

O mapeamento geomorfológico no IBGE e suas perspectivas metodológicas

Maria Luisa da Fonseca Pimenta¹
Therence Paoliello de Sarti¹

¹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais
Av. República do Chile, 500 - 20031-170 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{maria.f.pimenta, therence.sarti}@ibge.gov.br

Abstract. This work has the objective to present the methodology of current activities developed by the Geomorphology Team of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) preparing the systematic mapping of Brazil in that theme. Will also show their recent reflections on the importance of the methodological incorporation of supervised object based classification with knowledge modeling. That is, traditionally, their work was done by visual interpretation analogically with the support of radar images, and later evolved into the Geographic Information Systems and optical remote sensing products. However, with the advent of new technologies of Remote Sensing and the emergence of expert systems, the team has been reflecting about new proposals for semi-automated mapping. This would use new approaches such as the Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA) and treating geomorphometric signatures relief with fuzzy logic, particularly important, given the heterogeneity of landscapes in Brazil and the consequent difficulty of processing the data. They make it possible to improve the methodology so as to minimize the subjectivity of the interpreter for delineation of modeled and create standardized classification criteria at national level.

Palavras-chave: systematic mapping, geomorphology, object-based image analysis, mapeamento sistemático, geomorfologia, análise baseada em objetos.

1. Introdução

A geomorfologia é o ramo das geociências que tem como objetivo analisar, descrever e classificar as formas do relevo, buscando compreender as relações processuais pretéritas e atuais responsáveis por sua evolução. As técnicas utilizadas no mapeamento geomorfológico baseiam-se em diferentes etapas relacionadas à pesquisa bibliográfica e levantamentos cartográficos preliminares, trabalhos de gabinete e de campo, bem como a utilização de imagens da superfície terrestre proveniente de sensores aerotransportados e orbitais nos trabalhos de interpretação e classificação das formas (SILVA & SANTOS, 2007).

A utilização de Sensoriamento Remoto no levantamento de recursos naturais, no Brasil, teve na atuação do Projeto Radar da Amazônia (RADAM), nos anos 1970 e 1980, um marco importante nos mapeamentos sistemáticos de Geomorfologia, através do sensor radar aerotransportado de visada lateral em banda X. Este contemplou proposições e conceitos das províncias estruturais e domínios morfoclimáticos de Ab'Saber (1967 e 1970) e Cailleux & Tricart (1956), atendendo à escala final de publicação 1:1.000.000, qual foi amplamente descrito por Nunes *et al.* (1995) na primeira edição do Manual Técnico de Geomorfologia.

Posteriormente, em uma nova proposta de mapeamento em escala de maior detalhe no âmbito do Projeto do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), a equipe de Geomorfologia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) adotou como produto-base para realização de suas tarefas as imagens provenientes dos satélites *Landsat*. Este programa gerido pela *United States Geological Survey* (USGS) e pela NASA representa o mais longo e contínuo em aquisição de informações remotas da superfície terrestre para monitoramento dos recursos naturais.

O SIVAM marcou a mudança dos mapeamentos sistemáticos do setor de Levantamento de Recursos Naturais (LERN) do IBGE para a utilização de dados multiespectrais do Sensoriamento Remoto orbital aquisitadas e processadas de maneira digital. Além disso, suas etapas metodológicas passaram a estar inseridas em ambiente computacional com o uso de *software* CAD (*Compute Aided Design*) e posteriormente de SIG (Sistema de Informações Geográficas) – quais até então eram realizadas por desenhistas em fotolitos sobre imagens impressas – facilitando assim tarefas de manipulação em Banco de Dados Geográficos.

Desta feita, o presente trabalho possui como objetivo descrever as atividades desenvolvidas pela Equipe de Geomorfologia do IBGE para o desenvolvimento e conclusão do seu respectivo mapeamento na escala 1:250.000, assim como as suas perspectivas metodológicas. Isto é, apesar de tradicionalmente ele ter sido realizado por interpretação visual, que possui considerável subjetividade em função dos intérpretes, emergem novos meios de investigações automatizadas que pretendem ser explorados como forma de aumentar a precisão, eficiência e padronização deste levantamento.

