\DissecV_inter"
        DissecV_zones =
"DissectionV_zones"+str(Basin_ID)
        clusTol = "0.01 Meters"

arcpy.FeatureToPolygon_management(infeatu
res_pol, DissecV_inter,
clusTol,"NO_ATTRIBUTES", "")

arcpy.FeatureToPolygon_management(infeatu
res_zones, DissecV_zones,
clusTol,"NO_ATTRIBUTES", "")

#Calculate Vertical Dissection#
###Add Dissection Field

arcpy.AddField_management(DissecV_inter,
"DissectionV", "Long", "", "", "", "",
"NULLABLE")
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(DissecV_inter, "DissecV_inter_layer")
    arcpy.CalculateField_management
("DissecV_inter_layer", "DissectionV", 0,
"VB", "")
    ##Add Zone Field to Dissection_zones

arcpy.AddField_management(DissecV_zones,
"Zone", "Long", "", "", "", "", "NULLABLE")
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(DissecV_zones, "Dissection_zones_layer")
    arcpy.CalculateField_management
("Dissection_zones_layer", "Zone",
"[OBJECTID]", "VB", "")

#Processing zones
###Generate DissecV_point
DissecV_point="in_memory\DissecV_point"
arcpy.FeatureToPoint_management
("DissecV_inter_layer", DissecV_point,
"INSIDE")
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(DissecV_point, "DissecV_point_layer")
    ###Assing zones to points
    DissecV_Zone="in_memory\DissecV_Zone"
    arcpy.SpatialJoin_analysis
("DissecV_point_layer",
"Dissection_zones_layer", DissecV_Zone,
"JOIN_ONE_TO_ONE", "KEEP_ALL", "",
"WITHIN", "", "")
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(DissecV_Zone, "DissecV_Zone_layer")

DissecV_pol="DissectionV_B%d"%Basin_ID
arcpy.SpatialJoin_analysis
("DissecV_inter_layer", "DissecV_Zone_layer",
DissecV_pol, "JOIN_ONE_TO_ONE",
"KEEP_ALL", "", "CONTAINS", "", "")
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
(DissecV_pol, "DissecV_pol_layer")

###Calculate first class

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Strea
m_EndsPoint, "Stream_EndsPoint_layer")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
tream_EndsPoint_layer", 'INTERSECT',
ContourClip, "", "NEW_SELECTION")

desc=arcpy.Describe("Stream_EndsPoint_laye
r").FIDSet
#####If no selection
if desc!="":

```

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management(StreamClip, "StreamClip_layer")
    extendline("StreamClip_layer", 0.5)
    Stream_EndsPoint =
"in_memory\StreamEnds_B%d"%Basin_ID

arcpy.FeatureVerticesToPoints_management("
StreamClip_layer", Stream_EndsPoint, "END")
    #Select

arcpy.SelectLayerByLocation_management("DissecV_pol_layer", 'INTERSECT',
Stream_MidPoints, "0.1",
"NEW_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("DissecV_pol_layer", 'INTERSECT',
Stream_EndsPoint, "0.1",
"ADD_TO_SELECTION")

    #Calculate
    dis_value=ContourInterval_par
    arcpy.CalculateField_management
("DissecV_pol_layer", "DissecationV",
dis_value, "VB", "")
    arcpy.SelectLayerByAttribute_management
("DissecV_pol_layer", "CLEAR_SELECTION",
"")

    #####Calculate other classes

rows_zones=arcpy.da.SearchCursor("Dissecation_zones_layer", "Zone")
for zone in rows_zones:
    L=1
    dis_value=ContourInterval_par
    ##Create zone layer
    expressionZone = 'Zone=%s'%zone
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
("DissecV_pol_layer", "DissecV_pol_select",
expressionZone)
    ##Select "DissecV_pol_layer"

NC_result=arcpy.GetCount_management("DissecV_pol_select")
NC=int(NC_result.getOutput(0))
#print ("NC = %d"%NC)
while L<=NC:
    L+=1
    dis_value+=ContourInterval_par
    #Build for calculating layer
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
("DissecV_pol_select", "ForCalculating_layer",
'DissecationV=0')
    #Build calculated layer
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
("DissecV_pol_select", "Calculated_layer",
'DissecationV>0')
    #Select pols for calc

arcpy.SelectLayerByLocation_management("ForCalculating_layer", 'INTERSECT',
"Calculated_layer", "", "NEW_SELECTION")
    arcpy.CalculateField_management
("ForCalculating_layer", "DissecationV",
dis_value, "VB", "")

NC_for=arcpy.GetCount_management("ForCalculating_layer")
NC_for=int(NC_for.getOutput(0))
NC_dissec+=NC_for
arcpy.AddMessage("Dissecação calculada")

#Delete memory files
arcpy.Delete_management(BasinBuffer)
arcpy.Delete_management(BasinBuffer_05)

arcpy.Delete_management(Stream_EndsPoint
)
    arcpy.Delete_management(StreamClip)
    arcpy.Delete_management(BasinLine)

arcpy.Delete_management(BasinBuffer_05_line)

arcpy.Delete_management(StreamEnds_buffer)

arcpy.Delete_management(BasinLine_erase)

arcpy.Delete_management(BasinLine_dissolve)

arcpy.Delete_management(BasinPtElev_tab)
arcpy.Delete_management(ContourClip)

arcpy.Delete_management(StreamPoints_Multi)
    arcpy.Delete_management(DissecV_inter)
    arcpy.Delete_management(DissecV_point)
    arcpy.Delete_management(DissecV_Zone)

arcpy.Delete_management(Stream_EndsPoint
)

arcpy.Delete_management(Stream_SlitAtPoints1)

arcpy.Delete_management(Stream_SlitAtPoints1)

arcpy.Delete_management(Stream_MidPoints)

if NC_dissec==0:
    arcpy.AddMessage("A dissecação de
    TODOS os poligonos foram calculadas")
if NC_dissec>0:

