

Mapeamento geomorfológico a partir de dados SRTM: bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS

Thiago Dias Luerce¹
Guilherme Garcia de Oliveira²
Laurindo Antonio Guasselli³
João Paulo Brubacher⁴
Anderson Ribeiro de Figueiredo⁵

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 15044 - 91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil.

¹thiago.luerce@hotmail.com; ²g.g.oliveira10@gmail.com; ³laurindo.guasselli@ufrgs.br;
⁴jpbmau@hotmail.com; ⁵anderson.chb25@gmail.com.

Abstract. The geomorphological mapping is an important tool for analysis and synthesis of the relief, and represents the different shapes and sizes of the relief features. Nowadays, the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) data are widely distributed and can be used for geomorphological application, becoming an alternative for minimizing costs and time to produce geomorphological maps. The objective of this study is to carry the geomorphological mapping of the Sinos river basin, RS state, Brazil, based on the SRTM data and geoprocessing techniques. The geomorphological mapping was based on the principle of taxonomic hierarchy, identifying, in sequence, the morphostructural and morphosculptural domains, the geomorphological units, the modeled types and the relief forms, and the linear and specific features of the relief. The maps were developed with the supporting of the following materials: i) previous mappings ii) field activities, iii) morphometric variables (slope, altimetry, curvatures, topographical profiles) extracted from the SRTM data. We used, together, an automated method (filter and segmentations) and methods based on visual interpretation of the data to identify the relief forms. Were identified six geomorphological units, four modeled of accumulation, seven modeled of dissection and hundreds of linear or specific features of the relief. Overall, the geomorphological mapping presented coherent and consistent results, considering the previous geomorphological map (scale of 1:250,000), conducted by the Brazilian Institute of Geography and Statistics. In every taxonomic level, was observed a greater detailing of the features, indicating that the mapping is suitable for scales above to the existing cartography.

Palavras-chave: remote sensing, digital elevation model, morphometric features, sensoriamento remoto, modelo digital de elevação, variáveis morfométricas.

1. Introdução

A geomorfologia estuda as formas, a gênese, a estrutura e a dinâmica do relevo. O conhecimento desta ciência pode ser de grande importância nos diagnósticos ambientais e na gestão territorial, contribuindo para orientar a ocupação humana, o aproveitamento sustentável dos recursos naturais e a prevenção de desastres naturais (Christofolletti, 2005).

O mapeamento geomorfológico caracteriza-se como uma importante ferramenta de síntese e análise no estudo do relevo terrestre, e deve representar as diferentes tipologias de formas e tamanhos das feições do relevo e os fatores morfogênicos, morfométricos e morfocronológicos que estão diretamente relacionados à tipologia das formas na superfície terrestre. Deste modo, a metodologia da cartografia geomorfológica caracteriza-se pela definição de uma hierarquização taxonômica que considera as unidades morfoestruturais, unidades morfoesculturais, tipos de modelado e conjunto de formas semelhantes (Ross, 2012).

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS (Figura 1) sofre historicamente com inundações e deslizamentos de terra, que ocasionam grandes danos à população local (Oliveira et al., 2012). Tendo em vista este cenário, uma atualização do mapa geomorfológico desta região torna-se muito importante para a gestão territorial e a prevenção de desastres nesta área.

Atualmente, os dados de sensoriamento remoto da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que visou a geração de um modelo digital de elevação (MDE), estão

vastamente difundidos e possuem aplicações no âmbito de diagnósticos ambientais e de estudos relacionados às dinâmicas geomorfológicas e hidrológicas (Valeriano, 2008; Paz e Collischonn, 2008). Tais dados configuram-se como uma alternativa importante na minimização de custos e do tempo na produção de estudos no âmbito da análise ambiental, uma vez que possibilitam, de forma rápida e eficiente, a extração de redes de drenagem e a análise morfométrica do terreno a partir de geoprocessamento.

