

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA A ELABORAÇÃO DE PERFIL LONGITUDINAL DE VALE BASEADA EM SOFTWARES LIVRES: ESTUDO DE CASO NO VALE DO RIO AGUAPEÍ, SP, BRASIL

Tainá Medeiros Suizu

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Presidente Prudente - SP, Brasil

taina.suizu@hotmail.com

Paulo Cesar Rocha

Departamento de Geografia

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Presidente Prudente - SP, Brasil

pcrocha@fct.unesp.br

Proposta metodológica para a elaboração de perfil longitudinal de vale baseada em softwares livres: estudo de caso no vale do Rio Aguapeí, SP, Brasil (Resumo)

O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma nova proposta metodológica para a construção do perfil longitudinal de vale com base nos dados do *Google Earth*TM. Como forma de ilustrar tal procedimento, realizou-se a construção do perfil do vale do Rio Aguapeí – SP, Brasil, o qual foi posteriormente avaliado junto à morfometria do canal buscando verificar a sua influência sobre as formas que o rio estabelece ao longo de seu curso. Para a validação desse perfil, foi realizada uma análise comparativa com o perfil longitudinal de vale elaborado por meio de dados adquiridos em ambiente de SIG. Os resultados obtidos demonstram a elevada confiabilidade dos dados de elevação do *Google Earth*TM para a construção de perfis de vale em mesoescala. Ademais, a elaboração do perfil por meio desse globo virtual resultou em ganhos consideráveis de operacionalidade, facilitando a reaplicabilidade dessa proposta em outras área de estudo.

Palavras-chave: Perfil longitudinal; Morfometria fluvial; *Google Earth*TM.

Recibido: 16 de febrero de 2017

Devuelto para correcciones: 31 de marzo de 2017

Aceptado: 01 de abril de 2017

Propuesta metodológica para la elaboración del perfil longitudinal de valle utilizando softwares libres: estudio aplicado en el valle del río Aguapeí, SP, Brasil (Resumen)

El presente trabajo tiene por objetivo presentar una nueva propuesta metodológica para la construcción del perfil longitudinal del valle basado en los datos del *Google Earth*TM. Para ilustrar este procedimiento, se realizó la construcción del perfil del valle del río Aguapeí – SP, Brasil, el cual posteriormente fue evaluado junto con la morfometría del canal para verificar su influencia sobre las formas que el río elabora a lo largo de su recorrido. Para validar el perfil, se realizó un análisis comparativo con el perfil longitudinal del valle desarrollado por medio de los datos adquiridos en ambiente SIG. Los resultados obtenidos demuestran una gran confiabilidad de los datos de elevación del *Google Earth*TM para la construcción del perfil de los valles a escalas grandes. Además, la elaboración del perfil a través de ese globo virtual ofrece considerables beneficios de manipulación, facilitando la aplicación continua de esta propuesta en otras áreas de estudio.

Palabras claves: Perfil longitudinal; Morfometría fluvial; *Google Earth*TM.

Methodological proposal for elaborating valley longitudinal profile based on free software: a case study in the Aguapeí River valley, São Paulo State, Brazil (Abstract)

The present work aimed to introduce a new methodological proposal for the construction of valley longitudinal profiles based on *Google Earth*TM data. To illustrate the procedure, the profile of the Aguapeí River valley - São Paulo State, Brazil, was constructed and posteriorly assessed with the channel morphometry to verify its influence over the river shapes. In order to validate such a profile, a comparative analysis was established with a valley longitudinal profile elaborated by means of data acquired in a GIS environment. The results demonstrated the high reliability of the *Google Earth*TM elevation data for the construction of mesoscale valley profiles. In addition, the elaboration of the profile based on this virtual globe led to gains in operability, which facilitates the reapplication of the proposal in other study sites.

Keywords: Longitudinal profile; Fluvial morphometry; *Google Earth*TM.

Introdução

A existência de um conjunto de fatores responsáveis por controlar a morfologia dos rios é consensual entre os geomorfólogos.¹ Entre tais fatores, destaca-se a declividade do vale, pois essa variável auxilia na determinação dos processos de erosão e sedimentação fluvial em cada trecho do rio.²

Stanley A. Schumm e Hamidur R. Khan (1972) demonstraram por meio de análises laboratoriais a ação da declividade do vale sobre a morfologia do rio. Os resultados

¹ Stanley A. Schumm e Brien R. Winkley, 1994; Hervé Piégay e Schumm, 2003; Ro Charlton, 2008; Askoa Ibisate, Alfredo Ollero e Elena Díaz, 2011.

² Schumm, 2005; Kirstie A. Fryirs, Joseph M. Wheaton e Gary J. Brierley, 2016.

encontrados pelos referidos autores corroboraram com os trabalhos de Emory W. Lane (1957), Luna B. Leopold e Markley G. Wolman (1957) e Peter Ackers e Charlton (1971).

A declividade do vale é usualmente representada por um gráfico de coordenadas cartesianas, correspondente ao perfil longitudinal do vale. Ressalta-se a importância desse tipo de perfil para a identificação de estruturas geológicas e processos geomorfológicos em determinada área, tendo em vista que as suas irregularidades revelam indícios de afloramentos de rochas mais resistentes e/ou atividade tectônica.

Tradicionalmente, o perfil longitudinal do vale é obtido por meio da avaliação das curvas de nível constantes nas cartas topográficas.³ Todavia, com o advento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) no final da década de 1960 e dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) a partir da década de 2000, verifica-se a crescente aplicação de novas técnicas para a sua construção.⁴

Os benefícios dessas novas técnicas em detrimento das propostas tradicionais estão na redução do tempo despendido na construção do perfil ao se valer de procedimentos semi-automáticos, e na obtenção de resultados mais precisos mediante a possibilidade da utilização de dados com maior grau de detalhamento.

Apesar dos referidos benefícios, a maioria dos SIGs que dispõe das ferramentas necessárias à obtenção dos dados para a construção desse tipo de perfil pertencem a órgãos privados, apresentando alto custo aos usuários. Além disso, é necessário que o usuário tenha elevado domínio do sistema e suas variadas funções para que a tarefa seja realizada com êxito.

Nos últimos anos, a ascensão dos chamados ‘globos virtuais’ como *Google Earth*TM, *NASA World Wind* e *SkylineGlobe* tem alterado profundamente o acesso de distintos usuários às geotecnologias. Por meio de simples comandos e interfaces inteligíveis, esses globos permitem a visualização de aproximadamente 510.000.0000 km² da superfície da Terra em diferentes escalas e perspectivas. Para tanto, disponibilizam gratuitamente representações topográficas da superfície terrestre associadas às imagens de satélite de alta resolução ou fotografias aéreas.⁵

Entre os ‘globos virtuais’ supracitados, Luke T. Buka, Robert Maruziva e P. Nenhowe (2015) afirmam que o *Google Earth*TM tem sido amplamente utilizado para as mais diversas finalidades. Tooth (2015), por sua vez, destaca o seu uso como recurso de análise da Geografia.

No âmbito da Geografia Física e, em particular, da Geomorfologia Fluvial, a base de dados do *Google Earth*TM tem auxiliado na identificação de morfologias da planície de inundação⁶, atualização cartográfica de redes de drenagem⁷, análise comparativa de

³ James C. Brice, 1964; Márcio Henrique de C. Zancopé, 2008.

⁴ Akos Kereszturi, 2005; Alessandra Ascione, *et al.*, 2008; Rebecca J. Coles, 2014.

⁵ Stephen Tooth, 2006.

⁶ Eder R. Merino, Mario L. Assine, Fabiano do N. Pupim, 2013.

sistemas fluviais localizados em ambientes climáticos e tectônicos diversos⁸, entre outras aplicações.⁹

Apesar da ampla utilização do *Google Earth*TM no estudo dos ambientes fluviais, a sua função, muitas vezes, está restrita à concessão de imagens de alta resolução para a elaboração de cartas bidimensionais, sendo reduzido o número de trabalhos que exploram de maneira mais abrangente esse globo ou que visam a definição de novas técnicas para a obtenção de atributos do sistema fluvial mediante esse programa.¹⁰

Nessa perspectiva, este trabalho teve como objetivo apresentar e discutir uma nova proposta metodológica para a construção do perfil longitudinal de vale com base nos dados e ferramentas do *Google Earth*TM. Como forma de ilustrar tal procedimento, realizou-se a construção do perfil do vale do Rio Aguapeí - SP, Brasil, o qual foi posteriormente avaliado junto à morfometria do canal buscando verificar a sua influência sobre as formas que o rio estabelece ao longo de seu curso.

