



Reconstrução do Paleorelevo da Bacia do Alto Paranapanema com Base na Análise das Isobases Extraídas de Imagens SRTM

Adriano BRESSANE¹; Patricia Satie MOCHIZUKI²; José Arnaldo Frutuoso ROVEDA³;
Gerson Araujo de MEDEIROS⁴; Admilson Irio RIBEIRO⁵.

Resumo: O estudo da evolução da paisagem pode contribuir para o entendimento da dinâmica superficial e, assim, com a gestão sustentável do território. Logo, o objetivo do presente estudo foi a reconstrução evolutiva do paleorelevo na Bacia Hidrográfica do Alto do Paranapanema. Os principais materiais utilizados foram imagens da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Para isso, foram gerados modelos numéricos de terreno com uso de sistema de informações geográficas por meio do método das isobases confluentes. Como resultado, foram reconstruídos cinco estágios paleológicos nos quais observou-se evidências de processos que conduziram a evolução do relevo, com a definição de altos topográficos e calhas de drenagem, formados pela associação do rebaixamento em setores mais susceptíveis as intempéries e fenômenos da dinâmica interna que provocaram soerguimento de outras áreas. Conclui-se que o modelo evolutivo da paisagem baseado nas isobases confluentes proporcionou bons resultados. Contudo, para estágios mais remotos a confiabilidade da informação é comprometida pela progressiva redução do número de confluências de ordem superior, que limita os dados amostrais para interpolação e respectiva geração do modelo digital de elevação.

Palavras-chave: Isobases; Paleorelevo; SRTM.

Abstract: *The study of landscape evolution may contribute to understanding of the dynamic surface and, thus, with the territory sustainable management. Therefore, the aim of this paper was reconstruction of the Alto Paranapanema River Basin paleorelief. The main materials used were Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) images. For this, we generated numerical models of land with use of geographic information system by the method confluent base-level (isobase) maps. As results, were reconstructed five paleological stages in which there was evidence of processes that led to the relief evolution, with the definition of topographic high and drainage channels, formed by the association of downgrade in sectors most susceptible to weathering and internal dynamic phenomena that caused uplift of others areas. The conclusion is that the landscape*

¹ Universidade Estadual Paulista, Campus Sorocaba

² Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, SMA

³ Universidade Estadual Paulista, Campus Sorocaba

⁴ Universidade Estadual Paulista, Campus Sorocaba

⁵ Universidade Estadual Paulista, Campus Sorocaba

Autor para correspondência: Adriano Bressane

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais:, Avenida 3 de Março, nº 511, Sorocaba-SP, CEP 18087-180. E-mail: adriano.bressane@posgrad.sorocaba.unesp.br

Recebido em 24 de Setembro de 2014 / Aceito em 15 de Janeiro de 2015.

Revista de Geologia 28 (1), 2015.

evolution model based on confluent isobases provided good results. However, for stages more remote the reliability of information is impaired by progressive reduction in the number of confluent with higher-order, which limits the sample data for interpolation and respective generation of Digital elevation model.

Key words: *Isobases; Paleorelief; SRTM.*

1. INTRODUÇÃO

O manejo, a conservação e o controle do uso e ocupação dos solos são a base para sustentabilidade no ordenamento espacial. Entretanto, torna-se necessária uma análise integrada de múltiplos critérios, sobretudo, de fatores que atuam na gênese e evolução da paisagem, como subsídio para compreensão da capacidade suporte da área e gestão estratégica do seu território.

Para isso, estudos têm se apoiado na análise de parâmetros geoambientais integrada a construção de mapas de isobases confluentes, que constituem modelos de elevação do terreno representativos do relevo paleogeográfico em cenários evolutivos da paisagem, como observado em estudos de Grohmann, Riccomini e Chamani (2011), Diniz e Jiménez-Rueda (2010), Golts e Rosenthal (1993), entre outros. Em seu trabalho sobre a aplicação do método de isobases confluentes, Ribeiro (2010, 20p.)

“Um dos produtos de maior relevância que o método traz é a produção de paleosuperfícies pela interpolação de confluências de drenagem. Isso permite elaborar representações tridimensionais do relevo em épocas pretéritas de sua formação pela aplicação de Isobases Confluentes”.

O método teve origem em estudos descritos por Filosofov (1960 apud SPIRIDONOV, 1981) nos quais eram elaborados mapas baseados na determinação da cota em pontos de confluências da drenagem sobre cartas topográficas, referenciado pela literatura como método de Isobasitas, Isobase

Surface ou Isobases Lines. Para tanto, a delimitação da área para este tipo de análise deve corresponder a bacia hidrográfica (LEVERINGTON, TELLER e MANN, 2002).