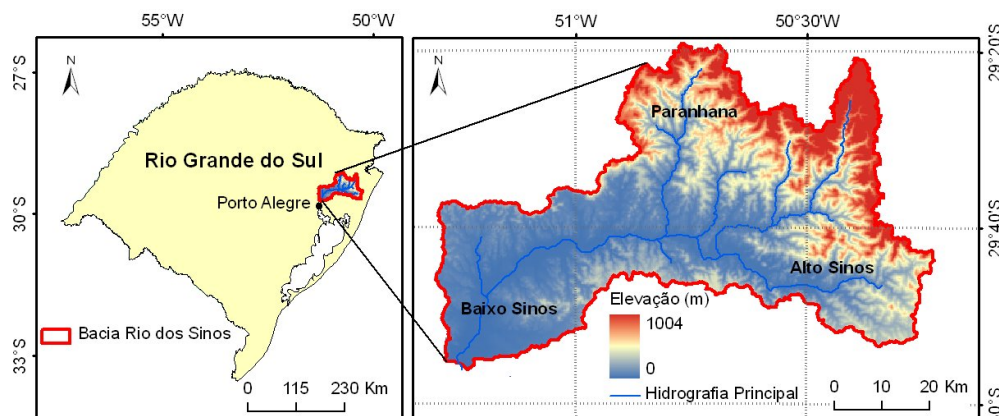


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS.

Neste contexto, o objetivo deste estudo é realizar o mapeamento geomorfológico da bacia do rio dos Sinos/RS com base nos dados SRTM e em técnicas de geoprocessamento.

2. Metodologia de trabalho

A metodologia adotada para o mapeamento geomorfológico da bacia do rio dos Sinos foi baseada no princípio da hierarquização taxonômica utilizado por Ross (2012). Foram realizadas duas atividades de campo para validação dos mapas realizados em alguns pontos.

O trabalho compreendeu quatro etapas: i) seleção e extração de variáveis morfométricas que caracterizam as unidades geomorfológicas (UGs); ii) identificação dos domínios morfoestruturais; iii) identificação dos domínios morfoesculturais e de suas UGs; iv) identificação dos tipos de modelados, das formas de relevo semelhantes e de feições lineares do relevo (cristas, vales/sulcos, linhas de escarpa erosiva e morros testemunhos).

A base digital de elevação utilizada foi a SRTM, disponível em uma versão refinada para o território brasileiro através do TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Valeriano, 2005; Valeriano, 2008). As bases geomorfológica e geológica consideradas como referências foram as elaboradas pelo IBGE (2003a,b,c,d), escala 1:250.000, tendo como base informações topográficas das décadas de 1970 e 1980. Também foi utilizada, como apoio à interpretação geomorfológica, as linhas de drenagem digitalizadas por Hasenack e Weber (2010), escala 1:50.000, referente à cartografia da Divisão de Serviços Geográficos do Exército (DSG).

2.1 Variáveis morfométricas

Diversas variáveis morfométricas são importantes na classificação geomorfológica de bacias hidrográficas. Algumas delas já estão disponíveis no TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, todas extraídas a partir dos dados SRTM. Dentre estas, foram selecionadas as seguintes variáveis: i) altimetria (elevação); ii) declividades; iii) curvaturas horizontal e vertical. Outras quatro variáveis morfométricas foram extraídas no software ArcGIS 9.3, com base na altimetria: i) perfis topográficos; ii) curvas de nível com equidistância vertical de 20 m; iii) direções de fluxo de drenagem (*Flow Direction*); iv) áreas acumuladas de drenagem (*Flow Accumulation*).

2.2 Domínios morfoestruturais

A espacialização dos domínios morfoestruturais foi realizada com apoio dos mapas geológico e geomorfológico disponíveis, associados às linhas de drenagem e às variáveis morfométricas de altimetria e de declividades. Os mapas disponíveis (geologia e geomorfologia) foram utilizados, primeiramente, para definir os limiares das variáveis morfométricas (altimetria e declividades) que melhor classificam os domínios morfoestruturais presentes na área de estudo. Para garantir uma classificação mais homogênea, foi utilizado um filtro de média, janela 3x3, nas bases de altimetria e de declividades, que provoca uma suavização nos dados, eliminando ou reduzindo os ruídos, isto é, pixels com valores discrepantes em relação à vizinhança.