Para a validação do referido perfil, foi realizada uma análise comparativa com o perfil longitudinal de vale elaborado por meio de dados adquiridos em ambiente do módulo *ArcMap* do SIG *ArcGIS*® 10.2.2.

Área de estudo

O Rio Aguapeí está localizado no extremo oeste do estado de São Paulo, Brasil. O seu vale possui extensão aproximada de 364 km, e está situado entre as coordenadas geográficas 21°03' e 22°14' de latitude Sul e 49°30' e 51°46' de longitude Oeste. Ao longo dos 517 km de extensão total do Rio Aguapeí, os índices de sinuosidade variam de 1.04 a 2.45, expressando setores tipicamente meandantes (figura 1).

Em termos litológicos, o Rio Aguapeí está inserido no contexto da Bacia Sedimentar do Paraná, litoestrutura de abrangência mercosulina constituída por rochas sedimentares e derrames basálticos.¹¹ No contexto do Rio Aguapeí, esse pacote vulcânico-sedimentar envolve três formações pertencentes ao Grupo Bauru – Formação Marília (Km), Formação Adamantina (Ka) e Formação Santo Anastácio (Ksa), e a Formação Serra Geral do Grupo São Bento.¹²

⁷ Kleber C. Lima e Cenira Maria L. da Cunha, 2014.

⁸ Gary S. Weissmann, *et al.*, 2010.

⁹ José Antonio Constantine e Thomas Dunne, 2008; Valdecir Galvão e José Cândido Stevaux, 2010; Edgardo M. Latrubesse, 2008.

¹⁰ G. Burch Fisher, Bodo Bookhagen e Colin B. Amos, 2013; Noradila Rusli, Mohammad R. Majid e Ami Hassan Md Din, 2014.

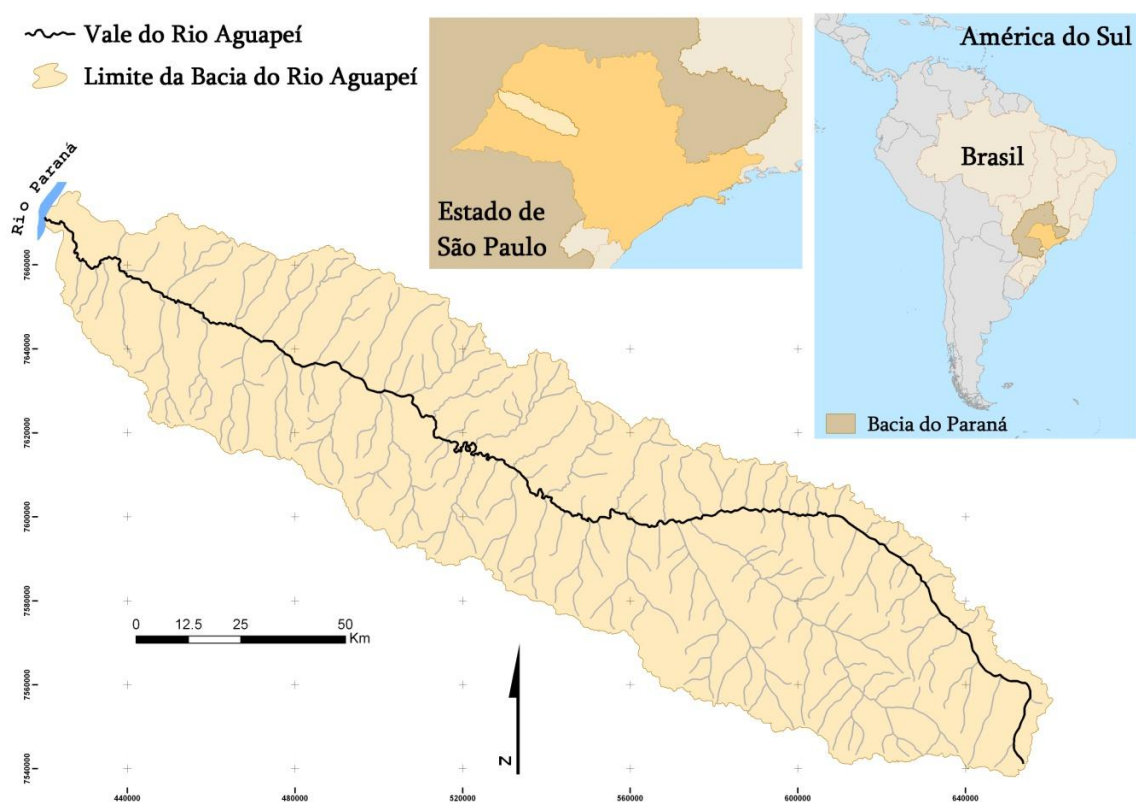
¹¹ Mario Lincoln Etchebehere, *et al.*, 2004.

¹² Instituto de Pesquisa Tecnológica do estado de São Paulo - IPT, 1981^a.

Em relação ao clima, verifica-se o tipo Aw - tropical chuvoso.¹³ Entre os principais sistemas atmosféricos da região, João Lima Sant'Anna Neto e José Tadeu Garcia Tommaselli (2009) destacam a atuação do sistema Tropical Atlântico.

No que se refere ao relevo, a Bacia do Rio Aguapeí está distribuída no Planalto Ocidental Paulista,¹⁴ caracterizado por colinas amplas e baixas de topos convexos a tabulares, declividades na faixa de 10 a 20%, e altimetrias entre 300 a 600 m.¹⁵

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

Procedimentos metodológicos

Construção de perfil longitudinal de vale por meio do Google Earth™

De acordo com as informações presentes em um dos *overlays* do *Google Earth*™, as imagens disponíveis para a área de estudo são provenientes dos satélites SPOT® e QuickBird/DigitalGlobe®. A resolução espacial dessas imagens é de 2,5 m e 0,60 m,

¹³ Wladimir Peter Köppen e Rudolf Geiger, 1954.

¹⁴ IPT, 1981b.

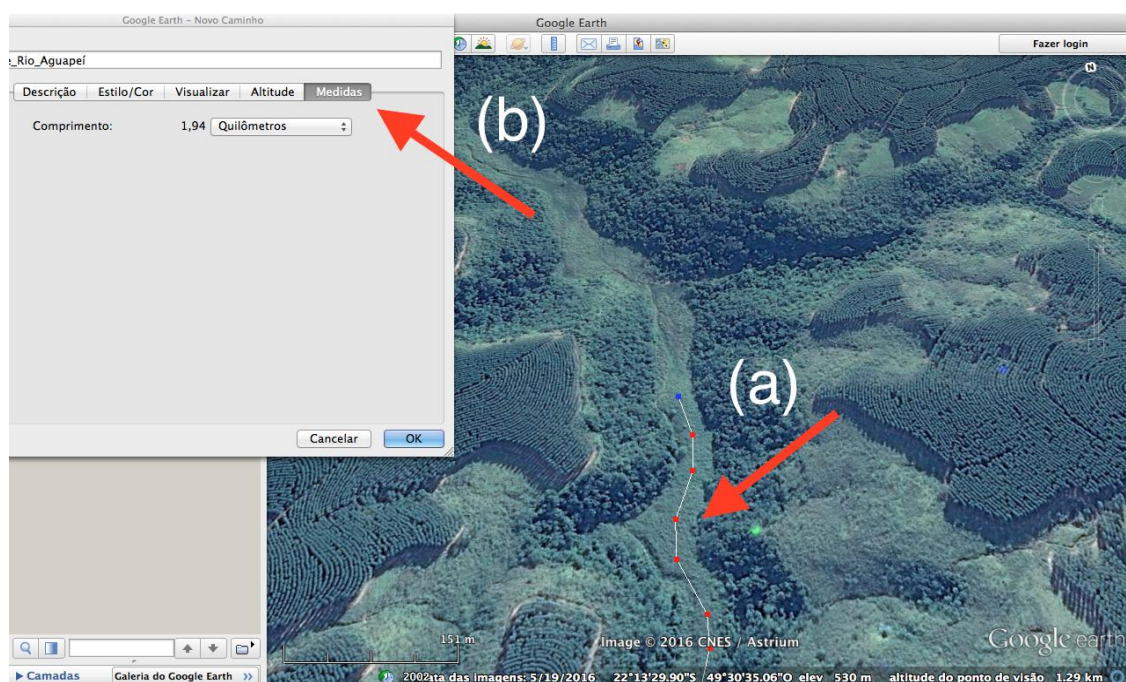
¹⁵ Jurandyr L. Sanches Ross e Isabel Cristina Moroz, 1997.

respectivamente. Verifica-se também na área a existência de um MDE cuja procedência não é indicada pelo software. Contudo, alguns autores afirmam que esse é referente aos dados de elevação da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 90 m de resolução.¹⁶

A associação dos dados supracitados permite a visualização tridimensional do terreno da área de estudo, facilitando a identificação dos limites e da linha média do vale fluvial. Assim, a linha média do vale foi definida por meio de interpretação visual, sendo essa traçada mediante o uso da ferramenta “Adicionar caminho” (figura 2a). Essa ferramenta, ao ser ativada, exibe uma caixa lateral com algumas informações importantes acerca do arquivo vetorial, tais como o valor do comprimento da linha desenhada, que pode ser visualizado no item “Medidas” (figura 2b).

