

# **COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUYUNI, ESTADO DE BOLIVAR - VENEZUELA: UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE ESPACIAL COM FINS DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL**

Rhael Lara<sup>1</sup>  
Wilson Oliveira da Silva<sup>2</sup>  
Luís Eduardo Robaina<sup>3</sup>  
Lucas Krein Rademann<sup>4</sup>  
Ricardo Vieira da Silva<sup>5</sup>  
María José Entrena<sup>6</sup>  
Romario Trentin<sup>7</sup>

## **INTRODUÇÃO**

Os países em desenvolvimento enfrentam atualmente um grande desafio para materializar tanto a diversificação da sua economia como a otimização dos processos produtivos, já historicamente estabelecidos nos territórios. Como forma de ajudar o correto ordenamento é necessário realizar análises espaciais tanto da geografia física como da humana, passando pela geografia econômica os quais permitem viabilizar novas formas de gerir o território com o intuito de otimizar a eficiência econômica (produção) e a ambiental (conservação) dos processos (DIAS, 2017).

A partir da lógica sistêmica proposta por Cristofolletti (2008), os trabalhos dos pesquisadores do Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e do Laboratório de Investigação Geográfica da

---

<sup>1</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [Rhael.lara5@gmail.com](mailto:Rhael.lara5@gmail.com) ;

<sup>2</sup> Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [wison.silva98@hotmail.com](mailto:wilson.silva98@hotmail.com);

<sup>3</sup> Doutor pelo Curso de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, [lesrobaina@yahoo.com.br](mailto:lesrobaina@yahoo.com.br);

<sup>4</sup> Doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [lucasrademann@yahoo.com](mailto:lucasrademann@yahoo.com);

<sup>5</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [ric.sveira@gmail.com](mailto:ric.sveira@gmail.com);

<sup>6</sup> Mestre pelo Curso de Geografia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, [mariajoseentrena@gmail.com](mailto:mariajoseentrena@gmail.com) ;

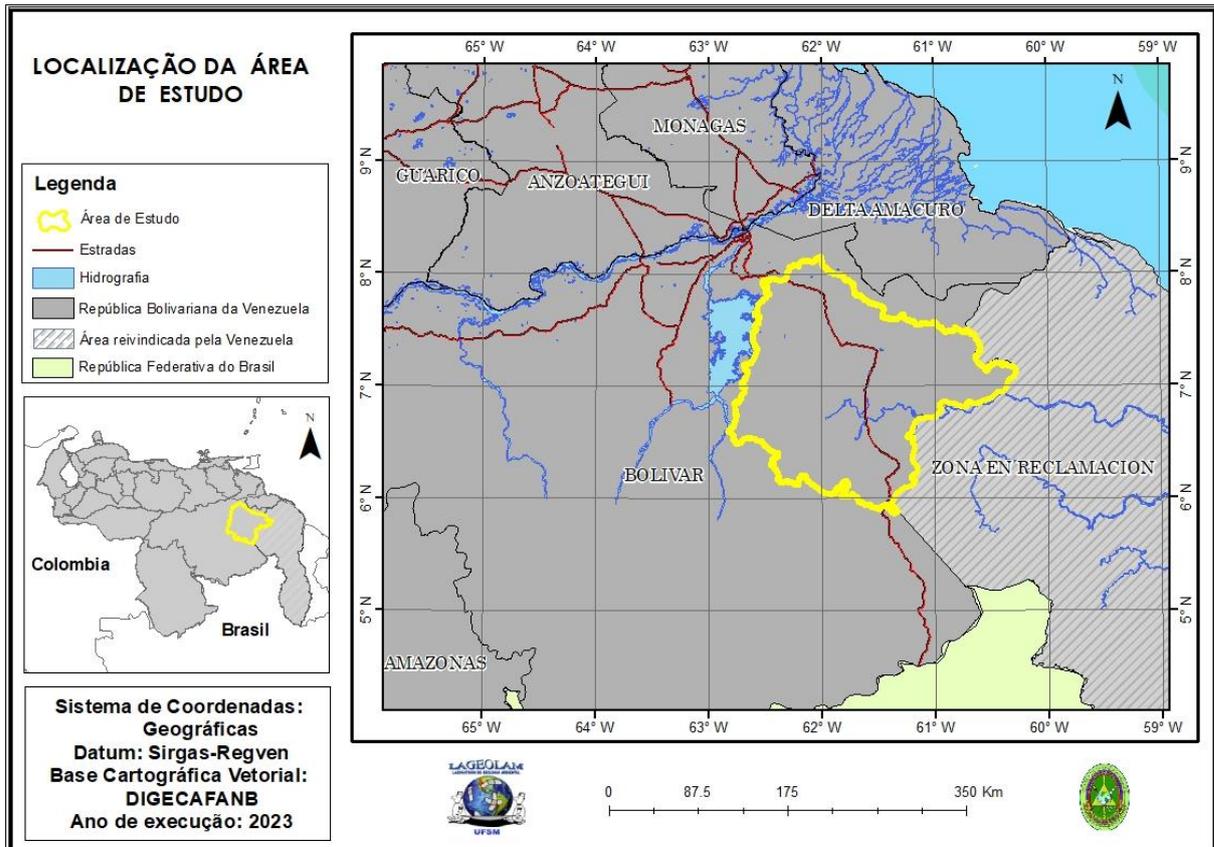
<sup>7</sup> Professor orientador: doutor pelo Curso de Geografia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, [romario.trentin@gmail.com](mailto:romario.trentin@gmail.com);