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi gerar modelos numéricos de reconstrução do paleorelevo da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto do Paranapanema, gerando subsídios para interpretar a evolução de sua paisagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos correspondente à Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema abrange uma área de 22.500 km² na região Sudoeste do Estado de São Paulo, limitada ao Norte com o Médio Paranapanema, à Leste com a Bacia do Tietê/Sorocaba, à Oeste com a região Nordeste do Estado do Paraná e ao Sul com a bacia do Ribeira do Iguape e com o litoral Sul, possuindo como coordenada UTM central 7.380.000mN e 760.000mE, conforme Figura 1 (DAEE, 2002).

Trata-se de uma bacia com expressiva importância para a conservação ambiental, com cerca de 15% de sua área protegida por legislação que instituiu as Estações Ecológicas de Angatuba, Itaberá, Itapeva e Paranapanema, com florestas estacionais semidecíduas e formações do cerrado, além de outra porção da mata atlântica abrigada pelos Parques Estaduais Carlos Botelho e Intervalos e pela Floresta

Nacional de Capão Bonito (CURY, 2005).

Há ainda a Área de Proteção Ambiental de Corumbataí, Botucatu e Tejuπά, que se localiza parcialmente na Bacia do Paranapanema, com significativos remanescentes da vegetação de cerrado e da fauna nativa, bem como matas ciliares e pequenos fragmentos da mata mesófila encontrados no perímetro de Tejuπά.

No que se refere às atividades econômicas, a agropecuária consiste na principal atividade dentro da UGRHI 14, com destaque as culturas do café, tomate, cebola e frutas de clima temperado (uvas, pêssegos e maçãs). Ainda ocorrem atividades de extração mineral não metálica, agroindústria (couro, algodão) e têxtil (CBH-ALPA, 2003).

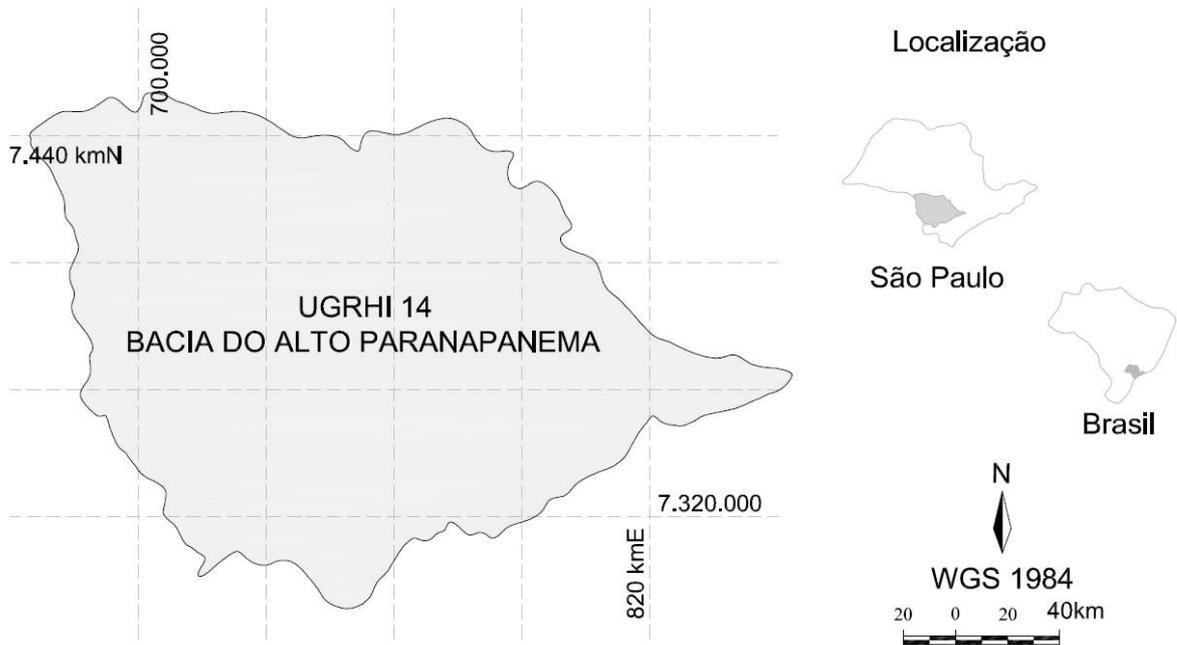


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Os modelos de declividade e hipsometria foram gerados com uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), por meio do software ArcGIS® da ESRI®. O SIG permitiu o tratamento e edição de imagens, o cruzamento de informações mediante técnicas de álgebra de mapas e respectiva geração das representações cartográficas.