```

```

    arcpy.AddMessage("ATENÇÃO. Não foi
    possível calcular a dissecação de %d
    poligonos" %NC_dissec)

#Set extend to basins again
descbasins=arcpy.Describe(Basins)
arcpy.env.extent=descbasins.extent

#Append all DissecV_pol file and generate a
Output#
##List all file geodatabases in workfolder
arcpy.env.workspace=WorkFolder
workspaces = arcpy.ListWorkspaces("",
"FileGDB")
fcs=[]
##Append all DissecV_pol
for workspace in workspaces:
    # List all Dissection FCS in workspaces
    arcpy.env.workspace = workspace
    featureclasses =
arcpy.ListFeatureClasses("DissecationV_B**")
    if len (featureclasses)>0:
        fc=featureclasses[0]
        path="%s\%s" % (workspace,fc)
        fcs.append(path)
if len(fcs)>0:
    spatial_reference =
arcpy.Describe(fcs[0]).spatialReference

arcpy.CreateFeatureclass_management(Disse
cOut_location, DissecOut_name, "POLYGON",
"", "", "", spatial_reference)
    target="%s\%s" %
(DissecOut_location,DissecOut_name)
    arcpy.AddField_management(target,
"DissecationV", "Long", "", "", "", "",
"NULLABLE")
    arcpy.Append_management (fcs, target,
"NO_TEST")

```

APÊNDICE N – Algoritmo para determinação da célula de fluxo e calculo da área de acumulação e SPI

```

###Flow core ##
# -*- coding: utf-8 -*-
# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
from Tools import ZonalAnalysis
from Tools import Up_ContriArea
from Tools import Max_FlowSeg
from Tools import FlowSlopes
from Tools import splitline
from Tools import Valey_ContributeArea
from datetime import datetime
now = datetime.now()

# Check out the ArcGIS extensions licenses
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

# Set environment settings
arcpy.env.XYResolution = "0.00001 Meters"
arcpy.env.XYTolerance = "0.0001 Meters"
arcpy.env.overwriteOutput = True

#Variables
BD_Geral=arcpy.GetParameterAsText(1)
WorkFolder=arcpy.GetParameterAsText(2)
Basins=arcpy.GetParameterAsText(3)
Stream=arcpy.GetParameterAsText(4)
MDE=arcpy.GetParameterAsText(5)
Slope=arcpy.GetParameterAsText(6)
Summit=arcpy.GetParameterAsText(7)
Springs=arcpy.GetParameterAsText(8)
alongDist=arcpy.GetParameterAsText(9)

out_FlowCells=BD_Geral+"\\"+"FlowCells"
env.workspace=BD_Geral

#Process Hidrology
## Create Contour
Contour=BD_Geral+"\\"+"Contour"
arcpy.sa.Contour (MDE, Contour, 5)
##Flow direction
outFlowDir=FlowDirection (MDE)
FlowDir=BD_Geral+"\\"+"FlowDir"
outFlowDir.save(FlowDir)
##Flow Accumulation
outFAcc=FlowAccumulation (FlowDir, "",
"INTEGER")
FlowAcc=BD_Geral+"\\"+"FlowAcc"
outFAcc.save(FlowAcc)

#Make Layers
arcpy.MakeFeatureLayer_management
(Basins, "Basins_layer")

#Create Basins List#
##Create direct list (Basins_list)
rows_Basins=arcpy.SearchCursor (Basins)
Basins_list = []
for row in rows_Basins:
    value = str(row.getValue("OBJECTID"))
    Basins_list.append(value)

# Processing each Basin #
len_BasinsList=len(Basins_list)
FlowCells_list=[]
##Loop Basins
for rowB in Basins_list:
    #Set Basins extend
    descbasins=arcpy.Describe(Basins)
    arcpy.env.extent=descbasins.extent

    #Get a basin ID
    Basin_ID=int(rowB)
    Basin_Name="B%d"%Basin_ID
    arcpy.AddMessage("Processing Basin
    %d/%d"%(Basin_ID, len_BasinsList))

#Create a Geodatabase
    arcpy.CreateFileGDB_management
    (WorkFolder, Basin_Name, "CURRENT")

    #Set geodatabase as Workspace
    env.workspace="%s\\%s.gdb".encode("UTF-
    8") % (WorkFolder, Basin_Name)

    #Export a basin
    expressionBasin = "OBJECTID"
    =''+str(Basin_ID)
    Basin="B_%d"%Basin_ID

arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversio
n("Basins_layer", env.workspace, Basin,
expressionBasin)
    arcpy.MakeFeatureLayer_management
    (Basin, "Basin_layer")

    #Basin buffer and set basin extend

BasinBuffer="in_memory\B%d_10"%Basin_ID
    arcpy.Buffer_analysis(Basin, BasinBuffer,
    "10 Meters", "FULL")
    arcpy.env.extent=BasinBuffer

    #Clip Stream
    Stream_Basin= "Stream_B%d"%Basin_ID
    arcpy.Clip_analysis(Stream, Basin,
    Stream_Basin)
    #Process Stream