A escolha dos limiares foi realizada de forma interativa, isto é, através de tentativas baseadas em valores observados na literatura, de modo que os domínios morfoestruturais mapeados representem os padrões observados nas bases de geomorfologia e de geologia. Em seguida, estes mesmos mapas foram utilizados como referência para a edição de áreas classificadas erroneamente através dos limiares adotados. As áreas de transição classificadas indevidamente foram corrigidas por interpretação visual, através da edição dos polígonos.

Os seguintes domínios morfoestruturais foram espacializados: i) Depósitos Sedimentares; ii) Bacias e Coberturas Sedimentares.

2.3 Domínios morfoesculturais e unidades geomorfológicas

Os limiares das variáveis morfométricas (altimetria e declividades), que melhor classificam os domínios morfoesculturais e suas UGs, foram obtidos com base nos mapas de geomorfologia do IBGE e de domínios morfoestruturais realizado no item 2.2. Assim como no item anterior, estes limiares foram adotados no fatiamento das bases digitais de altimetria e de declividades, ambas filtradas pelo valor médio em uma janela 3x3. As áreas classificadas equivocadamente através dos limiares também foram editadas manualmente, com base na interpretação visual conjunta das bases de altimetria, declividades, dos perfis topográficos e das linhas de drenagem.

Os seguintes domínios morfoesculturais e UGs foram espacializados: i) Planície Costeira Interna, UG Planície Lagunar; ii) Planície Continental, UG Planície Alúvio-Coluvionar; iii) Depressão Central Gaúcha, UG Depressão do Rio Jacuí; iv) Planalto das Araucárias, UG Patamares da Serra Geral; v) Planalto das Araucárias, UG Serra Geral; vi) Planalto das Araucárias, UG Planalto dos Campos Gerais.

2.4 Tipos de modelados e conjunto de formas semelhantes

O mapeamento dos tipos de modelados e formas de relevo semelhantes foi realizado de acordo com os métodos utilizados nos itens anteriores (2.2 e 2.3). Para este nível taxonômico, foram utilizadas quatro variáveis morfométricas como referência para a espacialização dos modelados: i) altimetria; ii) declividades; iii) curvatura horizontal; iv) curvatura vertical. Além disso, para a definição dos limiares, foi considerada a base de UGs espacializada no item 2.3. Os seguintes modelados de acumulação foram espacializados: Planície Lacustre; ii) Planície Fluvial; iii) Terraço Fluvial; iv) Terraço Coluvionar. Quanto aos modelados de dissecação foram espacializados sete formas de relevo predominantes: i) Colinas e Morros Baixos; ii) Vertentes Convergentes; iii) Vertentes Planares; iv) Vertentes Divergentes; v) Topos de Morros Convexos; vi) Topos de Morros Tabulares; vii) Topos de Morros Estreitos ou Alongados.

2.5 Feições lineares do relevo

As feições lineares do relevo foram identificadas a partir de algoritmos, em conjunto com a interpretação visual de todas as variáveis obtidas no item 2.1.

Foram identificadas as seguintes feições do relevo:

i) linhas de escarpas erosivas: linha de corte no relevo, representado por um desnível mais abrupto. Estas linhas foram realçadas pelo filtro Sobel (que detecta bordas) na base de declividades. Em seguida, as linhas foram editadas através de interpretação visual, considerando as bases de curvas de nível e de declividades, além dos perfis topográficos;

ii) vales aprofundados e sulcos: linhas de drenagem caracterizados pela alta declividade. Estas linhas (talvegues) foram detectadas automaticamente, considerando todos os segmentos de drenagem com declividade média superior a 15%;

iii) morros testemunhos: estes morros (vetores no formato de pontos) foram detectados automaticamente. O ponto foi posicionado no topo do morro. O critério para a detecção dos pontos de morros testemunhos foi o seguinte: quando o topo de morro (tabular ou convexo) apresentar altitudes < 180 m, estiver completamente circundado por áreas de declividades > 20% e, estas, circundadas por áreas planas de terraços ou planícies;

iv) cristas: estas feições lineares foram detectadas automaticamente, sendo posicionadas em topos de morros estreitos ou alongados, exatamente sobre os divisores d'água extraídos com base nas direções de fluxo de drenagem e nas áreas acumuladas de drenagem.