Os vetores construídos no *Google Earth*TM possuem a capacidade de armazenar dados de elevação. Deste modo, ao exportar a linha média do vale fluvial como arquivo *Keyhole Markup Language* (KML), pode-se extrair dela os referidos dados e, assim, realizar a construção do perfil longitudinal.

Figura 2. Construção da linha média do vale fluvial do Rio Aguapeí - SP, Brasil, no Google EarthTM



- (a) Vetor corresponde à linha média do vale, constituído por meio da ferramenta “Adicionar caminho”;
(b) Quadro exibindo informações sobre o comprimento do arquivo vetorial.

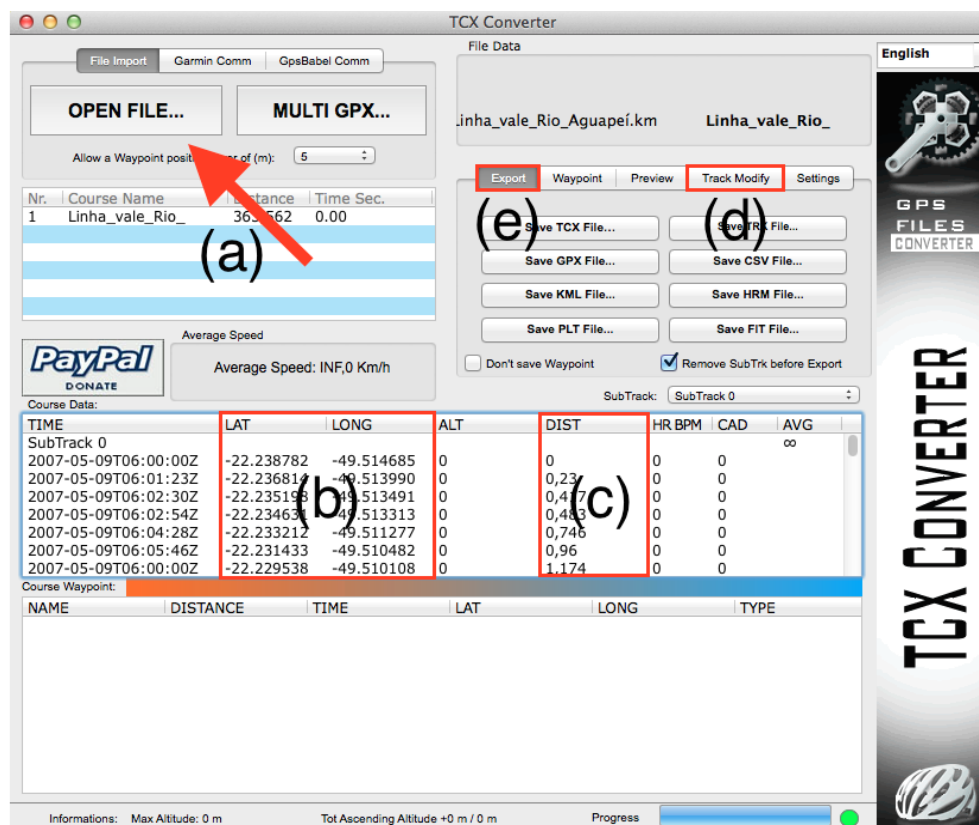
Fonte: *Google Earth*TM. Modificado pela autora.

¹⁶ Emile Hoffmann e Frank Winde, 2010; Nagi Z. Mohammed, Ahmed Ghazi e Hussam Eldin Mustafa, 2013.

Ressalta-se que o *Microsoft Excel 2007*¹⁷, assim como outros aplicativos gráficos, não suporta a entrada de dados *KML*. Assim, foi necessário valer-se de um outro *software* livre para a extração dos dados de elevação e a conversão do arquivo em formato compatível com o aplicativo supracitado. O *software* multiconversor *TCX Converter*¹⁷ foi utilizado para esse procedimento.

A entrada no *software* é realizada na função “*Open File...*” por meio da inserção do arquivo vetorial *KML* (figura 3a). Logo após a inserção desse dado, o *software* exibirá as informações de localização (latitude e longitude) do ponto final de cada uma das linhas menores que foram criadas para compor o vetor (figura 3b). Além disso, mostrará a distância do referido ponto em relação ao local inicial de vetorização (figura 3c), o qual equivale à nascente do Rio Aguapeí.

Figura 3. Componentes do software TCX Converter



- (a) Local de inserção do arquivo vetorial *KML*; (b) Campo de exibição das coordenadas geográficas das linhas que compõe o vetor e (c) campo de exibição da distância das referidas linhas em relação ponto inicial de vetorização; (d) Ferramenta *Track Modify* para a extração dos valores de altitude; (e) Ferramenta *Export* para a transferência dos dados a outro programa.

Fonte: *TCX Converter*. Modificado pela autora.

¹⁷ Encontra-se disponível para download no link:

http://www.tcxconverter.com/TCX_Converter/DOWNLOADS.html.

Nota-se que o campo existente entre essas duas informações apresenta valores iguais a zero. Esse campo corresponde às altitudes dos pontos finais das linhas e, para que esse passe a exibir valores, deve-se direcionar a “*Track Modify*” (figura 3d) e, dentro desse domínio, clicar sobre “*Update Altitude*”.

Para a transferência desse conjunto de informações para uma planilha eletrônica do *Microsoft Excel 2007*[®], é necessário exportar as mesmas por meio da função “*Export*” (figura 3e), e salvar o arquivo em formato “*Comma Separated Value*” (CSV).

Ao avaliar os dados da planilha eletrônica gerada após a finalização de tais procedimentos, verificou-se a ausência do valor de altitude para o ponto inicial de vetorização do vale no *Google Earth*[™]. Assim, tal valor foi obtido diretamente do globo virtual, ao passar o cursor sobre o local e visualizar sua elevação na parte inferior da tela do *software*.

Em seguida, dentro da planilha eletrônica, obteve-se a média dos valores de altitude a cada 12 km de comprimento do vale para que houvesse compatibilidade com os dados do perfil elaborado por meio da técnica descrita no próximo item.

Por fim, realizou-se a construção do perfil longitudinal do vale na forma de um gráfico de coordenadas cartesianas.

Construção do perfil longitudinal de vale por meio de SIG

As etapas que envolvem a extração de dados para a construção do perfil de vale com base no *software ArcGIS*[®] 10.2.2 foram realizadas em seu módulo *ArcMap*. Inicialmente, foram criados dois vetores lineares em formato *shapefile* correspondentes aos limites do vale fluvial (figura 4a). Tais limites foram identificados mediante o uso das imagens do satélite SPOT de resolução 2,5 metros, as quais se encontram disponíveis na base de dados *World Imagery* do *software*.

Ressalta-se a existência de técnicas automáticas de delimitação de vales fluviais em ambiente SIG.¹⁸ Contudo, de acordo com Jordan Gilbert, William W. Macfarlane e Joseph M. Wheaton,¹⁹ a maior parte dessas técnicas está restrita aos dados de elevação do terreno com alta resolução espacial (ex.: dados altimétricos LIDAR de 2 m de resolução), e as ferramentas que suportam a entrada de dados com menor resolução (ex.: MDEs de 10 - 30 m de resolução) produzem resultados muito ‘grosseiros’, sem significado à escala dos trechos que compõe o canal do rio e negligentes em relação às porções da cabeceira de drenagem.