```

```

#Divide o FlowSeg em segmentos iguais, de
acordo com o parâmetro alongDist. Utiliza a
ferramenta splitline
#Split FlowSeg
FlowSeg_Split="FlowSeg_Split"
splitline
(Stream_Basin,FlowSeg_Split,alongDist)

#Cria uma lista dos segmentos criados
##Create a FlowSeg list (FlowSeg)
rows_FlowSeg=arcpy.SearchCursor
(FlowSeg_Split)
FlowSeg_list = []
for row in rows_FlowSeg:
    value = str(row.getValue("OBJECTID"))
    FlowSeg_list.append(value)
try:
    del row, rows_FlowSeg
except:
    pass

#Converte os segmentos para raster
utilizando a resolução de 2m, adequada para
a escala 10mil.
#Convert to raster

FlowSeg_raster=env.workspace+"\\"+"FlowSe
g_raster"
arcpy.FeatureToRaster_conversion
(FlowSeg_Split, "OBJECTID", FlowSeg_raster,
2)
print (FlowSeg_list)

#Clip Contour
Contour_Basin="Contour_B%d"%Basin_ID
arcpy.Clip_analysis(Contour, Basin,
Contour_Basin)

#Extract MDE, FlowDir, Slope and FlowSeg
#MDE
MDE_Bacia="MDE_B%d"%Basin_ID

#Extract by mask
Ret_MDE_Bacia = ExtractByMask(MDE,
BasinBuffer)
Ret_MDE_Bacia.save(MDE_Bacia)

#FlowDir
FlowDir_Bacia="FlowDir_B%d"%Basin_ID

#Or extract by mask
Ret_FlowDir_Bacia =
ExtractByMask(FlowDir, Basin)
Ret_FlowDir_Bacia.save(FlowDir_Bacia)

#FlowSeg_raster

FlowSeg_Bacia=ExtractByMask(FlowSeg_rast
er, Basin)
FlowSeg_Basin="FlowSeg_Basin"

FlowSeg_Bacia.save(FlowSeg_Basin)

#Execute FlowSlopes
FlowSlopes_Basin=
"FlowSlopes_B%d"%Basin_ID
FlowSlopes(FlowDir_Bacia, Contour_Basin,
Stream_Basin, Basin, Basin_Name,
FlowSlopes_Basin, FlowSeg_Basin,
FlowSeg_list)
#Save FlowCells filename in a list

FlowCells_list.append(env.workspace+"\\"+Flo
wSlopes_Basin)

#Calculate Elevation for FlowCells
arcpy.AddField_management
(FlowSlopes_Basin, "Elevation", "DOUBLE")
ZonalAnalysis(FlowSlopes_Basin,
"Cell_ObjectID", MDE, "Elevation", "MEAN")

#Calculate Up contribute area to all
FlowCells
Up_ContriArea (FlowSlopes_Basin,
"SlopeID2", "Elevation", "UP_ContriArea")

#Calculate SPI to all FlowCells
arcpy.AddField_management
(FlowCells_Basin, "SPI", "DOUBLE")
arcpy.CalculateField_management
(FlowCells_Basin, "SPI", "2.31 * Log
([UP_ContriArea] *([SlopeP] /100))", "VB", "")
now = datetime.now()
print ("Finalizou %s" % Basin_Name + " at "
+str(now.hour)+":"+str(now.minute))

#Create out_FlowCells and append FlowCells
env.workspace=BD_Geral
arcpy.env.extent=descbasins.extent
##for Cell in FlowCells_list:
## print (Cell)
arcpy.Copy_management (FlowCells_list[0],
out_FlowCells)
FlowCells_list.pop(0)
arcpy.Append_management (FlowCells_list,
out_FlowCells)

#Generate Valey Flowcells
#Convet FlowSeg_Split to point
##StreamCells="Stream_Cells"
##arcpy.Intersect_analysis([out_FlowCells,
Stream], StreamCells, "", 0.05)
##FlowSeg_point="FlowSeg_point"
##arcpy.FeatureToPoint_management
(StreamCells, FlowSeg_point, "INSIDE")

arcpy.MakeFeatureLayer_management(out_Fl
owCells, "FlowCells_layer")

```

```

arcpy.SelectLayerByLocation_management("FlowCells_layer", 'intersect', Stream, "0.1",
"NEW_SELECTION")
ValeyCells_temp="ValeyCells_Temp"
arcpy.Dissolve_management
("FlowCells_layer", ValeyCells_temp,
["Cell_ID"], [{"UP_ContriArea",
"SUM"}, {"SlopeID", "MAX"}])

ValeyCells="ValeyCells"
arcpy.Dissolve_management
(ValeyCells_temp, ValeyCells,
["MAX_SlopeID"], [{"SUM_UP_ContriArea",
"MAX"}])
###ValeyCells="ValeyCells"

arcpy.AddField_management (ValeyCells,
"ContriArea_Update", "DOUBLE")
arcpy.CalculateField_management
(ValeyCells, "ContriArea_Update",
"[MAX_SUM_UP_ContriArea]", "VB", "")
arcpy.DeleteField_management(ValeyCells, "M
AX_SUM_UP_ContriArea")

#Calculate Valey Contribute Area
Valey_ContributeArea(ValeyCells, Springs,
MDE, "ContriArea_Update", Stream, Slope)

#Update Flowcells with Valey
arcpy.SelectLayerByLocation_management("FlowCells_layer", "", "", "0.1",
"SWITCH_SELECTION")
FlowCell_Update="FlowCell_Update"
arcpy.FeatureClassToFeatureClass_conversion("FlowCells_layer", env.workspace,
FlowCell_Update, "", "", "")
arcpy.AddField_management
(FlowCell_Update, "ContriArea_Update",
"DOUBLE")
arcpy.CalculateField_management
(FlowCell_Update, "ContriArea_Update",
"[UP_ContriArea]", "VB", "")
arcpy.Append_management ([ValeyCells],
FlowCell_Update, "NO_TEST")

#Delete Fields
try:
    fieldsToDelete=["SlopeID2", "SlopeID",
"Cell_ID", "Cell_ObjectID", "SlopeArea_Tot"]
    for field in fieldsToDelete:

arcpy.DeleteField_management(FlowCell_Update, field)
except:
    pass

#Calculate Elevation for FlowCells
arcpy.AddField_management
(FlowCell_Update, "Elevation", "DOUBLE")

ZonalAnalysis(FlowCell_Update, "OBJECTID",
MDE, "Elevation", "MEAN")

#Calculate Slope in percent for FlowCells
arcpy.AddField_management
(FlowCell_Update, "SlopeP", "DOUBLE")
ZonalAnalysis(FlowCell_Update, "OBJECTID",
Slope, "SlopeP", "MEAN")

#Calculate Flow Accumulation for FlowCells
arcpy.AddField_management
(FlowCell_Update, "FlowACC", "DOUBLE")
ZonalAnalysis(FlowCell_Update, "OBJECTID",
FlowAcc, "FlowACC", "MAXIMUM")

#Calculate SPI to all FlowCells
arcpy.AddField_management
(FlowCell_Update, "SPI", "DOUBLE")
arcpy.CalculateField_management
(FlowCell_Update, "SPI", "2.31 * Log
([ContriArea_Update] * ([SlopeP] / 100))", "VB",
"")

###Tools###
# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *
import math

###START SPLIT LINE CODE IN A SAME
DISTANCE### Source:
http://nodedangles.wordpress.com/2011/05/01/quick-dirty-arcpy-batch-splitting-polylines-to-a-specific-length/
def splitline (inFC,FCName,alongDist):

    OutDir = env.workspace
    outFCName = FCName
    outFC = OutDir+"/"+outFCName

    def distPoint(p1, p2):
        calc1 = p1.X - p2.X
        calc2 = p1.Y - p2.Y

        return math.sqrt((calc1**2)+(calc2**2))

    def
midpoint(prevpoint,nextpoint,targetDist,totalDist):
        newX = prevpoint.X + ((nextpoint.X -
prevpoint.X) * (targetDist/totalDist))
        newY = prevpoint.Y + ((nextpoint.Y -
prevpoint.Y) * (targetDist/totalDist))
        return arcpy.Point(newX, newY)

    def splitShape(feat,splitDist):
        # Count the number of points in the
current multipart feature
        #