Para isso, os principais materiais utilizados consistiram em imagens orbitais obtidas junto à base de dados on-line da EMBRAPA (2014), especificamente, imagens da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) em escala 1:250.000, adequadas para análises regionais como as desenvolvidas neste estudo.

Com uso do SIG ainda foi construí-

do um Diagrama de Roseta que representa a distribuição espacial dos fraturamentos na área a partir da análise da disposição dos drenos de primeira ordem, com extensão igual ou inferior a 1,5 km, sendo definidos os sentidos dos traços em intervalos de 10°. Dessa forma, variando de 0 a 180°, foi computada a frequência dos traços nas quatro direções principais (NS, EW, NE-SW e SE-NW).

2.2 Construção dos mapas de isobase confluentes

Conforme Golts e Rosenthal (1993) isobases correspondem a linhas que delineiam uma superfície erosional de mesma cota de altitude, ou ainda, uma superfície hipotética formada pela

conexão de perfis de drenagens de mesma ordem (SPIRIDONOV, 1981). Segundo Ribeiro (2010), as isobases constituem manifestações de eventos tectono-erosionais, sobretudo, movimentos recentes da crosta, representando superfícies com estágios de erosão similares.

Primeiramente, os dados para construção dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT), equivalentes aos mapas de isobases confluentes, foram gerados mediante o adensamento da drenagem sobre as imagens SRTM e a inserção de pontos sobre as interseções hídricas (confluências).

O adensamento da drenagem foi realizado com uso da ferramenta ArcHydro Tools, do ArcGIS®. Na sequência, ocorreu a ordenação da drenagem como critério de organização dos dados, que foi executada mediante a classificação e agrupamento dos pontos cotados por ordem de confluência.

Este critério se deve ao fato de que a ordem da drenagem indica a posição relativa de um dreno dentro da rede hidrográfica de uma bacia, sendo

empregado neste estudo o método proposto por Horton (1945) e aprimorado por Filosofov (1960), que atribui idade geológica relativa a cada ordem. Desse modo, a superfície gerada por cada ordem pode ser interpretada como a condição geomorfológica em diferentes fases paleogeográficas.

Conforme descrito por Ribeiro (2010), que aplicou o método no Estado do Rio de Janeiro, Brasil, a ordenação da confluência se difere da ordem que o dreno assume em cada interseção de dois segmentos de drenagem, como pode ser visualizado na Figura 2, em que os pontos são as confluências de drenagem e as linhas segmentos dessa drenagem.

Nessa figura, a ordenação da drenagem seguiu o método de Strahler (1957), entretanto, as confluências foram ordenadas seguindo o método proposto por Jiménez-Rueda e Mattos (1992), onde observou-se que duas drenagens de 1ª ordem geraram uma confluência de 2ª ordem e assim sucessivamente, mas quando uma confluência de 2ª ordem interceptava um dreno de ordem superior, formava-se uma confluência de 3ª ordem;