2. Metodologia

A base da interpretação temática utilizada pela Equipe de Geomorfologia do IBGE atualmente é continuidade e evolução da metodologia produzida pelo Projeto RADAM, desenvolvendo uma atividade permanente, que era denominada Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais visando atualizar constantemente o mapeamento temático. Estas atividades tiveram um marco importante em 1997 com a implantação do Projeto SIVAM, que inicialmente tinha um cunho de monitoramento estratégico da Amazônia Legal, buscando identificar os terceiros e quarto táxons do relevo de acordo IBGE (2009).

O SIVAM foi um amplo projeto desenvolvido pelo governo brasileiro que previa disponibilizar grande variedade de informações para o controle e ordenamento territorial, entre eles produtos de avaliação dos recursos naturais e de impactos ambientais. Para sua consolidação, foi firmada uma parceria entre a Comissão de Implantação do Sistema de Controle do Espaço Aéreo (CISCEA) e o IBGE, para que este fornecesse informações cartográficas básicas e temáticas e auxiliasse na construção de um banco de dados (NATALI FILHO & MENEZES, 1998).

Este Projeto foi então incorporado ao IBGE e tinha como meta estruturante converter a metodologia do mapeamento sistemático para o meio digital, agora na escala 1:250.000, utilizando-se de produtos *Landsat* e do *software MicroStation*, com armazenamento em um Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) e disponibilização ao público - etapa esta que foi concluída em 2007 para a Amazônia Legal. Como o resultado foi bastante interessante e já se havia internalizado o domínio das novas tecnologias pelas Equipes, decidiu-se expandir o mapeamento para todo o país, a partir do entendimento de que a atualização de uma informação de referência deveria ficar a cargo de uma instituição federal.

Especificamente a respeito da cartografia geomorfológica, o mapeamento do SIVAM estruturou sua legenda em padrões identificados nas imagens que individualizam o relevo em diversas categorias de modelados de acordo com sua gênese. A taxonomia adotada visou proceder a análise do relevo em níveis hierárquicos relacionados aos aspectos têmporo-espaciais, que contemplam as Unidades e os Modelados Geomorfológicos como fenômenos zonais, e também identificam formas de relevo simbolizadas, aquelas que não dizem respeito a este nível de análise mas que se destacam na paisagem (BARBOSA *et al.*, 1984).

As Unidades Geomorfológicas são definidas como um arranjo de formas fisionomicamente semelhantes em seus tipos de modelados; sendo esta similitude resultante de uma determinada geomorfogênese e inserida em um processo sincrônico amplo, revelando as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas ou tectônicas. Já os modelados são identificados pela definição de sua gênese e funcionalidade e classificados em aplanamentos, de dissolução, de acumulação e de dissecação.

Para realizar este mapeamento, foram necessárias 813 cenas das imagens *Landsat* que recobriram a área de estudo (Figura 1), fornecidas para livre transferência de dados na página oficial da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DGI/INPE) dos sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Enhanced Thematic Mapper* (ETM). Estes dados foram tratados geometricamente por registro e ortorretificação pela Coordenação

de Cartografia (CCAR) do IBGE para atender à escala final pretendida e encontram-se parcialmente disponibilizadas em seu portal *online* [<http://downloads.ibge.gov.br>].