3. Resultados e discussão

De acordo com a metodologia apresentada no item anterior, primeiramente, foram obtidas as delimitações dos domínios morfoestruturais e morfoesculturais para a identificação das UGs, isto é, das Unidades Geomorfológicas. De modo geral, observou-se um satisfatório detalhamento das áreas de transição entre as UGs, bem superior ao visualizado no mapa produzido pelo IBGE (2003a,b), indicando que os dados SRTM apresentam qualidades que permitem ampliar a escala de mapeamento para valores superiores a 1:250.000.

A Figura 2 apresenta a compartimentação das UGs na bacia do rio dos Sinos, RS.

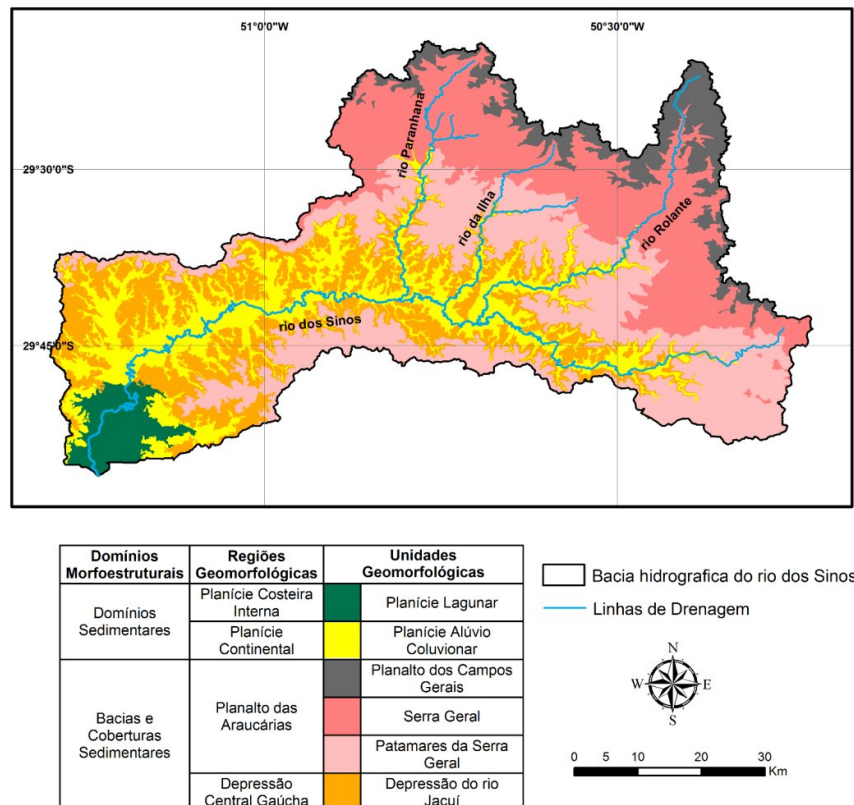


Figura 2. Unidades Geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS.

A UG Planície Lagunar é caracterizada como uma área plana, homogênea, sem dissecação, representando 3,5% da bacia (130 km²). Esta UG apresentou o seguinte limiar: áreas com altimetria < 20 m com declividades < 2%.

A UG Planície Alúvio-Coluvionar corresponde a uma superfície plana, posicionada entre a Planície Lagunar e o domínio morfoescultural do Planalto das Araucárias. Esta UG representa 18,7% da bacia (690 km²), considerando os seguintes limiares: i) áreas com altimetria < 20 m com declividades entre 2% e 8% ou; ii) áreas com altimetria entre 20 e 60 m com declividades < 8%.