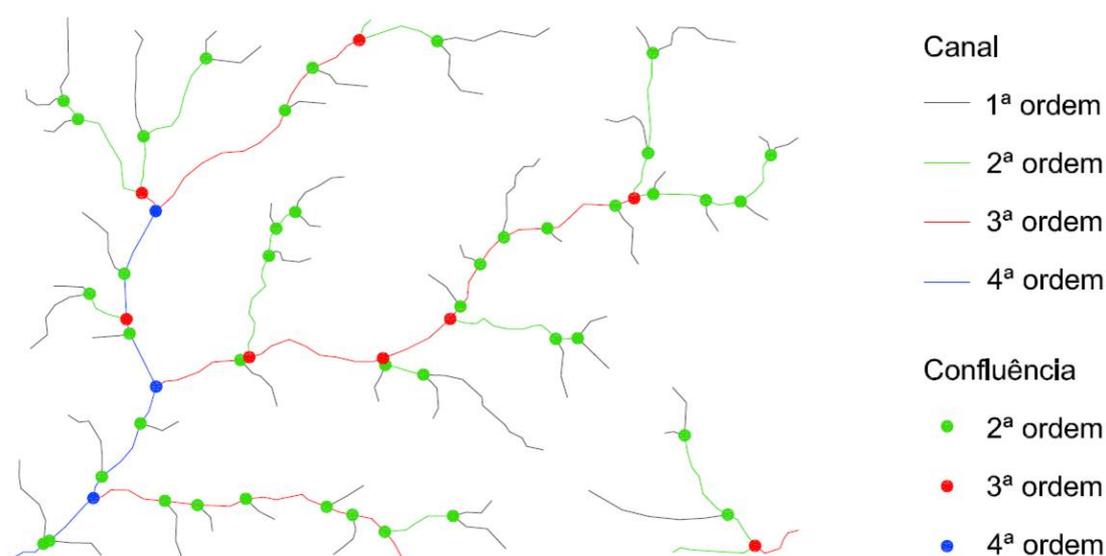


Figura 2 - Ordem de drenagens e confluências.

assim como uma drenagem de ordem 2ª ordem chegando numa de ordem superior também gerava uma confluência de 3ª ordem e assim sucessivamente.

Conforme Jiménez-Rueda e Mattos (1992), este procedimento é o mais apropriado, pois as interceptações classificadas indicam movimentos tectônicos mais recentes, posteriores à instalação do dreno de maior ordem.

Desse modo, sobre cada confluência foi amostrado um ponto cotado (x, y, z), onde x e y constituem as coordenadas de localização. Por sua vez, a ordenada z corresponde a cota altimétrica, cujos valores foram extraídos das imagens de radar SRTM, com uso da ferramenta Extract by mask do ArcGIS.

Na sequência os pontos foram organizados em camadas para cada ordem de confluência da drenagem, totalizando 5 camadas com 13128 pontos, sendo a de 2ª ordem com 6866, 3ª ordem com 4896, 4ª ordem com 1194, 5ª ordem com 116 e a 6ª ordem com 56 pontos.

A partir desses pontos, os modelos de elevação foram construídos para cada ordem, possibilitando a análise comparativa por reconstrução paleogeográfica da evolução da paisagem, mediante a interpretação visual dos MNT.

Para geração dos modelos numéricos foi executada uma interpolação entre os pontos cotados por meio da ferramenta Topo to raster do ArcGIS. Assim, este procedimento permitiu verificar se elementos, como divisores de água e fundos de vale de mesma ordem, se relacionam com eventos geológicos similares e/ou com idade próxima (GOLTS e ROSENTHAL, 1993).

Assim, a análise de isobases de confluência possibilita identificar alterações estruturais significativas, considerando que em bacias sedimentares a direção de fluxo de

drenagens de altas ordens coincide com a morfotectônica regional e que seções longitudinais de vales de mesma ordem indicam movimentos tectônicos desde o período geológico referente ao entalhe destes vales até o presente, entre outras correlações (RIBEIRO, 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A bacia do Alto Paranapanema localiza-se em uma área geologicamente muito antiga, com ocorrência de rochas metamórficas na porção Sudeste e rochas sedimentares e vulcânicas básicas constituintes da Bacia do Paraná no restante da UGRHI 14 (CBH-ALPA, 2003). Nessa bacia são encontrados solos com B textural, B latossólico, hidromórficos e pouco desenvolvidos, no qual se incluem latossolo, neossolo, cambissolo e argissolo (CURY, 2005).

Em termos geomorfológicos, ocupa duas unidades morfoestruturais distintas. A primeira corresponde ao Cinturão Orogênico do Atlântico que ocupa uma faixa na porção Leste da UGRHI 14 e possui a unidade morfoescultural do Planalto Atlântico. Por sua vez, a segunda equivale a Bacia Sedimentar do Paraná, integrada pela Depressão Periférica e o Planalto Ocidental Paulista. As formas de relevo denudacionais, representadas por morros baixos com topos convexos e altitude entre 700 e 800 metros, associados litologicamente a granitos, filitos e calcários, são as formas de relevo predominantes que também possuem como características a presença de vales entalhados e a densidade de drenagem relativamente alta com padrão dendrítico (DAEE, 2002).

Pela modelagem numérica do terreno constatou-se grande homogeneidade na declividade da área, uma vez que expressiva proporção apresentava declive inferior a 3% no

entorno da hidrografia principal e predominantemente entre 3 e 7% nas demais áreas. Contudo, declividades superiores puderam ser verificadas nas regiões periféricas, principalmente a Noroeste e Sul, mas nunca superior a 25% (Figura 3).