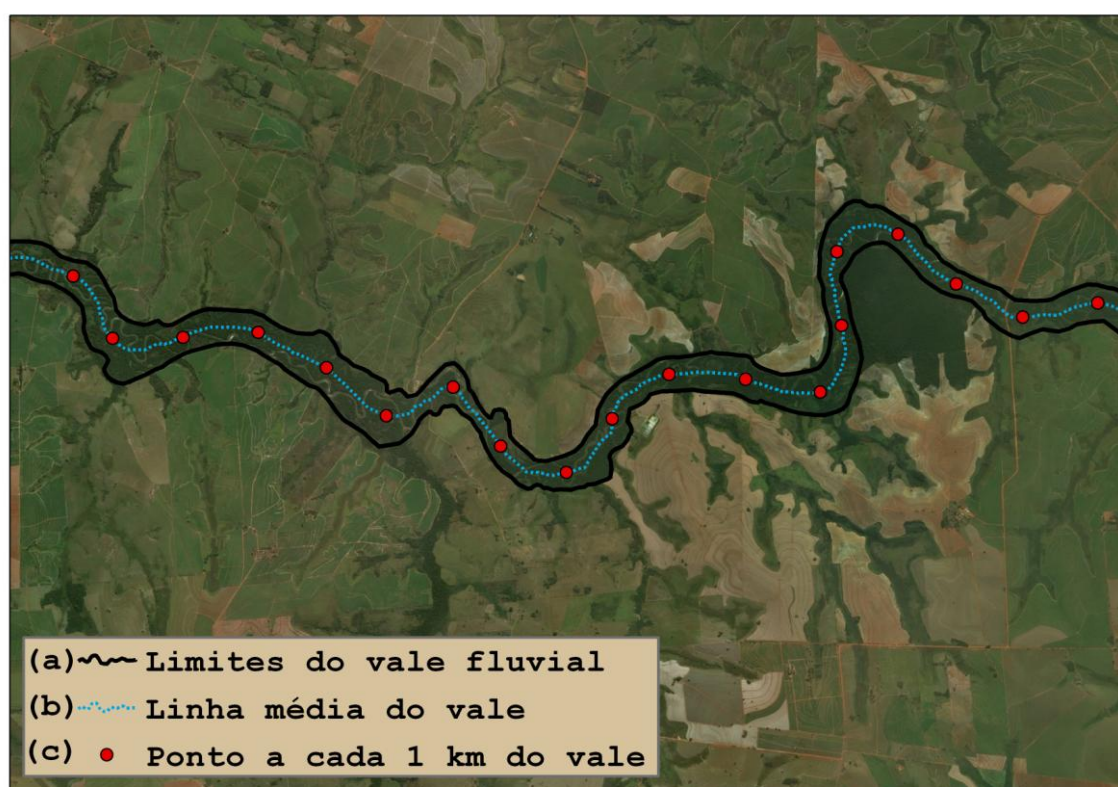
No que se refere à linha média do vale fluvial do Rio Aguapeí (figura 4b), essa foi estabelecida por meio da ferramenta *Collapse Dual Line To Centerline* em função dos referidos vetores lineares. Posteriormente, o emprego da ferramenta *Construct Points*

¹⁸ Wendy A. Williams, 2000; Justin C. Stout and Patrick Belmont, 2014.

¹⁹ Gilbert, Macfarlane e Wheaton, 2016.

permitiu a extração de vetores de ponto (figura 4c) a cada um quilômetro dessa linha, os quais foram associados a dados de elevação SRTM,²⁰ de 90 m de resolução, com o uso da ferramenta *Add Surface Information*. A elevação (em metros) de cada ponto tornou-se parte de um novo campo chamado "z" na tabela de atributos desse vetor.

Figura 4. Vetores construídos em ambiente do SIG ArcGIS® 10.2.2 para a obtenção dos valores de elevação ao longo do vale do Rio Aguapeí - SP, Brasil



Fonte: Elaborado pela autora.

A fim de ampliar a qualidade desses dados, aplicou-se a ferramenta *Resample*. O método escolhido para reamostrar o tamanho dos *pixels* foi o da convolução cúbica, o qual permite a geração de um arquivo *raster* de menor distorção que os constituídos por outros algoritmos de reamostragem.²¹ O referido método é apropriado para o uso de dados contínuos e determinou uma nova resolução de 30 m ao SRTM.

Após a realização desse último procedimento, verificou-se uma considerável oscilação nos valores de altitude de alguns pontos, os quais estavam relacionados aos erros causados pela baixa resolução espacial do produto original. Para minimizar tais erros,

²⁰ Dados fornecidos pelo Laboratório de Análises Espaciais da Universidade de Wollongong, Austrália, durante a realização de estágio de pesquisa no exterior (FAPESP - Processo 2014/02298-0).

²¹ Environmental Systems Research Institute (ESRI), 2016.

obteve-se a média dos valores de altitude do vale a cada 12 quilômetros. Este valor foi adotado após a realização de alguns testes na constituição do perfil, sendo correspondente ao valor mínimo para a obtenção de um perfil livre de imperfeições de grande magnitude.

Para execução da referida etapa, foi necessário plotar os dados em planilha eletrônica do *Microsoft Excel 2007*²², cujo programa também foi utilizado para a confecção do perfil longitudinal do vale na forma de um gráfico de coordenadas cartesianas.

Com o intuito de quantificar o grau de correlação existente entre os dados de elevação dos perfis obtidos pelas propostas metodológicas supracitadas, definiu-se o coeficiente de determinação (R^2) entre esses, para cada um dos setores do vale - alto curso, médio curso superior, médio curso inferior e baixo curso. O coeficiente de determinação é sempre um número positivo dentro do intervalo de 0 a 1,²² sendo que “quanto mais próximo de 1, em valor absoluto, mais perfeita é a associação linear entre as duas variáveis”.²³

Obtenção dos dados para a análise do perfil longitudinal do vale do Rio Aguapeí - SP

A avaliação da influência do perfil do vale sobre a morfologia do canal do rio se deu por meio de uma análise correlata aos estudos desenvolvidos por Schumm e Khan.²⁴ Para tanto, foi necessário extrair os valores de declividade do referido perfil e compará-los ao índice de sinuosidade do canal com base em uma correlação linear simples.

A declividade do vale fluvial foi obtida pela divisão da diferença de altitude entre dois pontos do perfil e a extensão entre esses no vale fluvial.

O índice de sinuosidade, por sua vez, foi obtido mediante a divisão do comprimento do canal pelo comprimento da linha média do vale fluvial. O comprimento do canal foi extraído da drenagem das cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:50.000.

Resultados e discussões

Análise comparativa entre o perfil longitudinal de vale obtido por meio do Google Earth™ e aquele constituído em ambiente SIG: Contexto do vale do Rio Aguapeí - SP

Os perfis obtidos com base nos dados de elevação do *Google Earth*™ e *SRTM* em ambiente *ArcGIS*® podem ser visualizados na figura 5. O grau de correlação existente

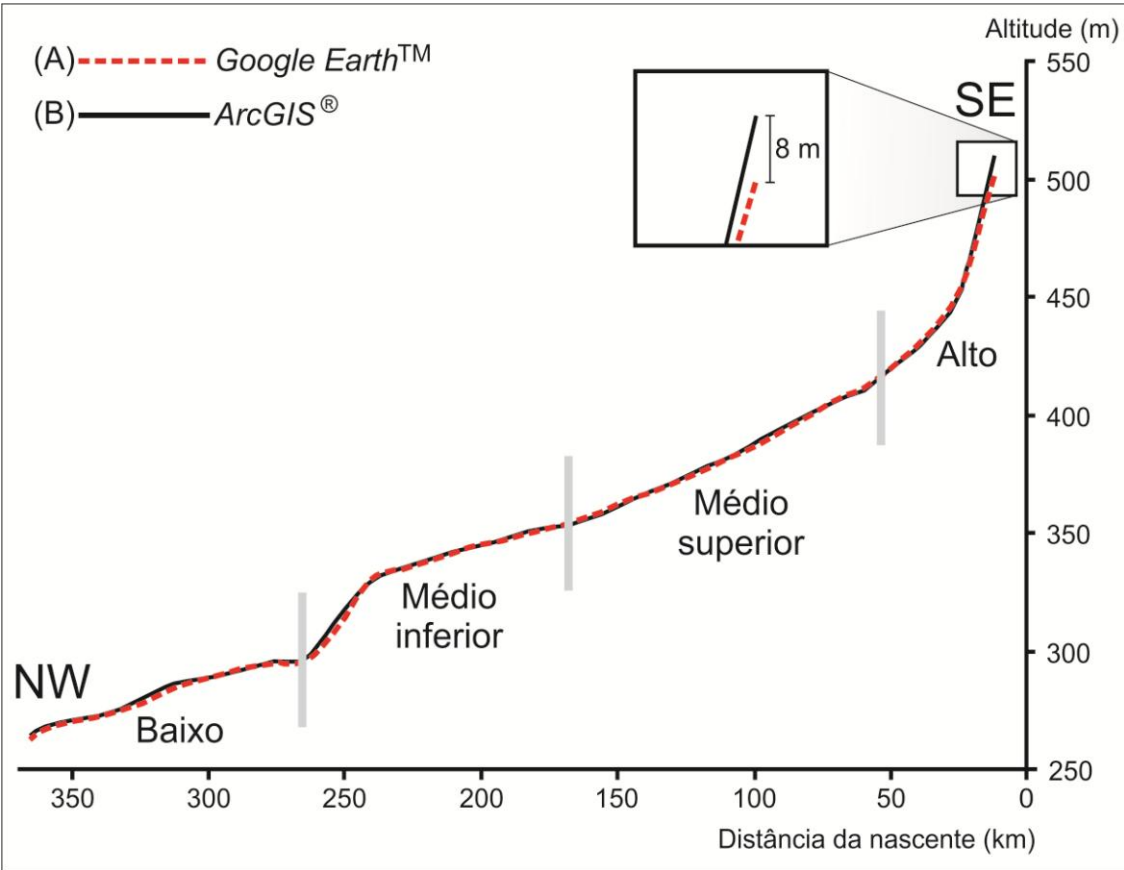
²² Juan Carlos Lapponi, 2005.

