

Aplicação de Índices de Representação de Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Maquiné/RS.

Fabiana Rauber Sirangelo¹
Laurindo Antonio Guasselli²

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS/CEPSRM
Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale – Setor 5
Bairro Agronomia – CEP 91510-970 – Porto Alegre – RS, Brasil.

¹ fabisirangelo@hotmail.com

² laurindo.guasselli@ufrgs.br

Abstract. Through data derived from remote sensing, and digital elevation models such as TOPODATA, and geoprocessing tools it is possible to perform the calculation and spatialization of topographic attributes, also called relief representation indices, through a high quantitative method known as geomorphometry. The morphogenetic processes and the hydrological behavior of a river basin are closely related to their topographic and morphometric characteristics, and can be modeled in different indexes, with purposes that will vary according to the processes resulting from the topography that the researcher wishes to investigate. This paper proposes to spatialize four indices of relief representation for the Maquiné river basin, Rio Grande do Sul/Brasil, and to identify sectors with distinct characteristics, evaluating the ability to classify these indices for different environments and landscapes. The topographic attributes of slope, maximum flow current index, moisture and sediment transport capacity were calculated with established thresholds from the tests, until obtaining the most appropriate configuration for each of the factors considered here. This information was calculated in a GIS environment through cross tabulation by map algebra, turning possible to obtain the results presented here. The results are satisfactory, with a degree of detail that allows identifying well defined sectors, presenting expected results for all indices.

Palavras-chave: remote sensing, geomorphology, digital elevation model, TOPODATA, sensoriamento remoto, geomorfologia, modelo digital de elevação, TOPODATA.

1. Introdução

A geometria das formas de terreno pode ser utilizada para prever os movimentos hidrológicos e suas relações com os transportes de sedimentos (MOORE et al., 1991) e dados de sensoriamento remoto da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) são amplamente utilizados para a geração de modelos digitais de superfície, são comumente aplicados em estudos relacionados às dinâmicas geomorfológicas.

Geomorfometria é definida como a ciência da análise quantitativa da superfície terrestre, sendo um campo interdisciplinar que envolve matemática, geociência e ciência da computação (PIKE et al. 2008). Os produtos dos Índices de Representação de Relevo (IRR) são dados quantitativos que associados a dados qualitativos permitem ilustrar e identificar as variáveis envolvidas na gênese de processos morfogenéticos observados na paisagem.

A utilização de IRR ganhou destaque na análise ambiental na década de 90, com a possibilidade da avaliação destes, através de ambiente computacional, com a utilização de Modelos Digitais de Terreno (MDT) correlacionados à geomorfologia e seus processos (MOORE et al., 1991, MOORE et al., 1993, HERMUCHE et al. 2003, IPPOLITI et al., 2005).

Souza et al. (2001) e Santos (2004) defendem o uso dos IRR para o entendimento da tipologia e intensidade dos processos de erosão e deposição, potencial de uso e propriedades pedológicas. Prates et al. (2012), Caten et al. (2009), Maganhotto (2013), Silveira et al. (2014) aplicaram IRR com o objetivo de correlacionar diferentes índices à ocorrência de solos, pedoformas ou feições geomorfológicas.

Santos (2003) destaca os benefícios da utilização destas técnicas em função dos elevados custos dos métodos tradicionais, grandes extensões de áreas a serem mapeadas e dificuldade

de acesso a alguns lugares para viabilizar a aquisição de dados em nível nacional, de modo rápido, confiável e de baixo custo.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é aplicar quatro métodos de obtenção de Índices de Representação do Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Maquiné, RS, Brasil, com suporte de técnicas de geoprocessamento e utilização de dados orbitais.

1.1. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Maquiné (BHRM), pertencente à Região Hidrográfica do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, e contribuinte da Bacia Hidrográfica do Tramandaí, na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Tem como ponto exutório a Lagoa dos Quadros, que é parte do complexo lagunar existente no litoral norte, com deságue no Oceano Atlântico (Figura 1).