```

```

partcount = feat.partCount
partnum = 0
# Enter while loop for each part in the
feature (if a singlepart feature
# this will occur only once)
#
lineArray = arcpy.Array()

while partnum < partcount:
    # Print the part number
    #
    #print "Part " + str(partnum) + ":"
    part = feat.getPart(partnum)
    #print part.count

    totalDist = 0

    pnt = part.next()
    pntcount = 0

    prevpoint = None
    shapelist = []

    # Enter while loop for each vertex
    #
    while pnt:

        if not (prevpoint is None):
            thisDist =
distPoint(prevpoint,pnt)
            maxAdditionalDist = splitDist -
totalDist

            #print thisDist, totalDist,
maxAdditionalDist

            if (totalDist+thisDist)> splitDist:
splitDist:
                maxAdditionalDist =
splitDist - totalDist
                #print thisDist, totalDist,
maxAdditionalDist
                newpoint =
midpoint(prevpoint,pnt,maxAdditionalDist,thisD
ist)
                lineArray.add(newpoint)

shapelist.append(lineArray)

                lineArray = arcpy.Array()
                lineArray.add(newpoint)
                prevpoint = newpoint
                thisDist =
distPoint(prevpoint,pnt)
                totalDist = 0

                lineArray.add(pnt)
                totalDist+=thisDist
            else:

totalDist+=thisDist
lineArray.add(pnt)

#shapelist.append(lineArray)
else:
    lineArray.add(pnt)
    totalDist = 0

    prevpoint = pnt
    pntcount += 1

    pnt = part.next()

    # If pnt is null, either the part is
finished or there is an
    # interior ring
    #
    if not pnt:
        pnt = part.next()
    if pnt:
        print "Interior Ring:"
        partnum += 1

    if (lineArray.count > 1):
        shapelist.append(lineArray)

    return shapelist

if arcpy.Exists(outFC):
    arcpy.Delete_management(outFC)

arcpy.Copy_management(inFC,outFC)

#origDesc = arcpy.Describe(inFC)
#sR = origDesc.spatialReference

#revDesc = arcpy.Describe(outFC)
#revDesc.ShapeFieldName

deleterows = arcpy.UpdateCursor(outFC)
for iDRow in deleterows:
    deleterows.deleteRow(iDRow)

try:
    del iDRow
    del deleterows
except:
    pass

inputRows = arcpy.SearchCursor(inFC)
outputRows = arcpy.InsertCursor(outFC)
fields = arcpy.ListFields(inFC)

numRecords =
int(arcpy.GetCount_management(inFC).getOut
put(0))
OnePercentThreshold = numRecords // 100

#printit(numRecords)

```

```

iCounter = 0
iCounter2 = 0

for iInRow in inputRows:
    inGeom = iInRow.shape
    iCounter += 1
    iCounter2 += 1
    if (iCounter2 >
(OnePercentThreshold+0)):
        #printit("Processing Record
"+str(iCounter) + " of "+ str(numRecords))
        iCounter2 = 0

        if (inGeom.length > alongDist):
            shapeList =
splitShape(iInRow.shape,alongDist)

            for itmp in shapeList:
                newRow = outputRows.newRow()
                for ifield in fields:
                    if (ifield.editable):

newRow.setValue(ifield.name,iInRow.getValue
(ifield.name))
                    newRow.shape = itmp
                    outputRows.insertRow(newRow)
                else:
                    outputRows.insertRow(iInRow)

            del inputRows
            del outputRows

####END SPLIT LINE CODE IN A SAME
DISTANCE####

def ZonalAnalysis (inZoneData, zoneField,
inValueRaster, calcFieldName, statisticType):
    #This tool fix the tool "Zonal Statistic as a
Table" for regions small then raster resolution
    #Add field
    arcpy.AddField_management (inZoneData,
calcFieldName, "DOUBLE")

    # Check out the ArcGIS Spatial Analyst
extension license
    arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

    # Execute ZonalStatisticsAsTable

arcpy.MakeFeatureLayer_management(inZon
eData, "inZoneData_layer")
    outTable="outTable"
    outZSaT =
ZonalStatisticsAsTable("inZoneData_layer",
zoneField, inValueRaster, outTable,
"NODATA", statisticType)
    arcpy.MakeTableView_management
(outTable, "outTable_view")

    #Join outTable

    if zoneField=="OBJECTID":
        arcpy.AddJoin_management
("inZoneData_layer", zoneField,
"outTable_view", "OBJECTID_1")
    else:
        arcpy.AddJoin_management
("inZoneData_layer", zoneField,
"outTable_view", zoneField)

    #Calculate calcField
    statisticField="[%s.%s]" %(outTable,
statisticType)
    if statisticType=="MAXIMUM":
        statisticField="[%s.MAX]" %outTable
    if statisticType=="MINIMUM":
        statisticField="[%s.MIN]" %outTable
    arcpy.CalculateField_management
("inZoneData_layer", calcFieldName,
statisticField, "VB", "")

    #Remove join
    arcpy.RemoveJoin_management
("inZoneData_layer")

    #Select NULL Values from inZoneData
expressionNULL="%s IS NULL" %
calcFieldName

arcpy.MakeFeatureLayer_management("inZon
eData_layer", "inZoneSelect_layer",
expressionNULL)
    #Count NULL features
    CountNULL =
int(arcpy.GetCount_management("inZoneSele
ct_layer").getOutput(0))

    if CountNULL > 0:
        #Convert NULL Polygons to Points
        NullZones_Points="NullZones_Points"

arcpy.FeatureToPoint_management("inZoneS
elect_layer", NullZones_Points, "INSIDE")

    #Extract Values to Points

arcpy.MakeFeatureLayer_management(NullZo
nes_Points, "NullZonesPoints_layer")
    NullPoint_atrib="NullPoint_atrib"

ExtractValuesToPoints("NullZonesPoints_layer
", inValueRaster, NullPoint_atrib, "NONE",
"VALUE_ONLY")

    #Create a list with Searchcursor
rowsE =
arcpy.SearchCursor(NullPoint_atrib,
fields="ORIG_FID; RASTERVALU",
sort_fields="ORIG_FID A")
    SmallPoint_list=[]
    for rowE in rowsE:

```

```

        SmallPoint_list.append
(rowE.getValue("RASTERVALU"))

        #Create a Update cursor
        rows =
arcpy.UpdateCursor("inZoneSelect_layer")
        n=0
        for row in rows:
            row.setValue(calcFieldName,
(SmallPoint_list[n]))
            rows.updateRow(row)
            n+=1

        try:
            del row, rows, rowE, rowsE

        except:
            pass

    try:
        arcpy.Delete_management(outTable)
        arcpy.Delete_management(Stream_Split)
        arcpy.Delete_management(outZSaT)
    except:
        pass

def Up_ContriArea (inZoneData, SlopeIDField,
ElevationField, ContriArea_FieldName):
    #This tool calculate the up contribution area
for each zones.
    ##inZoneData - Poligonos que representem
a celula de fluxo.
    ##SlopeIDField - Campo da tabela de
inZoneData que identifique os poligonos
    ##ElevationField - Campo da tabala de
inZoneData que contenha a elevação
    ##ContriArea_FieldName - Nome para o
campo ContriArea que será criado

    #Create Field
    arcpy.AddField_management (inZoneData,
"SlopeArea_Tot", "DOUBLE")
    arcpy.AddField_management (inZoneData,
ContriArea_FieldName, "DOUBLE")
    #Get uniques SlopeID
    values = [row[0] for row in
arcpy.da.SearchCursor(inZoneData,
(SlopeIDField))]
    listSlopeIDs = list(set(values))
    #Calc up slope areas
    for SlopeID in listSlopeIDs:
        expressionSlope="%s = '%s'" %
(SlopeIDField, SlopeID)

arcpy.MakeFeatureLayer_management(inZon
eData, "Slope_layer", expressionSlope)
    SlopeCells = arcpy.UpdateCursor
("Slope_layer", fields=ElevationField+";
Shape_Area; "+ContriArea_FieldName,
sort_fields=ElevationField+" D")
    SlopeArea=0

        for SlopeCell in SlopeCells:
            CellArea=SlopeCell.getValue("Shape_Area")
            SlopeArea+=CellArea

            SlopeCell.setValue(ContriArea_FieldName,
(SlopeArea))
            SlopeCells.updateRow(SlopeCell)
            arcpy.CalculateField_management
("Slope_layer", "SlopeArea_Tot",
"%f"%SlopeArea, "VB", "")

        #Delete cursors and lists
        try:
            del SlopeCell, SlopeCells, SlopeID,
listSlopeIDs, values
        except:
            pass

def Max_FlowSeg (MDE, BasinPol,
FlowSeg_name):
    ##MDE - MDE no retangulo envolvente da
sub-bacia
    ##BasinPol - Poligono da sub-bacia
    ##FlowSeg_name - Nome de saída para o o
segmento de fluxo maximo
    # Check out the ArcGIS Spatial Analyst
extension license
    arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
    #Execute flow direction
    outFlowDirection=FlowDirection(MDE,
"FORCE")
    #Execute flow length
    outFlowDown =
FlowLength(outFlowDirection,
"DOWNSTREAM")
    outFlowUP = FlowLength(outFlowDirection,
"UPSTREAM")
    #Plus Flows
    RasterSeg = Plus (outFlowDown,
outFlowUP)
    RasterSeg.save("PLUS")
    #Get Max Raster Value
    MaxValueResultt =
arcpy.GetRasterProperties_management(Rast
erSeg, "MAXIMUM")

    MaxValue=str(MaxValueResultt.getOutput(0))
    #Calculate raster segment
    outSetNull = SetNull(RasterSeg, "1",
"Value<>%s" %MaxValue)

    outSetNull.save("C:\Users\Mateus\Trabalho\Pa
rticular\Doutorado\Dados\Dados Artigo 1\Fonte
de dados\Cubatão\Teste
Raster\ZonalSmall.gdb\outsetnull")
    #Convert to line
    FlowSeg_Full="FlowSeg_Full"
    arcpy.RasterToPolyline_conversion
(outSetNull, FlowSeg_Full)