A UG Depressão do Rio Jacuí é caracterizada por um relevo sem grandes variações altimétricas, apresentando colinas de topos convexos, conhecidas como coxilhas. Esta UG está localizada entre os domínios morfoesculturais Planalto das Araucárias e Planície Continental, representando 20,2% da bacia (746 km²). A UG Depressão do Rio Jacuí apresentou os seguintes limiares: i) áreas com altimetria < 60 m com declividades > 8% ou; ii) áreas com altimetria entre 60 e 180 m com declividades < 12%.

A UG Patamares da Serra Geral corresponde aos terminais rebaixados da Serra Geral. As formas de relevo predominantes são colinas e morros com pequeno aprofundamento dos vales fluviais e forte controle estrutural. Esta UG representa 27,2% da bacia (1.005 km²), considerando os seguintes limiares: i) áreas com altimetria entre 60 e 180 m com declividades > 12%, ou; ii) áreas com altimetria entre 180 e 650 m com declividades < 25%.

A UG Serra Geral constitui-se nos terminais escarpados abruptos do Planalto dos Campos Gerais, desenvolvidas sobre rochas efusivas básicas. O relevo caracteriza-se propício ao desenvolvimento e preservação da vegetação florestal, tais como a Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual e Estacional Decidual. As formas do relevo apresentam-se bastante abruptas com vales fluviais bem aprofundados. Esta UG representa 22,9% da bacia (845 km²), considerando os seguintes limiares: i) áreas com altimetria entre 180 e 650 m com declividades > 25%, ou; ii) áreas com altimetria > 650 m com declividades > 25%.

A UG Planalto dos Campos Gerais apresenta-se espacialmente descontínua, fragmentada por áreas de relevo mais dissecado. A unidade caracteriza-se por um relevo plano e conservado, representado por superfícies de aplainamento desnudadas, retocadas e degradadas. As formas do relevo evidenciam a ocorrência de processos evolutivos de dissecação, observando-se áreas bastante conservadas de morfologia planar, outras onde os processos erosivos deixaram rupturas de declive ou evidencia-se o alargamento de vales, deixando resíduos da antiga superfície de aplainamento. Esta unidade apresenta uma sucessão de colinas, separadas por amplos vales de fundo achatado, atualmente, cobertos pela cobertura vegetal dos campos. Os topos das colinas, geralmente, são planos, com rupturas de declive nas encostas. Esta UG representa 7,6% da bacia (279 km²), considerando somente as áreas com altimetria > 650 m e declividades < 25%.

Após a espacialização das Unidades Geomorfológicas, foram mapeados, de acordo com o item 2.4, os tipos de modelados predominantes na bacia do rio dos Sinos. Assim como na espacialização das UGs, verificou-se a possibilidade de detalhar os tipos de formas de relevo de modo mais preciso do que o observado na base do IBGE na escala 1:250.000.

A Figura 3 apresenta os tipos de modelados e formas de relevo predominantes na bacia do rio dos Sinos, RS. A Tabela 1 mostra o conjunto de critérios (limiares) que geraram a melhor compartimentação de tipos de modelados e a área relativa (%) de cada tipo em relação à bacia do rio dos Sinos. Observa-se que a maior parte da bacia hidrográfica do rio dos Sinos (77,8%) apresenta modelados de dissecação, com evidências marcantes de processos erosivos, tais como elevados índices de declividades e de densidade de drenagem. O padrão de formas em vertentes são os predominantes, representando 46,9% da bacia, com destaque para as vertentes convergentes (20,3%). Os modelados de acumulação representam apenas 22,2% da bacia hidrográfica do rio dos Sinos.