²³ Ana Amaro, 2012, p. 93.

²⁴ Schumm e Khan, 1972.

entre os referidos dados em cada um dos setores do vale do Rio Aguapeí é exibido na tabela 1.

Figura 5. Perfis longitudinais do vale do Rio Aguapeí-SP, Brasil



(A) Perfil elaborado com base nos dados de elevação do *Google Earth*™;
(B) Perfil elaborado com base em SRTM via *ArcGIS*®
Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 1. Coeficiente de determinação aplicado aos dados de elevação utilizados na elaboração dos perfis do vale do Rio Aguapeí - SP, Brasil

Setor do Vale do Rio Aguapeí-SP	Coeficiente de determinação (R ²)
Alto	0.997
Médio superior	0.998
Médio inferior	0.996
Baixo	0.996

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise da figura 5 evidencia a ampla similaridade entre os perfis, permitindo constatar a utilização de dados SRTM, de 90 metros de resolução, pelo *Google Earth*TM na constituição de seu modelo tridimensional do terreno no âmbito da área de estudo. No alto curso do vale, junto à nascente do rio (figura 5), foi identificada a única diferença significativa entre os perfis, no valor da ordem de, aproximadamente, 8 metros. Contudo, o elevado valor do coeficiente de determinação (R^2) para esse setor da área de estudo (Tabela 1), bem como para os setores subsequentes, atesta que os procedimentos adotados para elaboração do perfil por meio dos softwares livres permitiram a reprodução satisfatória do perfil gerado via *ArcGIS*[®]. Desse modo, admite-se a elevada confiabilidade dos dados de elevação disponibilizados pelo *Google Earth*TM.

Ressalta-se que a aquisição dos dados de elevação *SRTM* no módulo do SIG exige do usuário um conhecimento prévio de cartografia, como sistemas de coordenadas, *datum*, projeções cartográficas, etc. Além disso, é necessário que o usuário tenha domínio pleno das variadas ferramentas e atalhos do sistema. Em contrapartida, o *Google Earth*TM dispõe de poucas ferramentas, as quais são de fácil acesso ao usuário e, no que se refere às referências espaciais, essas são preestabelecidas pelo *software*.

Nesse viés, considera-se que a elaboração do perfil por meio do *Google Earth*TM resulte em ganhos consideráveis de operacionalidade em relação ao uso do SIG, com destaque à diminuição do tempo de trabalho pelo pesquisador. Ademais, a simplificação e a redução no número de tarefas, que caracterizam a construção do perfil por meio do globo virtual, facilitam a sua reaplicabilidade em outras áreas de estudo.

No que tange à referida reaplicabilidade, essa ainda é favorecida pela utilização de dois *softwares* livres: *Google Earth*TM e *TCX Converter*, visto que o elevado custo dos programas de mapeamento, como o *ArcGIS*[®], se constitui como um obstáculo ao desenvolvimento de pesquisas dessa natureza.

É importante salientar que a obtenção da linha média do vale fluvial por meio das ferramentas do *ArcGIS*[®] se deu de forma mais precisa quando comparada à construção da mesma no globo virtual, tendo em vista que a primeira foi realizada de forma automática, enquanto a segunda com base em vetorização manual. Contudo, considerando que a elaboração da referida linha no ambiente do SIG também envolve prévia vetorização dos limites do vale fluvial, ambas as técnicas exigirão o conhecimento prévio do pesquisador acerca dessa forma de relevo para a sua identificação por análise visual.

Por fim, uma outra limitação encontrada na presente proposta de elaboração do perfil via *Google Earth*TM foi a impossibilidade de tratamento e manipulação dos dados altimétricos conforme realizado no ambiente SIG com a finalidade de ampliar a resolução espacial.

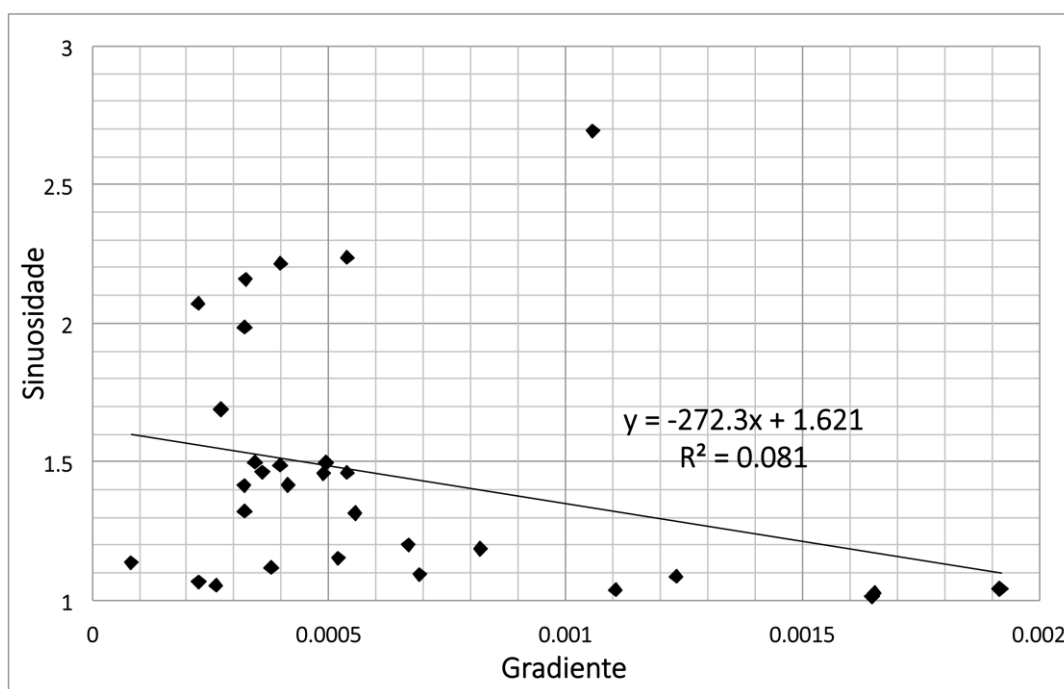
Avaliação da influência do perfil longitudinal do vale sobre a morfometria do canal do Rio Aguapeí - SP

Ao considerar os dados obtidos por meio do perfil longitudinal concebido mediante a utilização dos *softwares* livres supracitados, realizou-se uma análise regressiva do gradiente do vale do Rio Aguapeí com o índice de sinuosidade do canal, conforme apresenta o gráfico 1.