Universidade Militar Bolivariana da Venezuela, somam esforços para a geração de conhecimento espacial, através de mapeamentos temáticos caracterizando as formas e feições do relevo, substrato litológico e solos, bem como dos processos e da dinâmica superficial conforme os trabalhos (BAZZAN & ROBAINA, 2006,2008; DE NARDIN & ROBAINA, 2006; PAULA, P. , 2006; ROBAINA et al, 2006; TRENTIN & ROBAINA, 2005, 2006; TRENTIN, 2007).

Reconhecendo que, cada espaço geográfico é particular e está em constante transformação, que por sua vez, está ligada à sua realidade em um determinado tempo histórico. Da mesma forma, cada atividade produtiva está também em contínua evolução tecnológica, pelo qual o ordenamento do território deve basear-se em análises espaciais que exemplifiquem a importância da atualização e modernização das análises para fazer face à complexidade do planejamento e da gestão do território (PFEIFFER,2006). Por esta razão, o presente trabalho procura caracterizar metricamente o relevo do alto curso da bacia do rio Cuyuní no estado de Bolívar – Venezuela. Tendo como objetivo regionalizar setores que possam ser correlacionados a outros atributos tanto do meio físico como dos avanços das técnicas de mineração para facilitar a interpretação das suas relações dialéticas com os impactos ambientais associados (DIAS, 2016).

A área de estudo constitui a bacia hidrográfica (Figura1). com o maior número de depósitos de ouro registrados na República Bolivariana da Venezuela. Nesse sentido, há informações sobre mineração artesanal nas margens do rio Yuruari desde 1853, sendo que a mineração industrial data de 1862. Portanto, a exploração desse mineral representa a atividade de maior extensão, intensidade e impacto ambiental na área. Sendo utilizadas diferentes técnicas de extração de ouro como: manual, lagoas, monitores hidráulicos, pequenas galerias, galerias industriais e escavação industrial superficial, sendo as técnicas de galeria e escavação as que geram menor impacto em termos de redução da superfície ocupada (LOZADA e ERNESTO 2000).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Os autores (2023).

A exploração mineira contribui, direta e indiretamente, com mais de 80% da economia local e por isso, o controle desta atividade tem enormes repercussões sociais, econômicas, ambientais e políticas. Daí a importância de utilizar os avanços tecnológicos para gerar informação espacial que, juntamente com os avanços nas técnicas mineiras, podem apresentar novas opções para este tipo de exploração econômica, historicamente praticada por uma população de mineiros estimada entre 30.000 e 60.000 pessoas, incluindo comunidades indígenas (Lozada e Ernesto 2000).

De acordo com estudos realizados por Malm et al (1990), Pfeiffer et al (1991), Hylander et al (1994) e Von Tumpling et al (1995), o principal impacto ambiental registrado na área de estudo é a poluição por mercúrio. Sendo atribuída aos pequenos e médios garimpeiros que utilizam este metal durante a sua obsoleta técnica de exploração, os quais contaminam o ar, os cursos de água e solo. Por esta razão, a análise geomorfológica procura avaliar a influência do relevo no comportamento dos cursos hídricos, já que estes atuam como o principal meio de transporte, contribuindo desta

forma para a disseminação da poluição ambiental, mas também como um indicador fiável do estado do sistema natural.