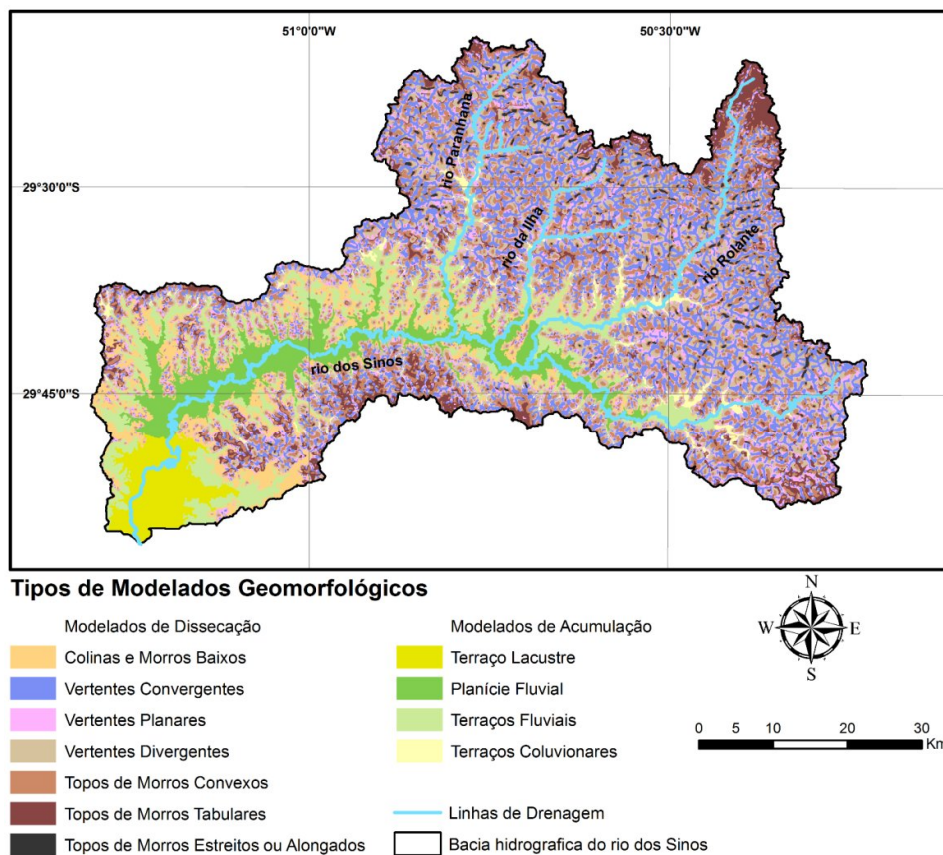


Figura 3. Modelados e formas de relevo predominantes na bacia do rio dos Sinos, RS.

Tabela 1. Critérios para a delimitação dos modelados e área relativa à bacia do rio dos Sinos.

Modelados de Acumulação	Limiares	% Área da Bacia
Planície Lacustre	altimetria < 20 m com declividades < 2%	3,5
Planície Fluvial	altimetria < 20 m com declividades entre 2 e 5%; altimetria entre 20 e 40 m com declividades < 2%	8,2
Terraço Fluvial	altimetria < 20 m com declividades entre 5 e 8%; altimetria entre 20 e 40 m com declividades entre 2 e 5%; altimetria entre 40 e 60 m com declividades < 2%	8,7
Terraço Coluvionar	altimetria entre 20 e 40 m com declividades entre 5 e 8%; altimetria entre 40 e 60 m com declividades entre 2 e 8%	1,8
Modelados de Dissecação	Limiares	% Área da Bacia
Colinas e Morros Baixos	altimetria < 60 m com declividades > 8%; altimetria entre 60 e 120 m com declividades < 8%	6,7
Vertentes Convergentes	altimetria > 60 m com declividades > 8% e curv. hor. convergente	20,3
Vertentes Planares	altimetria > 60 m com declividades > 8% e curv. hor. planar	11,2
Vertentes Divergentes	altimetria > 60 m com declividades entre 8 e 25% e curv. hor. divergente; altimetria > 60 m, declividades > 25%, curv. hor. divergente, curv. vert. retilínea ou côncava	15,4
Topos de Morros Convexos	altimetria > 120 m com declividades < 8% e curv. vert. convexa	16,4
Topos de Morros Tabulares	altimetria > 120 m com declividades < 8% e curv. vert. retilínea	6,4
Topos de Morros Estreitos ou Alongados	altimetria > 120 m, declividades > 25%, curv. hor. divergente, curv. vert. convexa	1,4