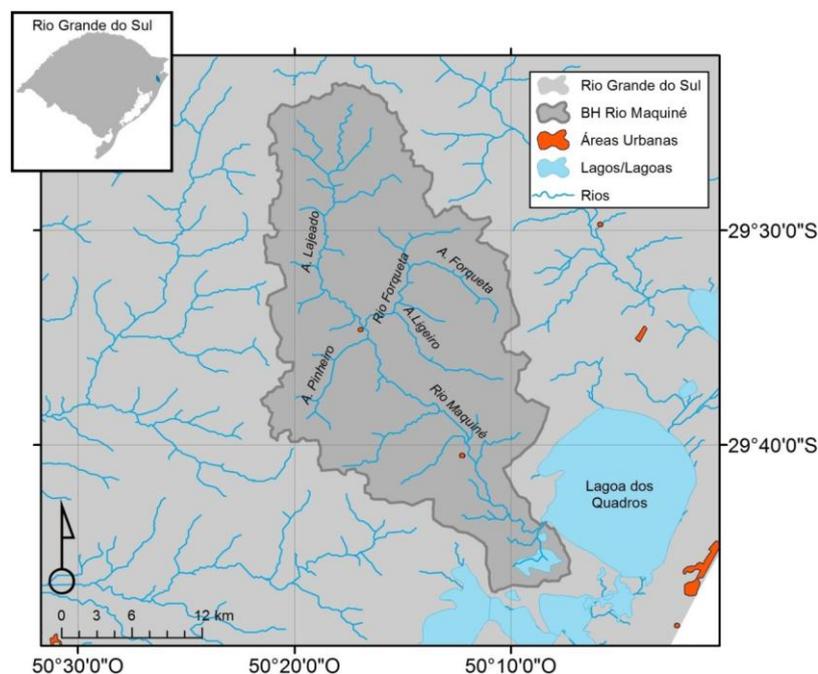


Figura 1. Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do rio Maquiné/RS.

A BHRM está inserida em algumas áreas importantes de preservação de ecossistemas, e abrange os domínios geológicos da Bacia do Paraná e a Cobertura de Sedimentos Cenozóicos. As cabeceiras e grande parte de suas encostas são formadas por rochas da Formação Serra Geral e da Formação Botucatu, ambas da Bacia do Paraná. Esta sub-bacia é reconhecida pela UNESCO, desde 1992, como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. O município de Maquiné também contém unidades de conservação, como a Reserva Biológica Estadual da Serra Geral e a Área de Proteção Ambiental da Rota do Sol.

Esta bacia é fruto da intensa interação dos índices pluviométricos característicos da região e da sua geomorfologia com relevo muito acidentado. Sendo uma região de transição entre a Planície Costeira e a Formação Serra Geral, existe uma grande variação altimétrica, gerando uma imponente paisagem, com amplitudes que atingem quase 900 metros em apenas oito quilômetros de extensão. Define claramente áreas de planícies e montanhas bem definidas ao longo do vale do rio Maquiné.

2. Metodologia de Trabalho

Os IRR são técnicas de parametrização da morfologia do relevo, por meio de SIG, através do processo de extração de atributos quantitativos da topografia de um MDE. É a análise do

terreno através da geomorfometria, que descreve de forma quantitativa as formas da superfície da Terra, por meio de equações aplicadas a modelos numéricos de representação altimétrica, os MDEs, que derivam os atributos.

A variável de elevação e a derivada de declividade utilizadas foram obtidas diretamente dos dados TOPODATA (Valeriano.. 2008), sendo realizado o procedimento de *Fill Sinks* para a correção de depressões espúrias. Estes índices foram trabalhados no ArcGIS através da ferramenta Calculadora Raster, que possibilita realização de operações matemáticas com os planos de informação raster.

IRR são divididos em primários ou secundários, onde os primários são calculados diretamente no MDE e incluem variáveis como elevação, declividade, comprimento de rampa, orientação das vertentes, dentre outras; Enquanto que o secundário combina atributos primários e descrevem a variabilidade espacial de processos específicos da paisagem (MOORE et al., 1991). Wilson e Gallant (2000) apontam que os atributos secundários são importantes porque oferecem oportunidade de descrever um padrão como uma função de processo e quantificam o papel desempenhado pela topografia na redistribuição de água na paisagem.