Pelo mapa de elevação do terreno,

com exceção das calhas hídricas, observou-se que os níveis de altitude em praticamente toda a área superam 550 metros, sendo que as áreas mais altas se situam ao Sul e Sudoeste da bacia estudada, superando em alguns trechos mais de 1.000 metros de altitude (Figura 4).

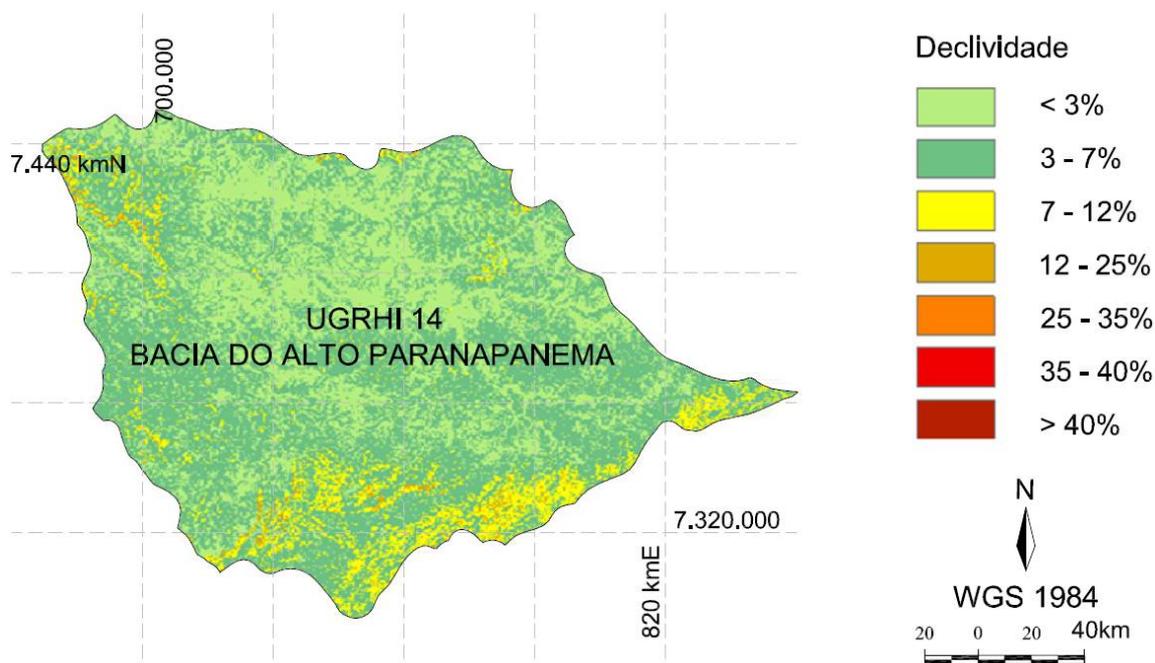


Figura 3 - Modelo clinográfico da UGRHI 14.