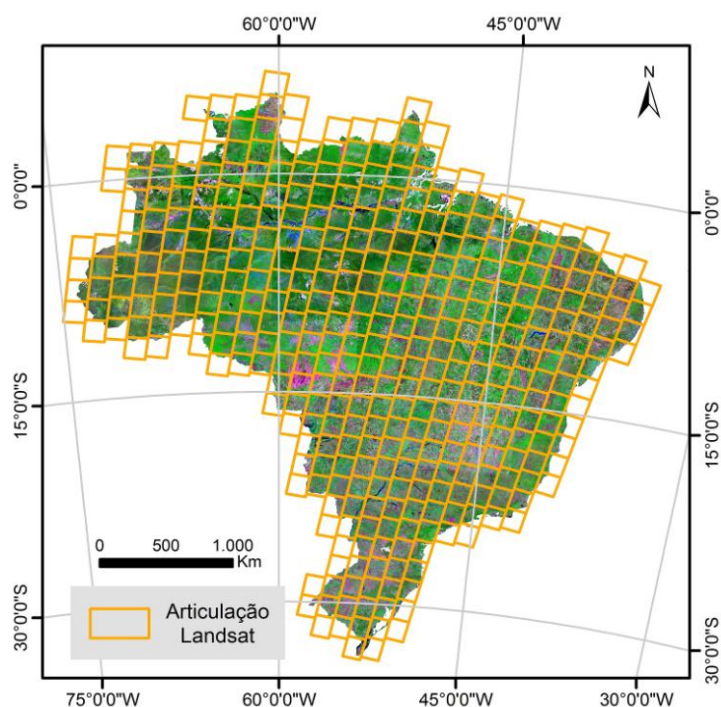


Figura 1. Recobrimento de imagens multiespectrais TM e ETM para o Brasil.

Além disso, conforme descrito por Silva e Santos (2007), posteriormente ao início do mapeamento sistemático do SIVAM, a Equipe de Geomorfologia do IBGE adotou os produtos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (Figura 2) e seus subprodutos derivados - declividade e relevo sombreado - para auxiliar nas tarefas de interpretação visual. Inicialmente, o mapeamento foi realizado em um *software* CAD, o *Microstation 7* com saída em arquivo *Design* (.dgn), utilizando a ferramenta *Place Line* para criação dos polígonos e *Place Text* para a fixação da legenda, além do auxílio da extensão *Image Analyst* para a visualização das imagens de Sensoriamento Remoto.

Outra extensão, a *Modular GIS Environmental* (MGE) era utilizada para realizar as correções topológicas e fazer as ligações das informações vetoriais com as alfanuméricas armazenadas em um Banco de Dados *Oracle* versão 7, através da indexação da informação por meio de um centróide. Posteriormente, a versão 11 permitiu a incorporação no banco de informações geoespaciais, em formato vetorial, esta migração foi feita no SIG *GeoMedia Professional* 6.1.

Nele, através da importação dos dados (*Display CAD Files*), era realizada a transformação das linhas de modelados em polígonos (*Insert Area by Face*) associação das informações alfanuméricas aos vetores (*Agregation*) e exportação para formato pretendido (*Output to Feature Classes*). Este mesmo software passou a ser utilizado na aquisição das informações de relevo e classificação em modelados por meio da criação de polígonos no formato vetorial (.mdb) por ferramentas de edição (*Insert Feature*) e manipulação de tabelas, inseridos em um projeto *Geoworkspace* (.gws).

Contudo, apesar da trajetória na história da Cartografia Geomorfológica marcada pela fotointerpretação - e as atividades da LERN refletem isto - atualmente, o Processamento Digital de Imagens (PDI) e a superação da análise no nível do *pixel* brindam às análises ambientais grande potencialidade. Isto porque, sobretudo em se tratando de formas de relevo, há uma necessidade intrínseca ao fenômeno de classificação contextual para extração e

classificação, o que vem sendo propiciado pela *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA), à exemplo de Camargo (2008) e Draugut & Blaschke (2006).