A escolha dos atributos topográficos secundários, representados pelos IRR, aponta para índices e atributos que caracterizam tanto os processos geomorfológicos quanto parâmetros pedológicos.

2.1. Declividade (α)

A declividade (slope) é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal e sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos, sendo esta a primeira derivada da elevação em relação à distância horizontal. Valeriano (2008) obteve estes dados a partir da altimetria, com derivações em torno de cada ponto analisado, operadas através de janelas móveis pixel a pixel.

2.2. Índice de Umidade (w)

Também chamado de TWI (*Total Wetness Index*), foi obtido pelo logaritmo natural da razão entre a área de contribuição e a tangente da declividade do terreno (Equação 1) (WILSON e GALLANT, 2000).

$$w = \ln \left(\frac{Ac}{\tan\beta} \right) \quad (1)$$

Este IRR é também chamado de TWI (*Total Wetness Index*), é utilizado para caracterizar a distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas paisagens, demonstrando os efeitos do relevo na localização e tamanho das áreas de acumulação de água (MOORE et al. 1993). Classifica as condições pedológicas entre solos bem drenados, moderadamente drenados e mal drenados.

2.3. Índice de Corrente de Máximo Fluxo (Ω)

Segundo Moore et al. (1993), cujo termo em inglês é *StreamPower Index*, é a mensuração do poder erosivo da água corrente, com base no pressuposto de que a descarga é proporcional a acumulação de fluxo de montante, conforme Equação 2. Prediz também erosão nas áreas de perfil convexo e deposição em áreas de perfil côncavo, com aceleração e redução de fluxo respectivamente Wilson e Gallant (2000).

$$\Omega = Ac \tan\beta \quad (2)$$

Onde: Ω é a corrente de máximo fluxo, Ac é a área específica de contribuição e a $\tan\beta$ é tangente da declividade, expressa em radianos.

2.4. Índice de Capacidade de Transporte de Sedimentos (τ)

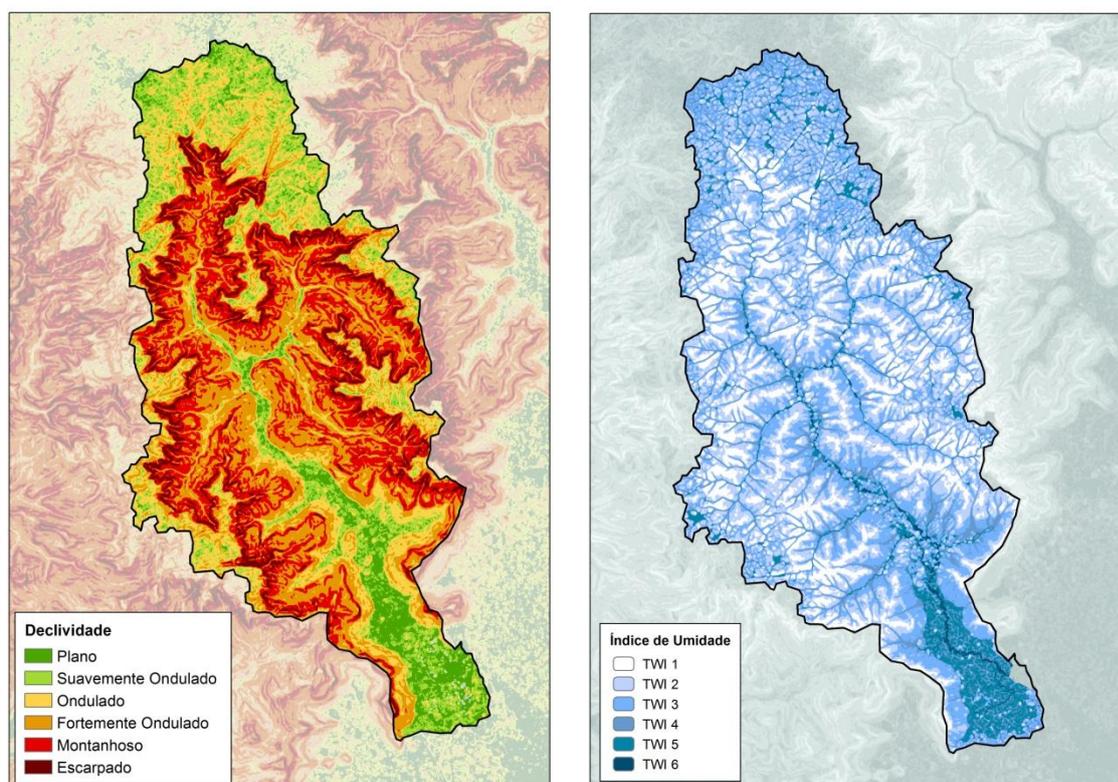
O índice de capacidade de transporte de sedimentos (τ) equivale ao fator de comprimento e inclinação da vertente (Equação 3). Segundo Moore et al. (1991) é muito utilizada para prever áreas de erosão e deposição. Está negativamente correlacionado com o índice de umidade (w) e positivamente correlacionado com o índice de corrente de máximo fluxo (Ω). Sua equação é uma função não-linear de declive e descarga específica. Os valores das constantes m e n são 0.6 e 1.3 respectivamente.