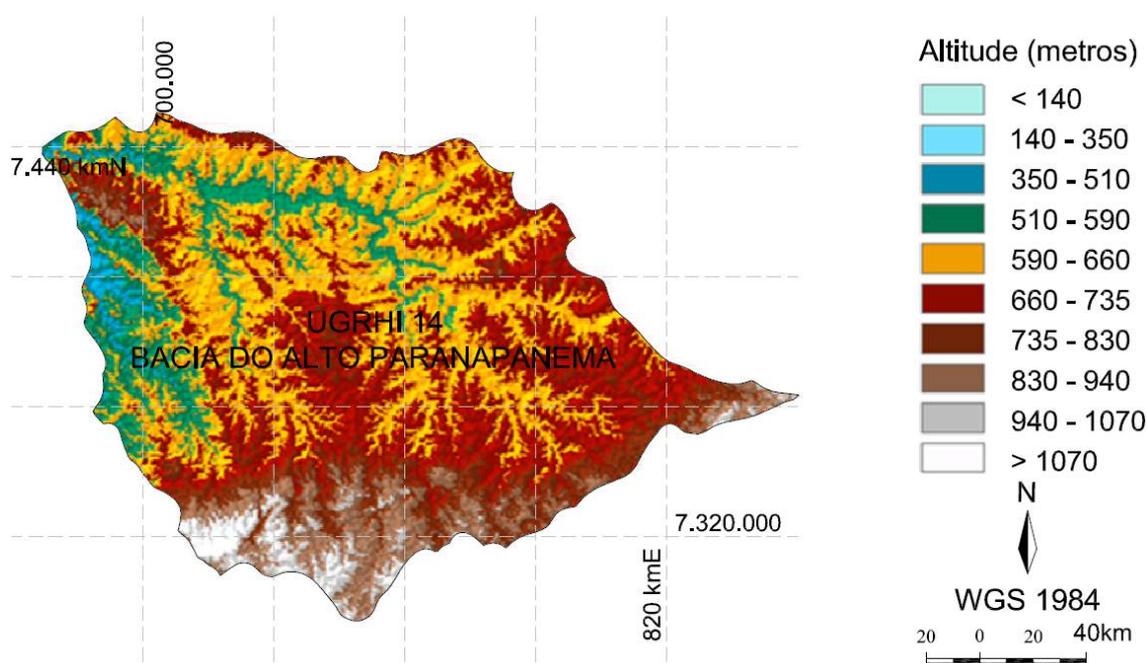


Figura 4 - Modelo hipsométrico da UGRHI 14.

Como representado em gráfico na Figura 5, embora ocorram fraturas nas direções N40-50W e N40-50E, destacadas em tons de verde, foi observada uma predominância destas entre as direções N80-90E para estruturas litológicas e entre N0-10W para as calhas dos rios, evidenciadas pelos diferentes azimutes empregados no processo de modelagem do terreno, o que pode ser confirmado através do

diagrama de Roseta, em que as direções N0-10W que apontaram o alinhamento preferencial dos cursos hídricos, o que indica a disposição predominante do fraturamento na área.

Através dos mapeamentos das diferentes ordens de isobase pode-se verificar evidências da evolução paleogeográfica da área de estudo, como ilustrado adiante (Figura 6).

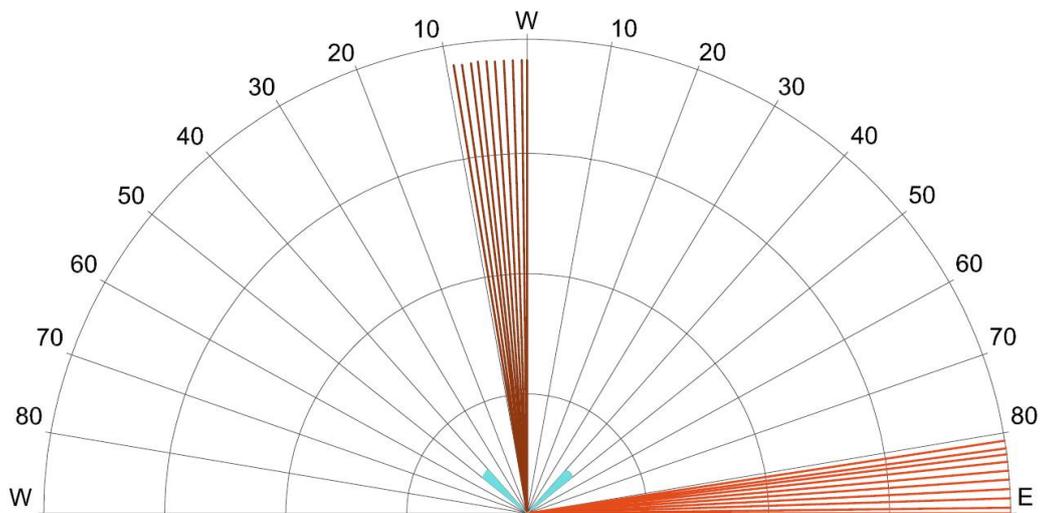


Figura 5 - Direções preferenciais dos traços de fraturas.

Ao longo do tempo observou-se as evidências de que a ocorrência de processos exógenos, provocados por agentes intempéricos e erosivos, associados aos processos da dinâmica interna da Terra (ou endógenos), conduziram a um contínuo aplainamento do terreno e a respectiva redução altimétrica da paisagem nos limites da área da bacia do Alto Paranapanema.

Com base nos MNT, notou-se que partindo das condições mais remotas representadas pelo mapa de 6ª ordem houve predominância de cotas elevadas ao Sul da área, que gradualmente diminuem em direção a sua porção central da área pesquisada. Esse processo ficou evidente pelas classes de cores esbranquiçadas e marrons situadas

na porção inferior da área de estudo.

Assim, observa-se claramente o avanço das manchas marrons sobre a área anteriormente esbranquiçada, promovendo um processo de rebaixamento topográfico até a condição representada pela cor branca-acinzentada praticamente desaparecer nos tempos mais recentes, representados pela isobase de 2ª ordem.