```

```

#Clip FlowSeg_Full
arcpy.Clip_analysis (FlowSeg_Full,
BasinPol, FlowSeg_name)

def FlowSlopes(FlowDir, Contour, FlowSeg,
Basin, Basin_Name, FlowSlopes_name,
FlowSeg_Basin, FlowSeg_list):
    ##FlowDir - Flow direction com um buffer
em relação a área da bacia.
    ##FlowSeg - Linha que represente o
segmento de maior comprimento de fluxo
(Drenagem estendida até a borda da bacia).
    ##alongDist - Distância para segmentação
da drenagem, variável numérica
    ##Basin - Polígono da bacia
    ##FlowSlopes_name - Nome para as áreas
zonas de fluxo de saída.
    # Check out the ArcGIS Spatial Analyst
extension license
    arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

    #Create FlowZones and assing ZonelD
FlowZones="FlowZones"
    arcpy.FeatureToPolygon_management
([Basin, Contour], FlowZones)
    field2_Del="FID_%s"%Basin

arcpy.DeleteField_management(FlowZones,fiel
d2_Del)
    arcpy.AddField_management (FlowZones,
"ZonelD", "TEXT", "", "", 10)
    rows = arcpy.UpdateCursor(FlowZones)
    for row in rows:
        objectID=str(row.getValue("OBJECTID"))
        row.setValue("ZonelD", objectID)
        rows.updateRow(row)
    try:
        del row, rows
    except:
        pass

#Gerar os Buffer de um lado da drenagem
#Buffer R
Big_Buffer_R="Big_Buffer_R"
Small_Buffer_R="Small_Buffer_R"
    arcpy.Buffer_analysis (FlowSeg,
Big_Buffer_R, "2 Meters", "RIGHT", "FLAT",
"ALL")
    arcpy.Buffer_analysis (FlowSeg,
Small_Buffer_R, "1 Meters", "RIGHT", "FLAT",
"ALL")
    Erase_R="Erase_R"
    arcpy.Erase_analysis (Big_Buffer_R,
Small_Buffer_R, Erase_R)

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Erase
_R, "R")

#Buffer L
Big_Buffer_L="Big_Buffer_L"

Small_Buffer_L="Small_BufferL"
    arcpy.Buffer_analysis (FlowSeg,
Big_Buffer_L, "2 Meters", "LEFT", "FLAT",
"ALL")
    arcpy.Buffer_analysis (FlowSeg,
Small_Buffer_L, "1 Meters", "LEFT", "FLAT",
"ALL")
    Erase_L="Erase_L"
    arcpy.Erase_analysis (Big_Buffer_L,
Small_Buffer_L, Erase_L)

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Erase
_L, "L")

#Select Contour that intersect Stream

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Conto
ur, "Contour_Layer")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("C
ontour_Layer", 'intersect', FlowSeg, "0.001",
"NEW_SELECTION")

#Utiliza a ferramenta Watershed para
determinar a area de drenagem para cada
segmento. Importante que utiliza o FlowDir
como limite
#Execute Watershed
## arcpy.env.extent = FlowDir
outWatershed=Watershed(FlowDir,
FlowSeg_Basin, "Value")
    outWatershed.save("Watershed")
    #Utiliza a ferramenta Expand para expandir
a o raster de área de drenagem a até a borda
da bacia
#Expand Watershed
outWaterExpand = Expand(outWatershed,
100, FlowSeg_list)
    outWaterExpand.save("WaterExpand")

#Converte o raster de drenagem para
poligonos. Esse poligono são recordados na
área da bacia
#Convert to polygons
SlopesF="SlopesF"

arcpy.RasterToPolygon_conversion(outWater
Expand, SlopesF, "SIMPLIFY", "Value")

try:

arcpy.Delete_management(outWatershed)

arcpy.Delete_management(outWaterExpand)
except:
    pass

SlopesF2="SlopesF2"