$$\tau = \left(\frac{Ac}{22.13}\right)^m \left(\frac{\tan\beta}{0.0896}\right)^n \quad (3)$$

3. Resultados e Discussão

Segundo Silveira (2010) nos atributos topográficos secundários a discretização das classes é orientada pela morfologia do relevo da área e nas unidades de mapeamento de solos existentes. Os intervalos apresentam subjetividade na sua separação e os valores apresentados nos índices são adimensionais. Ou seja, é preciso ter um conhecimento prévio da área de estudo, mesmo que generalizado, pois só assim essa discretização poderá ser mais coerente com a real com o padrão hidrológico da bacia.

A Figura 2 mostra que todos os quatro IRR aplicados à BHRM apresentaram grandes diferenças nos valores obtidos de cada um dos índices separando de maneira bem evidente as classes pertencentes às regiões de planícies de inundação e as áreas mais escarpadas e com maiores declives.



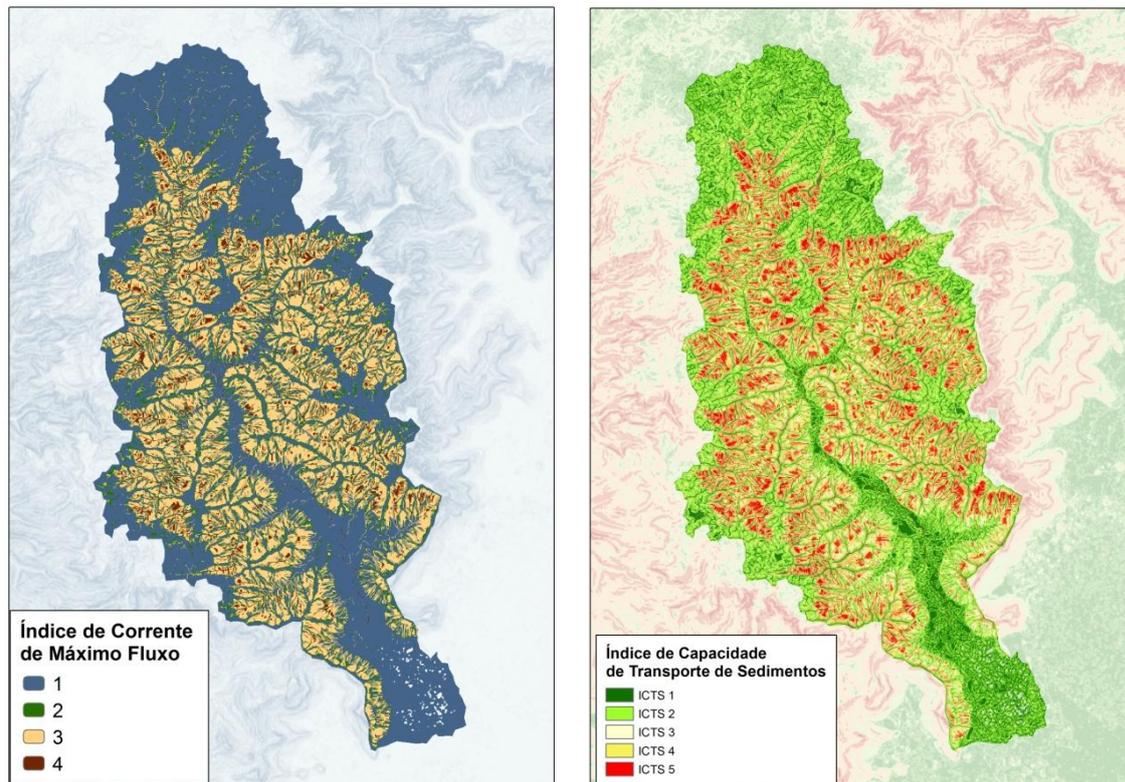


Figura 2. Representações espaciais das classes de IRR aplicados à BHRM.

A declividade, segundo Wilson e Gallant (2000) exerce influência direta sobre a velocidade do escoamento superficial e subsuperficial da água, refletindo nos processos de erosão e deposição. Esta variável é considerada uma das mais importantes na identificação de unidades de solo (HERMUCHE et al., 2003; IPPOLITI et al., 2005; SIRTOLI, 2008;).

Para Valeriano (2008) o destaque é a estreita associação com os processos de transporte gravitacional, sendo assim base para a segmentação de áreas no que tange planejamento e dinâmica geomorfológica. A classificação das declividades segue os padrões estabelecidos pela EMBRAPA, onde: plano (0%-3%), suavemente ondulado (3%-8%), ondulado (8%-20%), fortemente ondulado (20%-45%), montanhoso (45%-75%) e escarpado (declividades superiores a 75%). É possível identificar a partir deste mapa setores com declividades acentuadíssimas, formando vales encaixados em vários pontos da bacia, tornando assim seus rios contribuintes fatores importantes e desencadeadores de eventos extremos, conhecidos estes por sua recorrência na área.