A análise desse gráfico demonstra uma correlação predominantemente negativa entre essas variáveis, indicando um comportamento anômalo da morfologia do canal se considerados os pressupostos amplamente difundidos por Schumm e Khan.²⁵

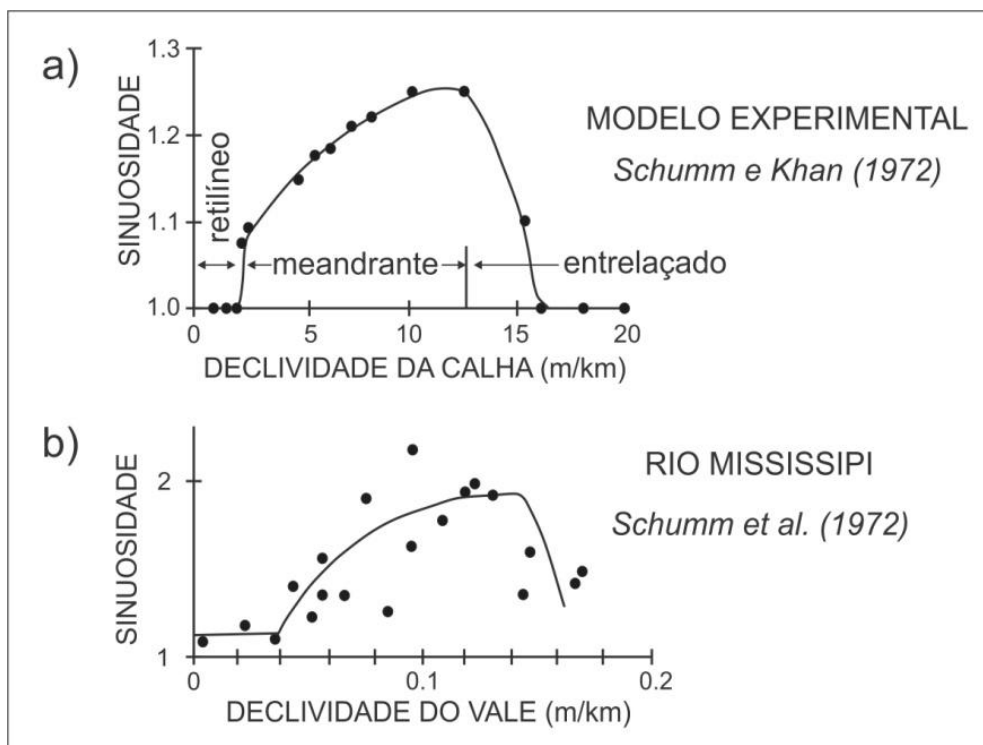
Com base em dados provenientes de experimentos laboratoriais (figura 6a) e do curso inferior do Rio Mississippi (figura 6b), os referidos autores constataram que os baixos valores de sinuosidade estão associados, de forma geral, aos moderados declives, já que não será necessário o desenvolvimento de meandros sinuosos para reduzir a declividade do canal. Nesse viés, a elevação nos valores da declividade do vale implica no aumento da sinuosidade também, de modo a retomar a declividade que o canal possuía anteriormente ao aumento do gradiente do vale, bem como a redução na velocidade do fluxo necessária ao transporte de carga sedimentar.

Gráfico 1. Correlação entre a sinuosidade do canal e o gradiente do vale do Rio Aguapeí - SP, Brasil



Fonte: Elaborado pela autora.

²⁵ Schumm e Khan, 1972; Schumm, *et al.*, 1972.

Figura 6. Relação entre a declividade do vale e a sinuosidade do canal

(a) Estudos experimentais e (b) Dados do baixo curso do Rio Mississippi.
 Fonte: Elaborado pela autora.

Esse modelo experimental compreende um rio aluvial com substrato litológico homogêneo. Tal característica também é inerente ao baixo curso do Rio Mississippi, justificando a compatibilidade entre os resultados obtidos nesses estudos.

No que se refere ao Rio Aguapeí, esse curso d'água perpassa um vale composto por um conjunto de formações litológicas distintas conforme a figura 7. Neste viés, acredita-se que as correlações estabelecidas no Rio Aguapeí são divergentes do modelo proposto por Schumm e Khan²⁶ em razão das variações longitudinais da litologia que compõe o seu leito.

A distribuição longitudinal do gradiente do vale e da sinuosidade (gráfico 2) corrobora tal afirmativa, revelando que a discordância entre essas variáveis está relacionada à ocorrência de duas formações rochosas diversas: Formações Marília e Serra Geral.

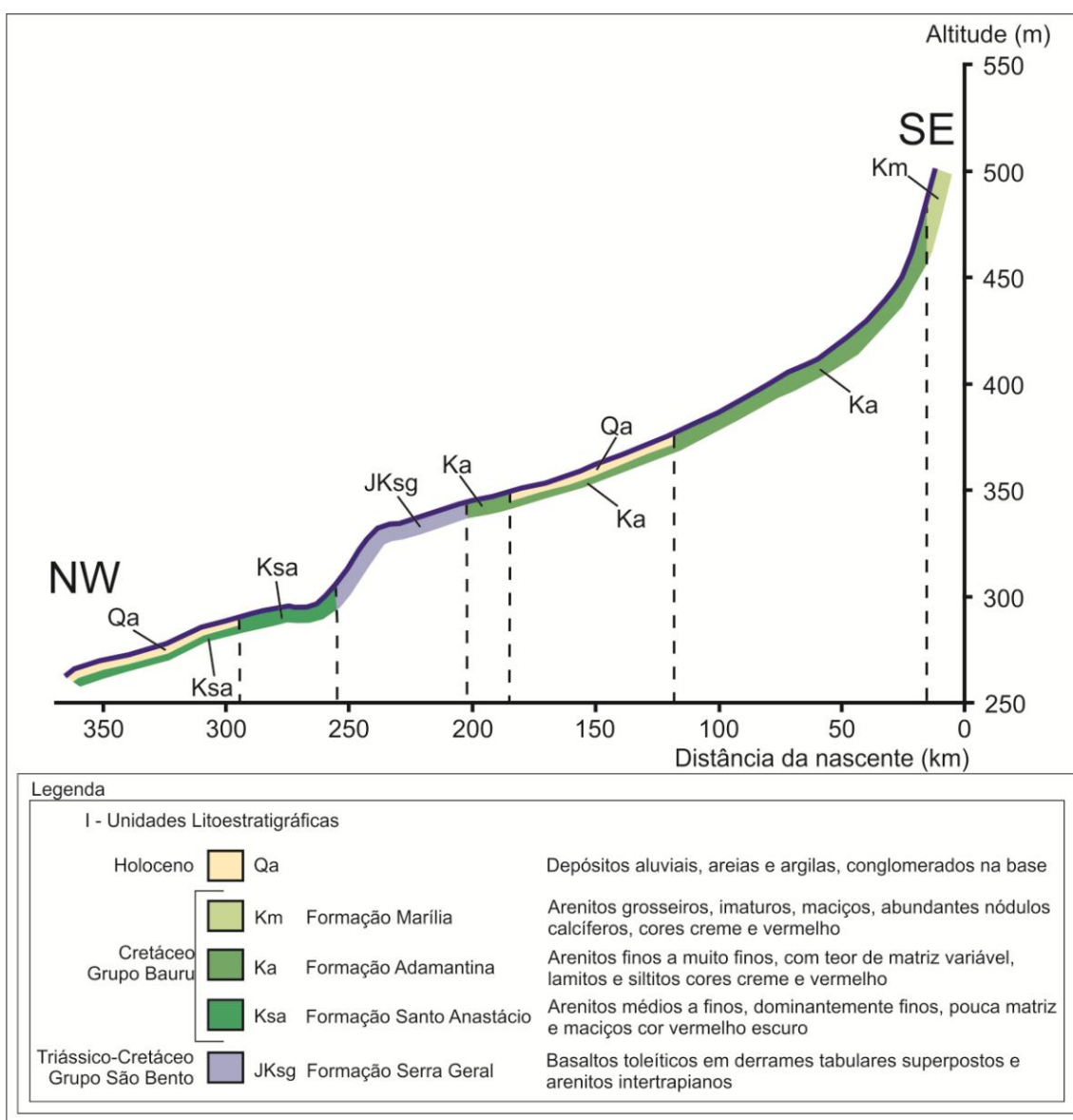
A Formação Marília (Km) ocorre nos primeiros quilômetros do vale (figura 7), e é composta por arenitos que formam "estratos de aspecto maciço [...] com cimentação e nódulos carbonáticos",²⁷ os quais propiciam um arcabouço resistente à erosão,

²⁶ Schumm e Khan, 1972.