```

```
arcpy.Dissolve_management (SlopesF,
SlopesF2, "gridcode")
```

```
#Clip Slopes
Slopes_Clip="Slopes_Clip"
arcpy.Clip_analysis (SlopesF2, Basin,
Slopes_Clip)
```

```
#Feature to polygon
Slopes_temp="Slopes_temp"
arcpy.FeatureToPolygon_management
([Slopes_Clip, FlowSeg, "Contour_Layer"],
Slopes_temp, "", "NO_ATTRIBUTES")
#Assing Near Side
arcpy.Near_analysis (Slopes_temp,
["R","L"])
```

```
#Intersecção
Slopes_temp2="Slopes_temp2"
arcpy.Intersect_analysis([Slopes_temp,
Slopes_Clip, FlowZones], Slopes_temp2, "",
0.05)
```

```
#Fields
arcpy.AddField_management
(Slopes_temp2, "SlopeID", "TEXT", "", "", 15)
arcpy.AddField_management
(Slopes_temp2, "SlopeID2", "TEXT", "", "", 15)
arcpy.AddField_management
(Slopes_temp2, "Cell_ID", "TEXT", "", "", 15)
arcpy.AddField_management
(Slopes_temp2, "Cell_ObjectID", "TEXT", "", "",
15)
```

```
SlopeRows=arcpy.UpdateCursor(Slopes_temp
2)
```

```
for row in SlopeRows:
    gridcode=str(row.getValue("gridcode_1"))
```

```
row.setValue("SlopeID",Basin_Name+"_"+grid
code)
```

```
row.setValue("SlopeID2",Basin_Name+"_"+gri
dcode+row.getValue("NEAR_FC"))
```

```
row.setValue("Cell_ID",Basin_Name+"_"+gridc
ode+"_"+row.getValue("ZoneID"))
```

```
row.setValue("Cell_ObjectID",Basin_Name+"_"
+str(row.getValue("OBJECTID")))
```

```
SlopeRows.updateRow(row)
```

```
try:
```

```
del row, SlopeRows
```

```
except:
```

```
pass
```

```
Slopes=FlowSlopes_name
arcpy.Dissolve_management
(Slopes_temp2, FlowSlopes_name,
```

```
["SlopeID", "SlopeID2", "Cell_ID",
"Cell_ObjectID"], "", "SINGLE_PART")
```

```
def SummitAreas (DEM, Contour,
SummitAreas_name):
    # Check out the ArcGIS Spatial Analyst
extension license
```

```
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
```

```
##Processing DEM:
```

```
#Create SummitPoints
```

```
DEM_Inv = Times(DEM, (-1))
```

```
FlowDir_Inv = FlowDirection(DEM_Inv,
"FORCE")
```

```
Sink_Inv = Sink(FlowDir_Inv)
```

```
SummitsPoints="SummitsPoints"
```

```
arcpy.RasterToPoint_conversion(Sink_Inv,
SummitsPoints, "VALUE")
```

```
#Create Summits areas candidates
```

```
SummitsAreas_Cand="SummitsAreas_Cand"
```

```
arcpy.FeatureToPolygon_management
([Contour], SummitsAreas_Cand, "",
"NO_ATTRIBUTES")
```

```
arcpy.AddField_management
(SummitsAreas_Cand, "CandID", "LONG")
```

```
arcpy.CalculateField_management
```

```
(SummitsAreas_Cand,"CandID",
```

```
"[OBJECTID]", "VB")
```

```
arcpy.AddField_management
```

```
(SummitsAreas_Cand, "Elevation", "DOUBLE")
```

```
ZonalAnalysis (SummitsAreas_Cand,
"CandID", DEM, "Elevation", "MEAN")
```

```
#Select SummitsAreas_Cand that
```

```
INTERSECT and NOT INTERSECT
```

```
SummitPoint
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management(Summ
itsAreas_Cand, "SummitsCands_Total")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
ummitsCands_Total", 'intersect',
SummitsPoints, "0.001", "NEW_SELECTION")
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management("Sum
mitsCands_Total", "SummitsCands_Intersect")
```

```
arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
ummitsCands_Total", "", "", "0.001",
"SWITCH_SELECTION")
```

```
arcpy.MakeFeatureLayer_management("Sum
mitsCands_Total",
"SummitsCands_NotIntersect")
```

```
arcpy.SelectLayerByAttribute_management("S
ummitsCands_Total", "CLEAR_SELECTION")
```

```
#Create Summit list
```

```
SummitList=[]
```

```

rows_Summit=arcpy.SearchCursor
("SummitsCands_Intersect")
for row_Summit in rows_Summit:
    value =
str(row_Summit.getValue("CandID"))
    SummitList.append(value)

#Search in SummitsCands_NotIntersect
cont=True
c=1
while cont==True:
    print("C=%d"%c)
    c+=1

rows_Not=arcpy.SearchCursor("SummitsCands
_NotIntersect")
addList=[]
for row_Not in rows_Not:
    ID_Not=row_Not.CandID
    ElevNot=row_Not.getValue("Elevation")
    expressionNOT = "CandID"
    ='+str(ID_Not)

arcpy.MakeFeatureLayer_management("Sum
mitsCands_NotIntersect",
"SummitCand_NotIntersect", expressionNOT)

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
ummitsCands_Intersect", 'intersect',
"SummitCand_NotIntersect", "0.001",
"NEW_SELECTION")
    desc =
arcpy.Describe("SummitsCands_Intersect")
    if desc.fidSet != "":

rows_intersect=arcpy.SearchCursor("Summits
Cands_Intersect")
    for row_intersect in rows_intersect:

ElevInter=row_intersect.getValue("Elevation")
    if ElevNot>ElevInter:
        addList.append(str(ID_Not))
        SummitList.append(str(ID_Not))
    if len(addList)>0:
        #Update Layers
        n=1
        expressionSummit=""
        for Summit in SummitList:
            if n==1:

expressionSummit=expressionSummit+"CandI
D" = '+Summit
        else:

expressionSummit=expressionSummit+' OR
"CandID" = '+Summit
            n+=1

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("S
ummitsCands_Total", "NEW_SELECTION",
expressionSummit)

arcpy.MakeFeatureLayer_management("Sum
mitsCands_Total", "SummitsCands_Intersect")

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("S
ummitsCands_Total",
"SWITCH_SELECTION",)

arcpy.MakeFeatureLayer_management("Sum
mitsCands_Total",
"SummitsCands_NotIntersect")
    else:
        cont=False
        #Build expression for select.
        n=1
        expressionSummit=""
        for Summit in SummitList:
            if n==1:

expressionSummit=expressionSummit+"CandI
D" = '+Summit
        else:

expressionSummit=expressionSummit+' OR
"CandID" = '+Summit
            n+=1
        #Save SummitsAreas

arcpy.SelectLayerByAttribute_management("S
ummitsCands_Total", "NEW_SELECTION",
expressionSummit)
    arcpy.Dissolve_management
("SummitsCands_Total", SummitsAreas_name)

def Valey_ContributeArea(Valey, Springs,
MDE, UpSlope_Field, Stream, Slope_Bacia):
    #Add ProcessingCount and calculate
    arcpy.AddField_management (Valey,
"ValeyID", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management
(Valey,"ValeyID", "[OBJECTID]", "VB")
    arcpy.AddField_management (Valey,
"Elevation", "DOUBLE")
    ZonalAnalysis(Valey, "ValeyID", MDE,
"Elevation", "MEAN")
    arcpy.CalculateField_management
(Valey,"ValeyID", "[OBJECTID]", "VB")
    arcpy.AddField_management (Valey,
"P_Count", "SHORT")
    arcpy.AddField_management (Valey,
"UP_AREA", "DOUBLE")
    arcpy.CalculateField_management
(Valey,"P_Count", 0, "VB")
    arcpy.CalculateField_management
(Valey,"UP_AREA", 0, "VB")
    arcpy.AddField_management (Valey,
"SlopeID_BN", "LONG")
    ValeyCursor=arcpy.UpdateCursor(Valey)