O índice de umidade prevê saturação onde a área de contribuição é grande, geralmente em segmentos convergentes de paisagens, onde o ângulo de inclinação é pequeno, predominantemente na base de vertentes côncavas, onde a variação da transmissividade do solo é pequena em solos não muito profundos. Assim, com sua aplicação obtém zonas de concentração de água na paisagem (WILSON e GALLANT, 2000).

O índice de umidade teve suas classes divididas em IU1 (valores menores que 7), IU2 (7-8), IU3 (8-9), IU4 (9-10), IU5 (10-11) e IU6 (maiores que 11). Chagas (2006) e Sirtoli (2008) correlacionaram os altos valores para o índice de umidade com relevos planos e áreas de várzea, onde foram encontrados organossolos e gleissolos. Lin et al., (2006) e Prates (2010) estabeleceram uma relação entre o TWI e a drenagem.

Este índice representa muito bem as áreas com maior potencial de inundação, justamente na região à jusante da BHRM onde sua planície de inundação é bastante abrangente, comumente desencadeando situações de cheias consideráveis.

O índice de Corrente de Máximo Fluxo mostra-se, numa análise visual, vinculado aos potenciais eventos de movimentos de massa. Seus maiores valores estão apontados em regiões onde supostamente existe uma suscetibilidade à eventos dessa natureza. Este índice é a mensuração do poder erosivo da água corrente, com base no pressuposto de que a descarga é proporcional a acumulação de fluxo de montante e foi classificada da seguinte forma: ICMF 1 (0-5), ICMF 2 (6-15), ICMF (16-30) e ICMF (valores maiores que 31).

A capacidade de transporte de sedimentos e sua distribuição espacial (WILSON e GALLANT, 2000) foi classificada em ICTS 1 (0), ICTS 2 (1) ICTS 3 (2-3), ICTS 4 (4-6) e ICTS (valores maiores que 7). Considera áreas de erosão e de deposição, sendo os maiores valores associados à áreas de maior potencial erosivo, e os menores valores correspondem à áreas de potencial deposicional. Áreas próximas ao rio principal, no seu setor médio, que apresentaram valores baixos para este índice correspondem à áreas com depósitos aluviais de fácil observação em campo.