Figura 2 - Rio Yuruari, localizado na porção central da bacia



Fonte: [https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo\\_Yuruari#/media/Archivo:Vista\\_Del\\_Rio\\_Yuruari\\_Desde\\_La\\_Entrada\\_Del\\_Pueblo.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo_Yuruari#/media/Archivo:Vista_Del_Rio_Yuruari_Desde_La_Entrada_Del_Pueblo.jpg) (2013).

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada apresenta a classificação do relevo como marco cartográfico para análises espaciais, sendo definida através do uso do zoneamento geomorfométrico. Esta metodologia foi apresentada por Silveira (2014) que, com base nos preceitos de Iwahashi e Pike (2006), são realizados os cruzamentos dos atributos topográficos (altimetria, declividade, perfil de curvatura e plano de curvatura), utilizando a ferramenta de análise de árvore de decisão disponível em Sistemas de Informações Geográficas (ArcGIS® 10.4.1).

A etapa inicial ocorreu a partir da delimitação da área de análise (bacia hidrográfica), onde na compreensão de Guerra e Guerra (1997), Botelho e Silva (2010) e Botelho (2011) auxiliara no entendimento dentro da escala de análise. Assim como Araújo, Almeida e Guerra (2010) em relação da configuração do relevo e a bacia hidrográfica. Wood (1996), Florenzano (2008) e Valeriano (2005) auxiliaram na compreensão das análises morfométricas e na parametrização do relevo e a partir dos trabalhos de Guadagnin e Trentin, (2014); Guadagnin et al., (2015); Trentin et al, (2015), Dias et al., (2016); Trentin e Robaina, (2016) e Prina e Trentin (2016) definiu-se a combinação da árvore de decisão.

Na definição das unidades geomorfométricas foram utilizados os parâmetros extraídos da imagem de radar SRTM com resolução espacial de 30 metros. A altitude foi o primeiro parâmetro a ser analisado, pois diferentes altitudes podem gerar variações nas condições de temperatura e precipitação que alteram o desenvolvimento de processos superficiais. Além disso, indicam as áreas com presença de cabeceiras de drenagem e as que marcam o nível da base na bacia, indicando processos erosivos e de sedimentação. O parâmetro altitude foi definido a partir da média da amplitude altimétrica, dividindo a área de estudo em duas classes: 247 metros.

O segundo parâmetro de análise foi a declividade, que representa a inclinação das vertentes condicionando diretamente a relação entre escoamento e infiltração nas encostas. Os limites definidos foram de 15% com base nos parâmetros do (IPT, 1981) onde tem-se que abaixo de 5% é identificado um relevo plano onde predominam os processos de acumulação, entre 5%-15% define setores de colinas e de morrotes com vertentes suavizadas onde não há predominância marcada entre os processos superficiais de erosão e acumulação (os materiais erodidos são adquiridos nas áreas altas e os materiais são depositados nas áreas mais baixas do sistema); já acima de 15% são encontrados relevos fortemente ondulados à escarpados.

O terceiro parâmetro utilizado foi o plano e perfil de curvatura, que segundo Hugget (1975) é indispensável para a compreensão da dinâmica espacial da área de estudo. Esta classificação propõe nove padrões ideais como indicadores das direções dos fluxos de água no relevo, cuja influência sobre os solos e a paisagem são explicadas em grande parte pelo movimento dos fluxos de água e sua distribuição.