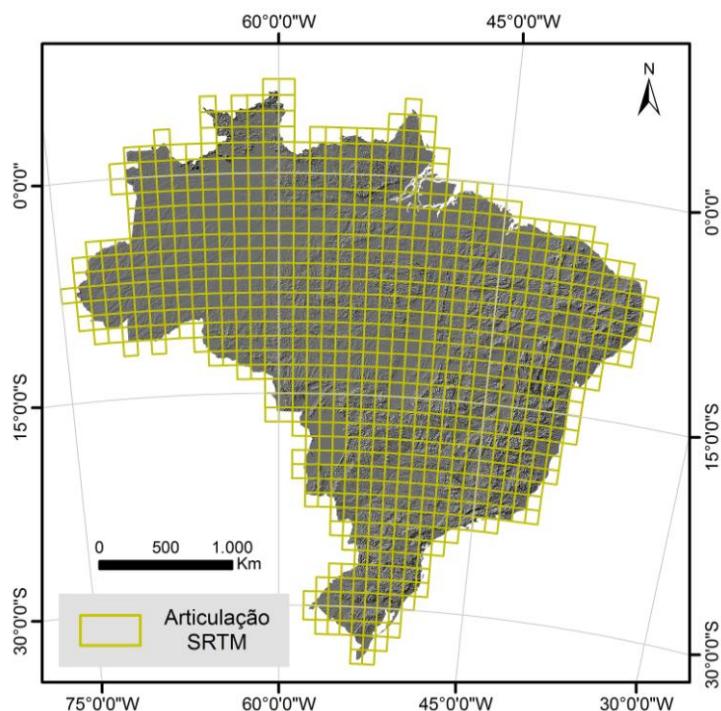


Figura 2. Cenas do SRTM utilizadas para o território brasileiro.

Sendo assim, uma das ferramentas mais sofisticadas que se estabeleceu foram os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), muito eficazes nos estudos de compartimentação do relevo e atualmente bastante difundidos na área de mapeamento geomorfológico. E, ainda, paralelamente, os avanços na ciência da computação tem propiciado o desenvolvimento de sistemas computacionais especialistas para análise de dados geográficos e automação de tarefas de mapeamento (CAMARGO, 2008), à exemplo do *eCognition* e do *InterIMAGE*.

Os MDEs, além de permitirem a visualização do espaço tridimensional, o que sobremaneira facilita a sua interpretação e análise, colocam-se como primordiais ao estabelecimento de assinaturas geomorfométricas da variedade de feições que compõe os domínios morfoclimáticos brasileiros. Esta grande questão coloca-se como fundamental para a busca de uma maior uniformização na atividade de mapeamento do relevo do Brasil, além de contribuir para a agilização e eficácia de sua execução; por isso, pretende-se realizar testes para inserir tais etapas metodológicas nas tarefas da Equipe de Geomorfologia do IBGE.

3. Resultados e Discussões

O LERN é um projeto desenvolvido pela Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (CREN) do IBGE que tem por objetivo realizar o mapeamento sistemático e contínuo de aspectos físicos e bióticos com armazenamento no BDIA. Tradicionalmente, a interpretação deste mapeamento é baseada na interpretação visual de imagens orbitais de sensores ópticos e de produtos derivados na obtenção de modelados de relevo.

Com exceção do modelado de dissolução - que possui limites delineados pela sua composição litológica (rochas carbonáticas) - a delimitação dos modelados do relevo é feita tendo-se em conta a rugosidade do relevo, através da observação pelo intérprete nas imagens *Landsat* e *SRTM* (Figura 3). Sobre elas, delimitam-se porções da superfície terrestre que possuem características semelhantes como amplitude altimétrica, declividade das vertentes, densidade de drenagem e/ou tonalidades em função do condicionamento ao uso da terra.

Seguindo este raciocínio, áreas formadas por conjuntos de colinas, por exemplo, com declividades fracas e amplitudes altimétricas pequenas, são separadas de áreas de relevo mais movimentado como os montanhosos que possuem maiores declividades e amplitudes, assim como as suas transições (Figura 3a). A densidade de drenagem também é um elemento de interpretação dos produtos do Sensoriamento Remoto, pois evidencia padrões finos (grande quantidade de canais fluviais por unidade de área) a grosseiros, caracterizando as dissecações.

As superfícies planas também são delimitadas neste processo: elas representam a ocorrência de acumulação de sedimentos e revelam as planícies fluviais, lacustres, lagunares e/ou marinhas, que podem ser periodicamente inundadas. Estas áreas possuem composições fitológicas distintas do entorno, que pode ser percebidas pela tonalidade dos *pixels* das imagens orbitais, além da não-presença de sombras (Figura 3b). Devido à limitação representacional da escala e a de espaço no presente trabalho, o mapeamento completo não pode ser exposto, por isso foram escolhidos dois recortes à título de exemplificação.