4. Conclusões

A execução deste trabalho mostrou-se relevante no que tange a relação entre as características topográficas da bacia em seus diferentes setores e o comportamento morfogênético que alteram as características de erosão, transporte e deposição ao longo da bacia hidrográfica como um todo.

A utilização de dados TOPODATA mostrou-se adequada para a análise proposta neste trabalho, sendo capaz de identificar setores com características topográficas locais de modo a contemplar as necessidades no nível de informação necessário. Bem como deve-se salientar os ganhos financeiros e de tempo de execução da tarefa, destacando as ferramentas de SIG e suas velocidades de processamento e capacidade de armazenagem de dados fundamentais para este tipo de pesquisa.

Este trabalho prevê uma continuidade no cruzamento dos dados gerados em ambiente SIG para cada um dos índices analisados, bem como de novos índices, com dados obtidos em campo, buscando correlacionar cada um dos índices à eventos extremos, que com frequência atingem a região e afetam os moradores da localidade.

Referências Bibliográficas

CÁTEN A.; DALMOLIN, R. S. D.; RUIZ, L. F. C.; SEBEM, E.; PEREIRA, R. S. **Pedometria aplicada à predição de classes de solos utilizando de regressões logísticas múltiplas**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, 2009, Natal. Anais... Natal : INPE, p. 25-30, 2009.

CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. Viçosa, 2006. 223p. (Doutorado -Universidade Federal de Viçosa – UFV).

HERMUCHE, P. M.; ANDRADE, A. C.; GUIMARÃES, R. F.; LEAL, CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. **Compartimentação Geomorfológica em escala 15 regional da bacia do rio Paraná**. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, X, 2003, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro : SBGFA, 2003.

IPPOLITI, G. A.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C. E .G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R.; SOUZA, E. **Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.269-276, 2005.

LIN, H.S.; KOGELMANN, W.; WALKER, C. & BRUNS, M.A. **Soil moisture patterns in a forested catchment: A hydrogeological perspective**. Canadá. Geoderma, (131):345-368, 2006.

MAGANHOTTO, R.F., SANTOS, L.J.C., SOUZA, L.C.P., MIARA, M.A., LEMES, P.H.S. - **A aplicação dos índices de representação do relevo como ferramenta de suporte no planejamento ambiental de unidades**

de conservação - estudo de caso Floresta Nacional de Irati. Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR. v.8, n2. 2013.

MOORE, I. D., GRAYSON, R. B., and LADSON, A. R., 1991, **Digital terrain modelling: review of hydrological, geomorphological, and biological applications.** Hydrological Processes, 5, 3-30.

MOORE, I. D., GESSLER, P. E., NIELSEN, G. A., and PETERSEN, G. A., 1993, **Soil attribute prediction using terrain analysis.** Soil Science America, Journal, 57, 443-452.

PIKE, R.J.; EVANS, I., HENGL, T. Geomorphometry: A Brief Guide. In: **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Hengl, T. and Hannes I. Reuter (eds.), Series Developments in Soil Science vol. 33, Elsevier, pp. 3-30, 2008.

PRATES, V. - **Utilização de índices para a representação da paisagem como apoio para levantamentos pedológicos em ambiente de geoprocessamento.** Dissertação de mestrado PPG Ciências do Solo - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

SANTOS, R. F. dos. - **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SILVEIRA C.T., OKA-FIORI, C., SANTOS, L.J.C., SIRTOLI, A.E., SILVA, C.R. - **Pedometria apoiada em atributos topográficos com operações de tabulação cruzada por álgebra de mapas.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n°2. p.125.137. 2012.

SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em Sistemas de Informações Geográficas e Redes Neurais Artificiais.** Curitiba, 2010. 152p. 17 Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra.

SIRTOLI, A. E.; **Mapeamento de solos com auxílio de atributos do terreno, índices espectrais e geologia integrados por redes neurais artificiais.** Curitiba, 2008. 102p. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra.

SOUZA, J. L; FABRI, S. M; LIMA, E. C. **Manipulação e análise das informações altimétricas de Morretes (PR) para o Atlas Municipal.** Curitiba, 2001. II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, 2001 UFPR 207p.

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

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis, chapter 1. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications.** New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.