A Figura 4 apresenta as feições lineares e pontuais do relevo na bacia do rio dos Sinos, RS. Foram identificados mais de 50 morros testemunhos, mais de 150 segmentos de linha de

cristas, três grandes alinhamentos de escarpas erosivas, com rupturas marcantes na declividade do terreno, e mais de cem segmentos de linhas de vales aprofundados e sulcos. Estes valores representam um número mais detalhado destes tipos de feições em relação ao mapeamento realizado pelo IBGE, o que reforça a qualidade dos dados SRTM para atualizar a cartografia geomorfológica em escala superior a 1:250.000.

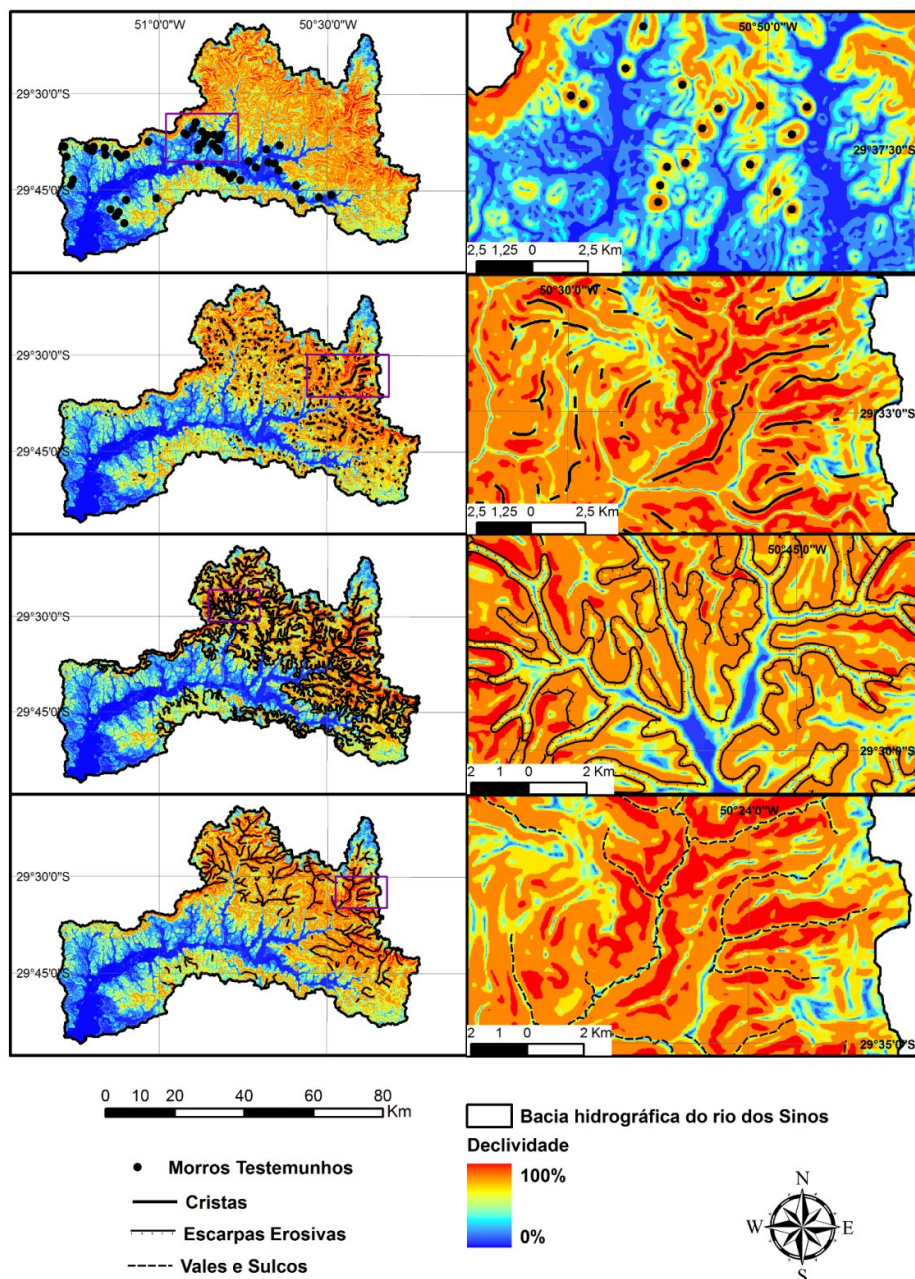


Figura 4. Feições lineares e pontuais do relevo na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS.

4. Conclusões

Este manuscrito apresentou o mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS, com base nos dados SRTM e em técnicas de geoprocessamento. Ao todo, foram identificados seis Unidades Geomorfológicas, com destaque para a UG Patamares da Serra Geral, que ocupa 27,2% da área total da bacia. Também foram mapeados quatro modelados de acumulação e sete modelados de dissecação, estes últimos compreendendo

77,8% da área total da bacia. Além disso, foram mapeadas centenas de feições lineares e pontuais do relevo, em número superior aos observados na cartografia existente.

Observou-se um satisfatório detalhamento das áreas de transição entre as UGs e tipos de modelados, bem superior ao visualizado nos mapas produzidos pelo IBGE (2003a,b), indicando que os dados SRTM apresentam qualidades que permitem ampliar a escala de mapeamento geomorfológico até 1:100.000. Os bons resultados também estão associados aos métodos utilizados, que mesclam o uso de ferramentas para extrair automaticamente variáveis morfométricas e definir limiares que classificam adequadamente as UGs e os tipos de modelados, com a utilização de interpretações visuais para refinar os contornos e manter a coerência com a base de linhas de drenagem.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Referências Bibliográficas

Christofoletti, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. (Org.). **Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2005. p. 89-110.