Outro apontamento diz respeito à contínua e crescente definição de divisores d'água e calhas de drenagem que vão se formando por processos combinados de rebaixamento mais antigo das áreas menos resistentes aos processos intempéricos e dinâmicas internas que provocam soerguimento de algumas áreas.

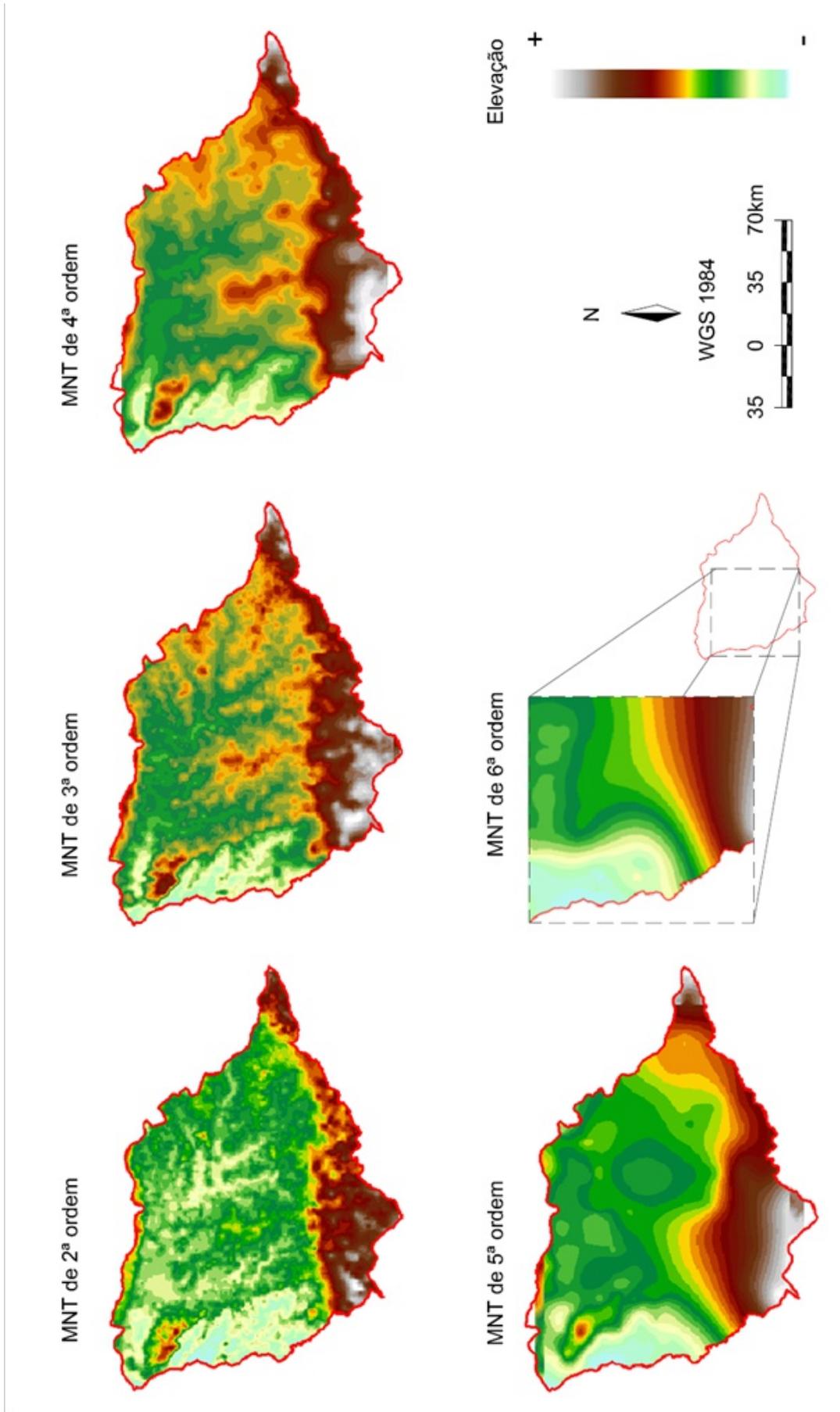


Figura 6 - Modelos Numéricos do Terreno (MNT) simulados para UGRHI 14.

Este processo ficou muito evidente na porção centro-Sul da área, na qual verifica-se um rebaixamento diferencial levando à formação de fundos de vale que passaram, mais tarde, a ser ocupados por leitos de rios que configuram a paisagem atual. Embora menos evidente, na porção Norte da UGRHI 14, sentido E-W, observou-se processo semelhante que levou a formação da calha do principal rio que corta a área.