²⁷ Luiz Alberto Fernandes e Armando Márcio Coimbra, 2000, p. 724.

responsável pela sustentação das escarpas do planalto de Marília.²⁸ A Formação Serra Geral (JKsg), por sua vez, aflora no médio curso (figura 7), e configura-se como um horizonte de basaltos que condiciona os saltos e corredeiras presentes nesse setor do canal.²⁹

Figura 7. O perfil longitudinal do vale do Rio Aguapeí-SP, Brasil, e a sua correlação com o substrato litológico

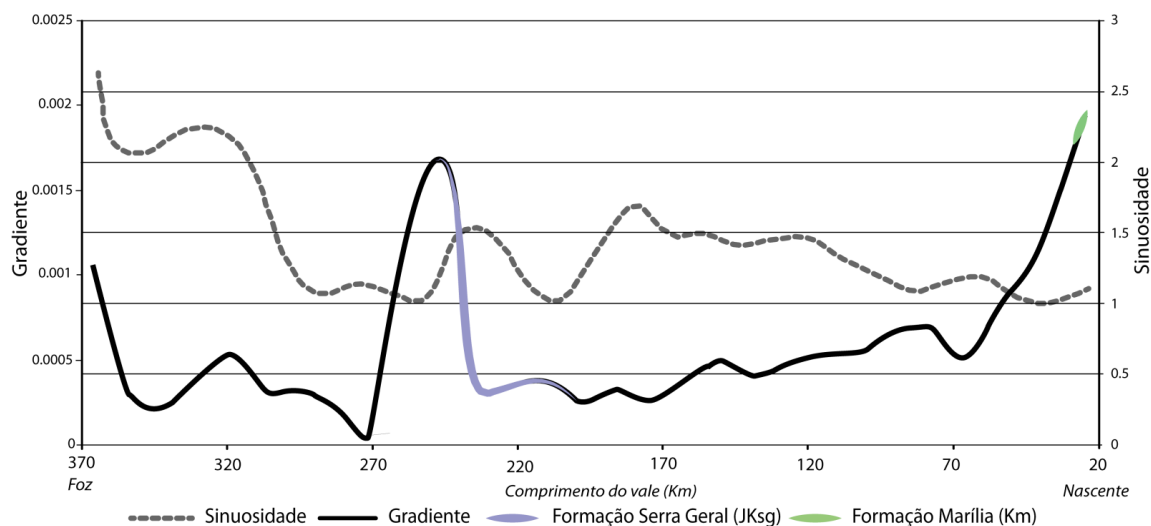


Fonte: São Paulo, 1982. Organizado pela autora.

²⁸ Flavio de P. e Silva; Chang H. Kiang; Maria Rita Caetano-Chang, 2005.

²⁹ IPT, 1981^a; Daniela Rocha Porto, *et al.*, 2013.

Gráfico 2. Comportamento longitudinal do gradiente do vale e da sinuosidade do Rio Aguapeí-SP, Brasil



Fonte: Elaborado pela autora.

As referidas formações configuram os setores com os maiores valores de gradiente ao longo do canal. Entretanto, por serem resistentes à erosão fluvial, tais formações impedem o livre desenvolvimento dos meandros.

Considerações finais

A aplicação de propostas metodológicas distintas na construção do perfil longitudinal do vale do Rio Aguapeí - SP, Brasil, permitiu a obtenção de dois perfis com elevada similaridade, tendo em vista que os dados elevação disponíveis no *Google Earth*TM para a área de estudo são equivalentes aos dados que foram manipulados no SIG *ArcGIS*[®] - SRTM de 90 m de resolução espacial. Tal conjuntura indica a elevada confiabilidade dos dados obtidos por análise visual nesse globo virtual para o desenvolvimento de estudos baseados na construção de perfis em mesoescala.

Em relação às vantagens da utilização do *Google Earth*TM em detrimento do SIG, destacam-se: o emprego de um número menor de ferramentas, as quais são de fácil acesso ao usuário e; o preestabelecimento das referências espaciais pelo próprio *software*.

As limitações encontradas na presente proposta envolvem a obtenção da linha média do vale fluvial, constituída com menor precisão quando comparada àquela obtida no ambiente do SIG e; a impossibilidade de tratamento e manipulação dos dados altimétricos no *Google Earth*TM.

Contudo, considera-se que a elaboração do perfil longitudinal do vale por meio do globo virtual resulte em ganhos consideráveis de operacionalidade em relação ao uso do SIG. Ademais, as vantagens supracitadas facilitam a reaplicabilidade da proposta metodológica em outras áreas de estudo, sendo favorecida ainda pela inexistência de custos ao usuário por se tratar de *softwares* livres.

Com base nos dados de elevação do *Google Earth*TM obtidos no âmbito do vale do Rio Aguapeí, SP, Brasil, obteve-se os valores do gradiente dessa forma de relevo. A associação desses valores ao índice de sinuosidade do canal por meio de uma análise regressiva resultou em uma correlação predominantemente negativa entre as variáveis, o que denota um comportamento anômalo da forma do canal em planta, se considerados os modelos propostos por Schumm e Khan.³⁰

A singularidade de tal resultado foi atribuída às variações longitudinais da litologia que compõe o leito do Rio Aguapeí. Ademais, observou-se que as Formações Marília e Serra Geral, as quais configuram os setores de mais elevado gradiente ao longo do canal, impedem o livre desenvolvimento dos meandros por serem mais resistentes à erosão fluvial.

Por fim, espera-se que o presente artigo se constitua como uma colaboração às pesquisas que objetivam a definição de perfis longitudinais de vale, considerando a ausência de referências na literatura que especifiquem as etapas de elaboração do mesmo.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa (Processo nº 2013/04284-3).

Recursos digitais e referências

ACKERS, P. e CHARLTON, F. The slope and resistance of small meandering channels. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. [On-line]. 1971, vol. 47, nº. 3. <<http://dx.doi.org/10.1680/jicep.1970.6579>>. [7 de março de 2017].

AMARO, A. *Inferência Estatística (uma introdução): O outro segredo dos dados*. 1ª ed. Lisboa: Instituto Superior de Gestão, 2012.

ASCIONE, A., *et al.* The Plio-Quaternary uplift of the Apennine chain: new data from the analysis of topography and river valleys in Central Italy. *Geomorphology*. [On-line]. 2008, vol. 102, nº. 1, p. 105-118. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.07.022>>. [7 de março de 2017].

³⁰ Schumm e Khan, 1972; Schumm, *et al.*, 1972.

BRICE, J. C. Channel patterns and terraces of the Loup Rivers in Nebraska. *U.S. Geol. Survey Professional Paper*, 1964, 422-D, 41p.

BUKA, L., MARUZIVA, R. e NENHOWE, P. A comparison of Google Earth extracted points with GPS surveyed points. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*. [On-line]. 2015, vol. 8, nº 5, p. 484 – 493. <<http://www.ajol.info/index.php/ejesm/article/view/120476/109945>>. [7 de março de 2017].

CHARLTON, R. *Fundamentals of fluvial geomorphology*. London: Routledge, 2008.

COLES, R. J. *The cross-sectional characteristics of glacial valleys and their spatial variability*. [On-line]. PhD thesis, University of Sheffield, 2014. <http://etheses.whiterose.ac.uk/5452/1/Coles_2014.pdf>. [7 de março de 2017].

CONSTANTINE, J. A. e DUNNE, T. Meander cutoff and the controls on the production of oxbow lakes. *Geology*. [On-line]. 2008, vol. 36, nº 1, p. 23 - 26. <<http://geology.gsapubs.org/content/36/1/23.full>>. [7 de março de 2017].

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). *Raster Processing toolset - Resample*. [On-line]. <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/data-management/resample.htm>>. [7 de março de 2017].

ETCHEBEHERE, M. L., *et al.* Aplicação do índice Relação declividade-extensão - RDE na bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. *Geologia - USP*. [On-line]. São Paulo, 2004, vol. 4, nº 2, p. 43-56. <<http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2004000200004>>. [7 de março de 2017].

FERNANDES, L. A. e COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*. [On-line]. São Paulo, dezembro de 2000, vol. 30, nº 4, p. 717-728. <http://sigep.cprm.gov.br/propostas/Tres_Morrinhos_Terra_Rica_PR_2000_Fernandes_Coimbra_RBG.pdf>. [7 de março de 2017].

FISHER, G. B., BOOKHAGEN, B. e AMOS, C. B. Channel planform geometry and slopes from freely available high-spatial resolution imagery and DEM fusion: Implications for channel width scalings, erosion proxies, and fluvial signatures in tectonically active landscapes. *Geomorphology*. [On-line]. Julho de 2013, vol. 194, p. 46–56. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.04.011>>. [7 de março de 2017].

FRYIRS, K. A., WHEATON, J. M. e BRIERLEY, G. J. An approach for measuring confinement and assessing the influence of valley setting on river forms and processes. *Earth Surface Process and Landforms*. [On-line]. 2016, vol. 41, nº5, p. 701–710. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.3893/pdf>>. [7 de março de 2017].