Hasenack, H.; Weber, E. (Org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia, 2010. DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Geomorfologia (Gravataí) SH.22-X-C**. 2003a. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/cartas_escala_250mil/sh22xc_geom.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/cartas_escala_250mil/sh22xc_geom.pdf)>. Acesso em: 20.abr. 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Geomorfologia (Caxias do Sul) SH.22-V-D**. 2003b. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/cartas_escala_250mil/sh22vd_geom.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/cartas_escala_250mil/sh22vd_geom.pdf)>. Acesso em: 20.abr. 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Geologia (Gravataí) SH.22-X-C**. 2003c. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geologia/cartas_escala_250mil/sh22xc_geol.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geologia/cartas_escala_250mil/sh22xc_geol.pdf)>. Acesso: 20.abr. 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Geologia (Caxias do Sul) SH.22-V-D**. 2003d. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geologia/cartas_escala_250mil/sh22vd_geol.pdf](http://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geologia/cartas_escala_250mil/sh22vd_geol.pdf)>. Acesso: 20.abr. 2010.

Oliveira, G.G.; Brubacher, J.P.; Quevedo, R.P.; Guasselli, L.A. Limiares de chuva para a ocorrência de desastres na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, RS. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 17., 2012, Gramado. **Anais...** Gramado: CBMET, 2012. CD-ROM. p. 1-5.

Paz, A.R.; Collischonn, W. Derivação de rede de drenagem a partir de dados SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.2, n.2, 2008. p. 84-95.

Ross, J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 9ª ed. - São Paulo: Editora Contexto, 2012.

Valeriano, M.M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2012, p. 3595-3602.

Valeriano, M.M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE-15318-RPQ/818. São José dos Campos: INPE, 2008. 73 p. Disponível em: <mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso: 6.mai. 2011.