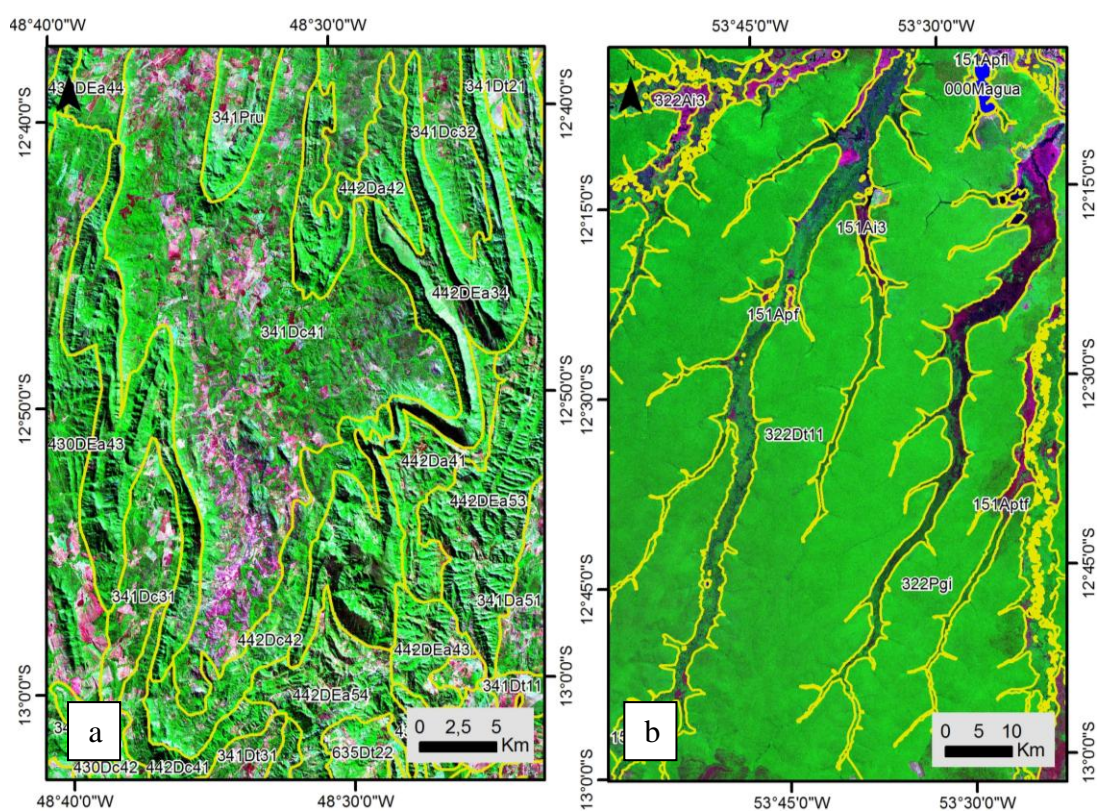


Figura 3. Trechos do mapeamento geomorfológico do IBGE. Legenda: Unidade Geomorfológica + Modelado do Relevo. Destaca-se em (a) o DEa, dissecação estrutural de topos aguçados, e em (b) o Apf, acumulação em planície fluvial. Imagem Geocover2000.

Atualmente, este mapeamento encontra-se em fase de finalização (Figura 4), com as folhas já concluídas publicadas e disponibilizadas em parte na página oficial do IBGE – aquelas que dizem respeito ao Projeto SIVAM – no espaço dos Downloads dedicado às Geociências, especificamente no Bando de Dados Georreferenciados dos Recursos Naturais em Mapeamento Sistemático. As demais folhas encontram-se também no visualizador *web* da INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais) em <http://www.visualizador.inde.gov.br/>, quais podem ser buscadas via ‘Tema’ [Geomorfologia] ou ‘Instituição’ [IBGE].

A folha que se encontra em etapa inicial de compilação de dados – SF-22, Paranapanema – foi escolhida como área-teste para a pesquisa metodológica, e também futuramente em nível de resultados, à Cartografia Geomorfológica sistemática a partir de procedimentos semi-automatizados de análise e classificação do relevo, valendo-se de variáveis derivadas dos

MDEs, através de uma análise baseada em objetos extraídos da superfície terrestre, em sistemas computacionais especializados, empregando procedimentos hierárquicos, lógica *fuzzy* e modelagem do conhecimento, de acordo com as etapas da Figura 5.