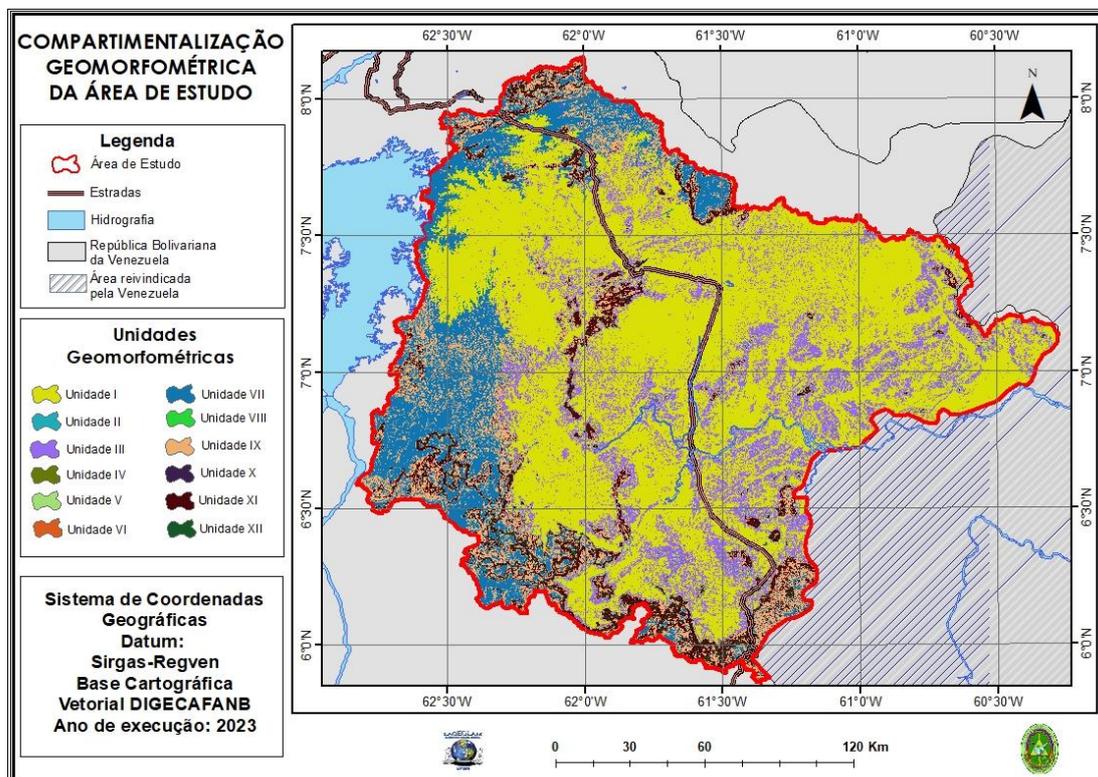
O perfil de curvatura é um atributo muito importante para entender as mudanças de velocidade que os fluxos de água adquirem em seu deslocamento sobre o relevo da

área de estudo, que, devido à pouca infiltração, geram muita influência nos processos relacionados ao transporte de sedimentos. Já o plano de curvatura reflete a propensão da água a convergir ou divergir no solo, explicando a localização das zonas úmidas dentro da bacia (GALLANT e WILSON, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica de rio Cuyuni ocupa uma área de 37.513,31 Km<sup>2</sup>, tendo a cota de altitude mais baixa de 89 metros, localizada na planície oriental da bacia, enquanto que sua cota mais alta esta a 1.902 metros, localizada na parte sul da bacia, nas serras do Escudo das Guianas, o que define uma amplitude altimétrica de 1.813 metros. Com base nos parâmetros descritos, a área de estudo foi regionalizada em unidades de relevo com características métricas dentro de um limiar de homogeneidade, facilitando a compreensão dos processos superficiais predominantes em cada setor. Apresentando 12 unidades geomorfométricas (Figura 3), com formas individualizadas possibilitando estudar os processos superficiais que ali ocorrem.

Figura 3 – Mapa de zoneamento geomorfométrico



Fonte: Os autores (2023).

As unidades de relevo destacam-se pelas suas dimensões e formas distintas, sendo as mais representativas abordadas a seguir, já que estas passam a influenciar diretamente a dinâmica hídrica. A Unidade I abrange 19565,6 Km<sup>2</sup>, representando 52% da área de estudo demarcando setores húmidos de na planície aluvial por onde as correntes hídricas perpassam, definindo áreas de inundações e sujeitas a processos de deposição de materiais (plano convergente). As declividades não chegam a < 5 % e d dessa maneira atenua a dinâmica dos processos erosivos, que por sua vez favorece os processos de sedimentação ao longo do curso d'água.

A unidade III cobre 6.043,2 Km<sup>2</sup>, ou 16% da área de estudo, definindo setores de colinas moderadas com declividades compreendidas entre 5% - 15%. Onde os processos de acumulação de água e sedimentos (plano convergente) são dinamizados pela declividade <5% compreendendo áreas de relevo planos convergentes o que explica em grande parte o comportamento das correntes hídricas influenciadas por esse tipo de relevo.

A unidade IV compreende 3.5883 Km<sup>2</sup>, sendo a menor em termos de área, com apenas 0,4 % da área de estudo. Definido setores de colinas suaves onde as declividade e situam-se entre 5% - 15% favorecendo os processos predominantes de dispersão da água e de sedimentos (Plano Divergente) explicando em grande parte os sedimentos dentro da bacia.