```

```

for rowV in ValeyCursor:

slopeSTR=rowV.getValue("MAX_SlopeID")
    SlopeN=int(slopeSTR.split("_")[1])
    rowV.setValue("SlopeID_BN", SlopeN)
    ValeyCursor.updateRow(rowV)
try:
    del rowV, ValeyCursor
except:
    pass

    arcpy.AddField_management (Stream,
"StreamID", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management (Stream,
"StreamID", "[OBJECTID]", "VB")
    arcpy.AddField_management (Stream,
"Elevation_MAX", "DOUBLE")
    ZonalAnalysis(Stream, "StreamID", MDE,
"Elevation_MAX", "MAXIMUM")

    #Create Layers

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Valey,
"Valey_layer")

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Strea
m, "Stream_layer")

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Spring
s, "Springs_layer")

    #Create Point Stream
    StremDissolve="StremDissolve"
    arcpy.Dissolve_management (Stream,
StremDissolve)

    StreamValey="StreamValey"
    arcpy.Intersect_analysis ([StremDissolve,
Valey], StreamValey, "", "", "LINE")
    StreamPoint="StreamValeyPoint"
    arcpy.FeatureToPoint_management
(StreamValey, StreamPoint, "INSIDE")

    #Select Springs Streams

arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
tream_layer", 'intersect', Springs, "0.001",
"NEW_SELECTION")

    #Verify Spring and Stream

Count_SelectedStream=len(arcpy.Describe("S
tream_layer").FIDSet.split('; '))

result=arcpy.GetCount_management("Springs
_layer")
    countSprings = int(result.getOutput(0))
    if Count_SelectedStream==countSprings:
        print ("OK - Inicios nas nacentes")
    else:

        print ("Problema com as nascentes e
inicios. Necessita REVER")

        StartStreams=arcpy.SearchCursor
("Stream_layer")
        print ("Ordem de processamento")
        print(StartStreams)
        sn=0
        errorList=[]
        outStreamID=284
        for StartStream in StartStreams:
            sn+=1
            listStream=[]

            IDStart=StartStream.getValue("StreamID")
            print ("Processando nascente %d (%d de
%d)%" (IDStart, sn, Count_SelectedStream))

            arcpy.MakeFeatureLayer_management(Strea
m, "StreamSeg_Start", "StreamID=%d"
%dIDStart)

            arcpy.SelectLayerByLocation_management("S
tream_layer", 'INTERSECT',
"StreamSeg_Start", "0.001",
"NEW_SELECTION")
            listStream.append(IDStart)

            rows=arcpy.SearchCursor("Stream_layer",
"", "", "", "Elevation_MAX"+" A")
            print ("IDStart=%d"%IDStart)
            #Processa a drenagem
            for row in rows:
                id_row=row.getValue("StreamID")
                if id_row==IDStart:
                    print ("Parou em 1")
                    if id_row != outStreamID:
                        errorList.append(id_row)
                    break

                listStream.append(id_row)
                Idrow_next=-1
                count=1
                while True:
                    if Idrow_next==id_row:
                        print ("Parou em 2")
                        if id_row != outStreamID:
                            errorList.append(id_row)
                        break

                    if count>1:
                        if Idrow_next==id_row:
                            print ("Parou em 3")
                            if id_row != outStreamID:
                                errorList.append(id_row)
                            break

                        id_row=Idrow_next
                        print ("Idrow=%d"%id_row)

```

```

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Stream, "StreamSeg_Row", "StreamID=%d"
%id_row)

arcpy.SelectLayerByLocation_management("Stream_layer", 'INTERSECT',
"StreamSeg_Row", "0.001",
"NEW_SELECTION")

countSelect=int(arcpy.GetCount_management
("Stream_layer").getOutput(0))
if countSelect<=2:
    print ("Parou em 4")
    if id_row != outStreamID:
        errorList.append(id_row)
    break

rows_next=arcpy.SearchCursor("Stream_layer
", "", "", "", "Elevation_MAX"+" A")
for row_next in rows_next:

ldrow_next=row_next.getValue("OBJECTID")
if ldrow_next==id_row:
    print ("Parou em 5")
    if id_row != outStreamID:
        errorList.append(id_row)
    break

        listStream.append(ldrow_next)
##        print ("Continuou em 6")
        break
    try :
        del row_next, rows_next
    except:
        print ("ERRO EM DELETAR
02!!!!")
        pass
        count+=1
    if ldrow_next==id_row:
        break

        #Processa Valey
        count=1
        for StreamID in listStream:

expressionStream="StreamID=%d"%StreamID

arcpy.MakeFeatureLayer_management(Stream, "Stream_Selection", expressionStream)

arcpy.MakeFeatureLayer_management(StreamPoint, "StreamPoint_Selection")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("StreamPoint_Selection", "INTERSECT",
"Stream_Selection", "0.001",
"NEW_SELECTION")

arcpy.SelectLayerByLocation_management("Valey_layer", "INTERSECT",
"StreamPoint_Selection", "0.001",
"NEW_SELECTION")

rowsValey_Selection=arcpy.UpdateCursor("Valey_layer", "", "", "", "SlopeID_BN"+" A")

        for rowValey in rowsValey_Selection:

rowValey_PCount=rowValey.getValue("P_Count")

ValeyID=rowValey.getValue("ValeyID")
    print ("ValeyID %d"%ValeyID)
    if count==1:

SlopeUP=rowValey.getValue(UpSlope_Field)
        rowValey.setValue("UP_AREA",
SlopeUP)
        rowValey.setValue("P_Count",
rowValey_PCount+1)

rowsValey_Selection.updateRow(rowValey)
        UpArea=SlopeUP
        if count>1:
            if rowValey_PCount==0:

SlopeUP=rowValey.getValue(UpSlope_Field)
                UpArea=SlopeUP+UpArea

rowValey.setValue("UP_AREA", UpArea)
                rowValey.setValue("P_Count",
rowValey_PCount+1)

rowsValey_Selection.updateRow(rowValey)
                UP_toSum=UpArea

                if rowValey_PCount>0:

UP_acumulate=rowValey.getValue("UP_AREA
")

UpArea=UP_acumulate+UP_toSum

rowValey.setValue("UP_AREA", UpArea)
                rowValey.setValue("P_Count",
rowValey_PCount+1)

rowsValey_Selection.updateRow(rowValey)
                count+=1
            try:
                del rowValey, rowsValey_Selection
            except:
                print ("ERRO EM DELETAR!!!!")
                pass

            try:
                del StartStream, StartStreams, StreamID,
listStream

```

```
except:  
    print("ERRO EM DELETAR !!!!!")  
    pass  
print ("LISTA DE ERROS!!!!")  
print (errorList)
```