Conforme pode ser visualizado na Figura 6, nota-se que o modelo evolutivo da paisagem baseado nas isobases confluentes proporcionou boa representatividade para as ordens inferiores, principalmente até a 4ª ordem de grandeza. Contudo, a partir da 5ª ordem observa-se maior generalização devido à redução do número de confluências de drenagem com ordens superiores e, conseqüentemente, menor quantidade de pontos cotados para interpolação e respectiva geração do modelo digital do terreno.

Assim, a confiabilidade da informação nos modelos de ordem superior fica prejudicada, sobretudo próximo aos limites da área quando não há amostragem (ordenação) em seu entorno. Dessa forma, o número reduzido de pontos amostrados nas ordens superiores pode até mesmo inviabilizar a cobertura de toda a área pelo modelo, como no caso mostrado na Figura 6 para o relevo gerado a partir das confluências de 6ª ordem.

4. CONCLUSÕES

Com a finalidade de apoiar o estudo da evolução da paisagem na Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, nesse trabalho foi aplicado o método de isobases confluentes para reconstrução do

paleorelevo através de modelos numéricos do terreno gerados com uso de um SIG e imagens SRTM.

Dessa forma, cinco estágios paleológicos foram modelados, cuja análise comparativa permitiu constatar evidências de processos, tanto exógenos, associados a intempéries, quanto endógenos, relacionados à dinâmica interna, que atuaram na conformação do relevo ao longo do tempo.

Nesse sentido, foi possível observar a formação de divisores d'água por remanescentes e soerguimentos geológicos e respectivo entalhamento das calhas de drenagem, entre as quais aquela atualmente ocupada pelo rio Paranapanema, principal curso hídrico da bacia.

Pelos resultados alcançados, conclui-se que a aplicação das isobases confluentes para modelagem do paleorelevo se mostrou adequada, proporcionando resultados capazes de apoiar a interpretação dos estágios de evolução. Entretanto, a confiabilidade da informação pode ser comprometida em função de dados amostrais reduzidos, sobretudo, para tempos mais remotos para os quais há menor quantidade de confluências com ordens superiores.

5. REFERÊNCIAS

- CBH-ALPA - Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. 2003. Plano de Bacia: UGRHI 14. Relatório Técnico Final. Editora CETEC, São Paulo, 36pp.
- CURY, J.F. 2005. A Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas: a abertura de uma oportunidade para o desenvolvimento sustentável do Alto Paranapanema (1994 - 2004). Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo, 219pp.

- DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica 2002. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Editoria DAEE, São Paulo, 119pp.
- DINIZ, S.F.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. 2010. Análise fisiográfica do vale do Rio Acaraú-CE. In SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6. Coimbra. Anais... Coimbra: 2010,p.1-16.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Base online de imagens SRTM. 2014. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 17 mar 2014.
- FILOSOVFOV, V.P. 1960. Brief Guide to Morphometric Methods in Search of Tectonic Structures. Saratov: University Publishing House.
- GOLTS, S.; ROSENTHAL, E. 1993. A morphometric map of then or thern Arava in Israel, derived from isobase lines. *Geomorphology*, 1 (7): 305-315.
- GROHMANN, C.H; RICCOMINI, C; CHAMANI, M.A.C. 2011. Regional scale analysis of landform configuration with base-level (isobase) maps. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5 (15): 1493-1504.
- HORTON, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1(56): 275-370.
- JIMÉNEZ-RUEDA, J.R; MATTOS, J.T. 1992. Monitoreo de las actividades antrópicas para la evaluación de la capacidad de soporte del medio físico: diagnostico y prognostico. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE RIESGO GEOLÓGICO URBANO, 2. Pereira. Anais... Pereira: 1992, p.181-1992.
- LEVERINGTON, D.W; TELLER, T.T; MANN, J.D. 2002. A GIS method for reconstruction of late Quaternary landscapes from isobase data and modern topography. *Comput. Geosci.* 1 (28): 631–639.
- RIBEIRO, L.S. 2010. Evolução Paleogeomorfológica do Estado do Rio de Janeiro e Arredores. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 185p.
- SPIRIDONOV, A.I. 1981. Principios de la metodologia de las investigaciones de campo y el mapeo geomorfológico. Havana: Universidad de la Havana, 658p.
- STRAHLER, N.A. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of American Geophysical Union.* 1 (38): 913-920.