A unidade VII corresponde 4.817 Km<sup>2</sup> representando 12,8 % da bacia, definindo área de planalto onde favorece a acumulação hídrica própria desse tipo de forma, ou seja, os do tipo planos convergentes. Contribuindo para o surgimento de cachoeiras caracterizando nos setores superiores localizados predominantemente na porção noroeste da bacia.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os estudos realizados a partir da análise da bacia hidrográfica, contribuíram para o entendimento das relações existentes entre as características físicas e os ecossistemas naturais, bem como a influências das atividades antrópicas que estas exercem sobre todo o ecossistema. Dessa forma, a definição das unidas de relevo puderam gerar conhecimento de natureza espacial indispensável para o estabelecimento de medidas

associadas à conservação das suas riquezas naturais e à promoção de tecnologias de uso econômico compatíveis com as características do espaço.

Além disso, a regionalização geomorfométrica do terreno forneceu informações que permitiram deduzir com alto grau de precisão as características do meio físico, possibilitado compreender com inferência sistêmica a falta de informações detalhadas existentes em alguns setores do país. O que consolida uma ferramenta útil para abordar bacias hidrográficas localizadas em locais inóspitas com pouca informação espacial.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa foi possível evidenciar a forte dinâmica estabelecida entre um meio físico em constante transformação e a ação antrópica que também é persistentemente e influenciada pela evolução dos interesses econômicos globais e das tecnologias de exploração muitas vezes arcaicas. Esta situação explica a importância de atualizar as análises espaciais para evitar a obsolescência dos diagnósticos de ordenamento do território e da gestão territorial.

**Palavras-chave:** Ordenamento; geoformas; geotecnologias; geomorfometria, bacia hidrográfica.

## **AGRADECIMENTOS**

A Atividade Militar Geográfica da Venezuela, como sinal de gratidão a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e à Escola de Geografia da Universidade Militar Bolivariana (UMBV), agradece as estas entidades pelas contribuições a este trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

ARAUJO, G.H. de S., ALMEIDA, J.R. de., GUERRA, A.J.T., (2010). O papel da geomorfologia no diagnóstico de áreas degradadas, in: (Org.), **Gestão Ambiental de áreas degradadas**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 53-61.

BAZZAN, T.; ROBAINA, L. E. de. S. Mapeamento de Unidades Geológico Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Arroio Curuçu-RS. In: **Simpósio Nacional de Geomorfologia /Conferência Regional de Geomorfologia**, 6., 2006, Goiânia. Anais... 2006.

BAZZAN, T.; ROBAINA, L. E. de. S. Zoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Curuçu, oeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Geoambiente On-line**, Goiás: Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG. n. 11, jul-dez/2008.

- BOTELHO, R.G.M. Bacias hidrográficas urbanas, in: Guerra, A.J.T. (Org.), **Geomorfologia urbana**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 71-115. 2011.
- BOTELHO, R.G.M., SILVA, A.S da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental, in: Vitte, A.C., Guerra, A. J.T. (Org.), **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 3 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 153-192. 2010.
- CRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo. Hucitec-Edusp. Brasil. 2008.
- DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. de S. Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Miracatu, Oeste do Rio Grande do Sul. In: **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia /Regional Conference on Geomorphology**, 2006, Goiânia. Anais... 2006. p. 1-10.
- DIAS, D. F. **Zoneamento Geoambiental aplicado ao estudo das potencialidades e suscetibilidades ambientais e de uso e ocupação de Rosário do Sul/RS**. 2017. 184p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) –Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2017.
- DIAS, D. F., TRENTIN, R., MARQUES, R.D. Utilização de parâmetros geomorfométricos para a classificação do relevo do município de Mata – RS. **Revista GEOgrafias** [online] 12. 2016. Disponível: <http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geografias/article/view/778/572> . Acesso: 02 jul. 2024.
- DIAS, D., TRENTIN, R., SCCOTI, A., Dos SANTOS, V. Mapeamento e Caracterização do uso e ocupação da terra no município da Mata/RS, in: Territórios Brasileiros: Dinamicas, Potencialidades e Vulnerabilidades, Teresina - Piauí, **Anais...** pp. 897-904. 2015.
- FLORENZANO, T.G. Introdução à Geomorfologia, in: \_\_\_\_\_ (Org.), **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. Oficina de Textos, São Paulo, pp. 11 - 30. 2008.
- GUADAGNIN, P.M.A., TRENTIN, R. Compartimentação geomorfométrica da bacia hidrográfica do Arroio Caverá - RS. **Geo UERJ** [online] 16. 2014. Disponível: <http://www.epublicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/10030/9928>. Acesso: 02 jul.2024.
- GUADAGNIN, P.M.A., TRENTIN, R., ALVES, F.S. Relação entre as Variáveis Geomorfométricas e a Vegetação Florestal na Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá Oeste do RS. **Revista do Departamento de Geografia** [online] 29. 2015. Disponível: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/102131/100552> . Acesso: 14 set. 2023.
- GUERRA, A.T., GUERRA, A.J.T., 1997. **Novo dicionário-geológico-geomorfológico**, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro. Hasenack, H., Weber, E., 2010.
- HUGGETT, R. J. Soil Landscape Systems: A model of soil Genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 1-22. 1975.
- HYLANDER, L., SILVA, E., OLIVEIRA, L Y SILVA, S. Mercury levels in Alto Pantanal: a screening study. **AMBIO**, 23 (8): 478-484. 1994.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, 1981.