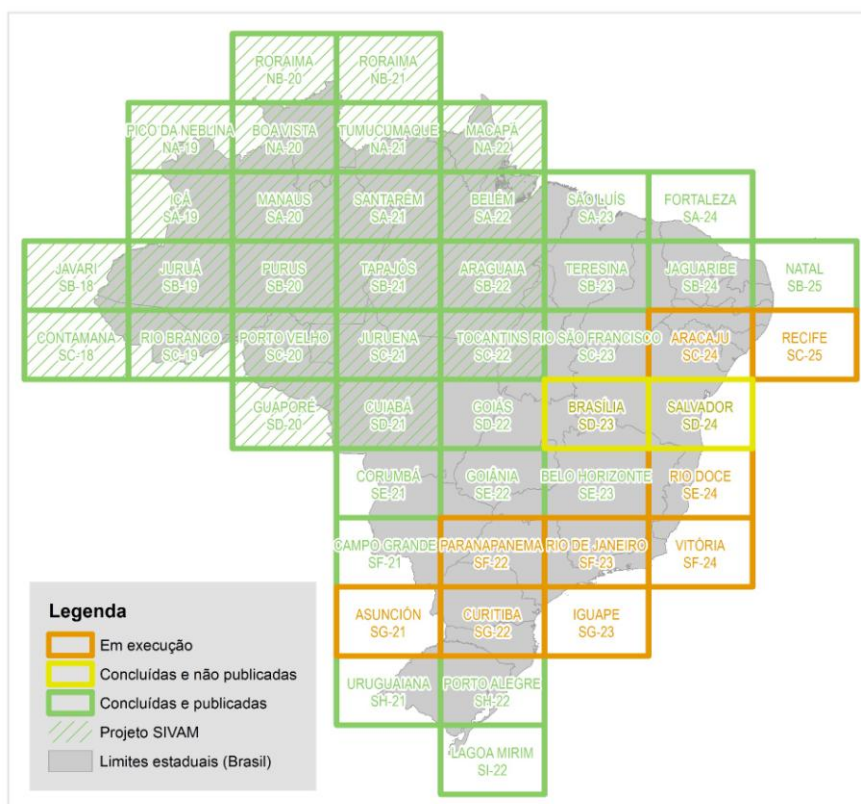


Figura 4. Situação do mapeamento geomorfológico do IBGE na escala 1:250.000.

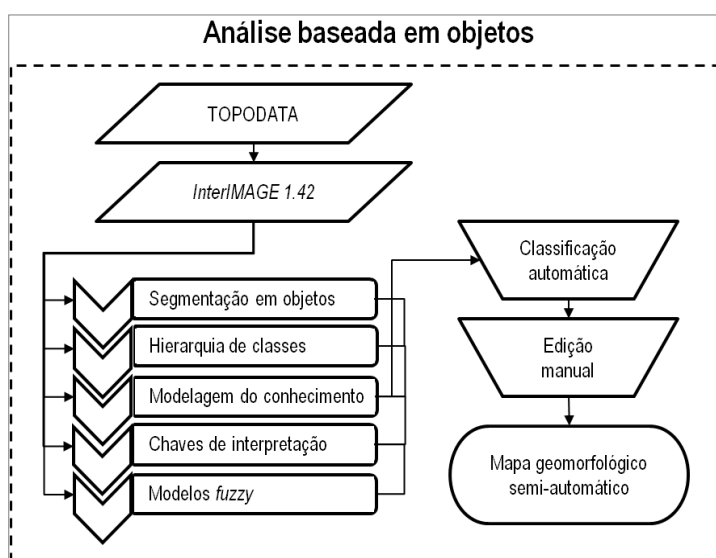


Figura 5. Fluxograma metodológico para mapeamento semiautomatizado.

Os MDEs representam uma importante fonte de dados sobre as características fisiográficas naturais do terreno e admitem a extração de suas variáveis geomorfológicas e texturais. De tal modo, as correlações implementadas dar-se-ão entre os seus dados de altitude e seus subprodutos: a declividade do terreno e o relevo sombreado; ambos elaborados no

âmbito do projeto TOPODATA (VALERIANO, 2005) e disponíveis para *download* gratuito em sua página oficial [www.dsr.inpe.br/topodata].