GALVÃO, V. e STEVAUX, J. C. Análise dos riscos e possíveis impactos ambientais da atividade turística, no hidrossistema do alto curso do rio Paraná, no trecho da região de Porto Rico (PR). *Revista Nordestina de Ecoturismo*. [On-line]. Aracaju, 2010, vol. 3, nº 1, p. 27-43. <<http://www.sustenere.co/journals/index.php/nature/article/viewFile/ESS1983-8344.2010.001.0002/50>>. [7 de março de 2017].

GILBERT, J. T., MACFARLANE, W. W. e WHEATON, J. M. The Valley Bottom Extraction Tool (V-BET): A GIS tool for delineating valley bottoms across entire drainage networks. *Computers & Geosciences*. [On-line]. Dezembro de 2016, vol. 97, p. 1 – 14. <https://www.researchgate.net/publication/305661801_The_Valley_Bottom_Extraction_Tool_V-BET_A_GIS_tool_for_delineating_valley_bottoms_across_entire_drainage_networks>. [3 de abril de 2017].

HOFFMANN, E. e WINDE, F. Generating high-resolution digital elevation models for wetland research using Google EarthTM imagery – an example from South Africa. *Water SA*. [On-line]. Janeiro de 2010, vol. 36, nº 1. <http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502010000100007>. [3 de abril de 2017].

IBISATE, A., OLLERO, A. e DÍAZ, E. Influence of catchment processes on fluvial morphology and river habitats. *Limnetica*. [On-line]. 2011, vol. 30, nº 2, p. 169-182. <http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne30/L30b169_Catchment_processes_fluvial_morphology.pdf>. [7 de março de 2017].

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981a. 1 mapa. Escala 1:500.000.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981b. 1 mapa. Escala 1:500.000.

KERESZTURI, A. Cross-sectional and longitudinal profiles of valleys and channels in Xanthe Terra on Mars. *Journal of Geophysical Research*. [On-line]. 2005, vol. 110, nº E12. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005JE002454/full>>. [7 de março de 2017].

KÖPPEN, W. e GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Klett-Perthes, 1954. Escala 1:16.000.000.

LANE, E. W. *A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material*. Omaha: Army Engineer Division, 1957.

LAPPONI, J. C. *Estatística usando Excel*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

LATRUBESSE, E. M. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. *Geomorphology*. [On-line]. 2008, vol. 101, nº 1-2, p. 130 - 145. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.05.035>>. [7 de março de 2017].

LEOPOLD, L. B. e WOLMAN, M. G. River channel pattern, Braided, Meandering and Straight. *U. S. Geological Survey*. [On-line]. 1957, professional paper 282-B, p. 39-84. <https://www.uvm.edu/~wbowden/Teaching/Stream_Geomorph_Assess/Resources/Private/Documents/1957_leopold_wolman_channel_patterns.pdf>. [7 de março de 2017].

LIMA, K. C. e CUNHA C. M. L da. Atualização cartográfica da rede de drenagem para estudo geomorfológico de rios intermitentes e efêmeros do semiárido. *Revista Brasileira de Cartografia*. [On-line]. 2014, nº 66/1, p. 127-136. <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/551/664>>. [7 de março de 2017].

MERINO, E. R., ASSINE, M. L. e PUPIM, F. D. N. Estilos fluviais e evidências de mudanças ambientais na planície do Rio Miranda, Pantanal. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. [On-line]. Abril/Junho de 2013, vol. 14, nº 2, p.127-134. <<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v14i2.246>> . [7 de março de 2017].

MOHAMMED, N. Z., GHAZI, A. e MUSTAFA, H. E. Positional Accuracy Testing of Google Earth. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*. [On-line]. Julho de 2013, vol. 04, nº 6. <<http://www.ijmse.org/Volume4/Issue6/paper2.pdf>>. [3 de abril de 2017].

PIÉGAY, H. e SCHUMM, S. A. System approaches in fluvial geomorphology. In: KONDOLF, G. M. e PIÉGAY, H. (Eds.). *Tools in fluvial geomorphology*. Chichester: Wiley, 2003. p. 105-134.

PORTO, D. R., *et al.* Análise morfotectônica da bacia hidrográfica do Rio Aguapeí, Planalto Ocidental Paulista, mediante fluviomorfometria e fotointerpretação. *Geociências*. [On-line]. São Paulo, 2013, vol. 32, nº 2, p. 227-246. <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7303/6747>>. [7 de março de 2017].

ROSS, J. L. S. e MOROZ, I. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: FAPESP, 1997. 1 mapa. Escala 1:500.000.

RUSLI, N., MAJID, M. R. e DIN, A. H. M. Google Earth's derived digital elevation model: A comparative assessment with Aster and SRTM data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. [On-line]. 2014, vol. 18. <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/18/1/012065/pdf>>. [7 de março de 2017].

SANT'ANNA NETO, J. L. A. e TOMMASELLI, J. T. G. *O tempo e o clima de Presidente Prudente*. Presidente Prudente: FCT-UNESP, 2009.

SCHUMM, S. A. *River variability and complexity*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

SCHUMM, S. A., *et al.* Variability of river patterns. *Nature: Physical science*. [On-line]. 1972, vol. 237, nº 74, p. 75- 76. <<http://www.nature.com/nature-physci/journal/v237/n74/pdf/physci237075a0.pdf>>. [7 de março de 2017].

SCHUMM, S. A. e KHAN, H. R. Experimental study of channel patterns. *Geological Society of America Bulletin*. [On-line]. 1972, vol. 83, nº 6, p. 1755-1770. <http://www.usu.edu/geo/geomorph/Schumm&Kahn_GSAB_1972.pdf>. [7 de março de 2017].

SCHUMM, S. A. e WINKLEY, B. R. (Eds.). *The variability of large alluvial rivers*. New York: American Society of Civil Engineers Press, 1994.

SILVA, F. P., CHANG, H. K. e CAETANO-CHANG, M. R. Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. *Geociências*. [On-line]. São Paulo, 2005, vol. 35, nº 1, p. 77-88. <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9770/9707>>. [7 de março de 2017].

STOUT, J. C. and BELMONT, P. TerEx Toolbox for semi-automated selection of fluvial terrace and floodplain features from lidar. *Earth Surface Processes and Landforms*. [On-line]. 2014, vol. 39, p. 569 – 580. <https://www.researchgate.net/publication/261411119_TerEx_Toolbox_for_semi-automated_selection_of_fluvial_terrace_and_floodplain_features_from_lidar>. [3 de abril de 2017].

TOOTH, S. Spotlight on... Google Earth as a resource. *Geography*. [On-line]. vol. Spring 2015, vol. 100, part 1. <<http://www.geography.org.uk/journals/journals.asp?articleID=1294>>. [7 de março de 2017].

TOOTH, S. Virtual globes: a catalyst for the re-enchantment of geomorphology? *Earth Surface Processes and Landforms*. [On-line]. 2006, vol. 31, nº 9, p. 1192–1194. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.1383/pdf>>. [7 de março de 2017].

WEISSMANN, G. S., *et al.* Fluvial form in modern continental sedimentary basins: distributive fluvial systems. *Geology*. [On-line]. 2010, vol. 38, nº 1, p. 39 – 42. <<http://geology.gsapubs.org/content/38/1/39.full>>. [7 de março de 2017].

WILLIAMS, W. A., *et al.* An automated technique for delineating and characterizing valley-bottom settings. *Environmental Monitoring and Assessment*. [On-line]. Setembro de 2000, vol. 64, p. 105 –114. <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006471427421>>. [3 de abril de 2017].

ZANCOPÉ, M. H. C. *Análise morfodinâmica do Rio Mogi Guaçu*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

© Copyright: Tainá Medeiros Suizu y Paulo Cesar Rocha, 2017.

© Copyright: Ar@cne, 2017.

Ficha bibliográfica:

MEDEIROS SUIZU, Tainá; ROCHA, Paulo Cesar. Proposta metodológica para a elaboração de perfil longitudinal de vale baseada em softwares livres: estudo de caso no vale do Rio Aguapeí, SP, Brasil. *Ar@cne. Revista Electrónica de Recursos de Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*. [En línea]. Barcelona: Universidad de Barcelona, nº 219, 1 de abril de 2017. <<http://www.ub.edu/geocrit/aracne/aracne-219.pdf>>. ISSN: 1578-0007.

Menú principal de Geo Crítica

Índice de Ar@cne