LOZADA, J. ERNESTO, A. Aspectos ambientales de los diferentes tipos de minería de oro, desarrollados en la Reserva Forestal Imataca. **Revista Forestal Latinoamericana**, 15 (27): 81-99. 2000.

MALM, O., PFEIFFER, W., SOUZA, C Y REUTHER, R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River Basin, Brazil. **AMBIO**, 19 (1): 11-15. 1990.

PAULA, P. M. **Mapeamento de Unidades Litomorfológicas em Bacias Hidrográficas com processos de Arenização, Alegrete-RS**, 2006. 69 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

PFEIFFER, W., MALM, C., SOUZA, C Y DRUDE-DE-LACERDA, L. Mercury in the Madeira River ecosystem, Rondonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, 38 (3- 4): 239-245. 1991.

PIKE, R. Automated Classifications of Topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology** vol3 Nro2 Pp 86. United State. 2006.

PRINA, B.Z., TRENTIN, R. Caracterização detalhada das unidades de relevo do município de Jaguari (RS)/Brasil. **Caderno de Geografia** 26, 404-426.

ROBAINA, L. Compatimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: Proposta de Classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. N° 2. Vol. 11. Brasil. 2016.

ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; DE NARDIN, D.; BAZZAN, T. **Atlas Geoambiental de São Borja**. Santa Maria: Lageolam, 2006. v. 01. 59 p.

SILVEIRA, R. Clasificación Morfológica del Relieve Uruguayo basada en Modelos Digitales de Elevación y Técnicas Geomorfométricas. **Revista Digital Geografía y Sistema de Información Geográfica (GEOSIG)**, Universidad Nacional de Luján. Argentina. 2014.

TRENTIN, R. Metodologia para Mapeamento Geoambiental Oeste do Rio Grande do Sul. **XI Simpósio de Geografia Física Aplicada**. Brasil. 2005.

TRENTIN, R. **Definição de Unidades Geoambientais na bacia hidrográfica do Rio Itu. - Oeste do Rio Grande do Sul**. 2007. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

TRENTIN, R., ROBAINA, L.E.S. Classificação das unidades de relevo através de parâmetros geomorfométricos. **Mercator** 15, 53-66. 2016.

TRENTIN, R., ROBAINA, L.E.S., SILVEIRA, C.T. Compartimentação Geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Itú/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia** [online] 2. 2015. Disponível: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/460/459> . Acesso: 10 fev. 2018.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Mapeamento Morfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Itú. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia. **Anais...**, 2006. p. 1-15.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Metodologia para Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005. **Anais...** 2005.

VALERIANO, M.M., (2005). Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto Topodata, in: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, **Anais...** pp. 1-8.

VELOSO, A. Importância do estudo das vertentes. **Geographia**, v. 4, n. 8, p 1-5, 2002.

VITTE, C. **Reflexões sobre a Geografia Física No Brasil**. Editora. Bertrand Brasil. Brasil, 2004.

VON TUMPLING JR, W., WILKEN, R Y EINAX, J. Mercury contamination in the northern Pantanal Region, Mato Grosso, Brasil. **Journal of Geochemical Exploration**, 52 (1-2): 127-134. 1995.

WILSON, J.P., GALLANT, J.C. **Terrain analysis: principles and applications**, John Wiley & Sons, New York. 2000.

WOOD, J. **The geomorphological characterisation of digital elevation models**. Thesis (PhD), Leicester, University of Leicester. 1996.