O *InterIMAGE* é um sistema computacional especialista (SE) que realiza tarefas de interpretação de imagens empregando estratégias de armazenamento e replicação do conhecimento por raciocínio heurístico. Nele, por meio de modelos com base em malhas (*frames*), redes semânticas hierárquicas são estabelecidas, oriundas da Análise Baseada em Objetos, onde o objeto combina em uma única entidade sua estrutura (atributos) e seu comportamento (operações) e estabelece relações com os demais (PAHL, 2008).

Para a obtenção dos objetos de análise, será empregada nas imagens TOPODATA a segmentação multirresolução – ela permite segmentar uma imagem em níveis que relacionam-se entre si – a partir de um algoritmo desenvolvido para extrair segmentos espectralmente homogêneos com base tanto no valor do *pixel* quanto na forma do objeto, e que são definidos pelos Planos de Informação inseridos – a ambos podem ser atribuídos pesos – e por um parâmetro de escala, que determinará a heterogeneidade máxima permitida baseada no crescimento de regiões (*ibid.*).

Com o intuito de analisar a informação semântica contida nos objetos, será elaborada uma classificação supervisionada baseada em objetos, objetivando seu reconhecimento automático, agrupando-os em classes a partir da mesma estrutura de dados em função dos critérios estabelecidos na modelagem do conhecimento. As redes hierárquicas estabelecidas entre as classes dizem respeito ao compartilhamento de atributos e operações entre os objetos, podendo ser definidas de forma abrangente e depois refinadas em sucessivas subclasses mais, herdando as características e acrescentando suas próprias (RUMBAUGH *et al.*, 1994).

O algoritmo implementado para classificação refere-se à aplicação de descritores de classe, qual permite a combinação de exigências que os segmentos devem atender para se tornarem membros de uma classe. Nesta etapa classificatória, as classes sintetizam o significado semântico dos segmentos respondendo pelo agrupamento de objetos que atendem ao mesmo comportamento. Através dele, pode-se inserir múltiplas condições combinadas por operadores lógicos e utilizar funções de pertinência *fuzzy* para os limiares estabelecidos (ZADEH, 1996) e gerar um mapeamento.

Para a elaboração das chaves de interpretação que caracterizaram os modelados do relevo, e seus respectivos limiares de classes, serão consultadas as pesquisas geomorfológicas realizadas na área, assim como mapeamentos preexistentes, a exemplo de RADAMBRASIL (inédito). Assim, espera-se iniciar a sistematização de assinaturas geomorfométricas para o quarto táxon, sobretudo de acordo com seus padrões de declividade, amplitudes, formas de topo e curvaturas. Esta atividade irá contribuir futuramente para revisões nas demais folhas mapeadas assim como para o estabelecimento de um retrato da geomorfologia brasileira.

Salienta-se que, paralelamente à esta inovação metodológica na Geomorfologia do IBGE, está sendo realizado em outro ambiente de produção o mapeamento da maneira tradicional, qual será utilizado para futuras comparações. Ou seja, ele servirá tanto de base para validação da classificação geomorfológica semi-automática para a Folha Paranapanema, quanto para a avaliação de potencialidades e limitações de cada uma das metodologias, buscando conciliá-las e encerrar um conjunto de etapas coerentes e consistentes que podem ser replicadas.

4. Considerações finais

Conforme exposto em Nunes *et al.* (1995), para a definição do relevo, além da forma, critérios morfométricos como o grau de aprofundamento das incisões conjugado com a densidade de drenagem auxiliam na caracterização geomorfológica, fornecendo classes quantificáveis. À época, por conta de restrições técnicas, estas foram implementadas de maneira subjetiva por interpretação visual; contudo, atualmente, com o advento de novos produtos e meios de análises, é possível aumentar sua precisão e padronização.

Com isto, através do desenvolvimento futuro deste trabalho, pretende-se aprimorar o mapeamento temático sistemático do Brasil por meio de avaliações e ponderações da GEOBIA para que possa ser incorporado oficialmente. Há necessidade de entendimento específico na utilização de seus algoritmos, adaptados à escala de análise, assim como o reconhecimento de uma síntese híbrida com a metodologia tradicional, efetivando um conjunto de técnicas consistentes e concisas ao fenômeno observado.

Referências bibliográficas

Ab'Saber, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos do Brasil. **Geomorfologia** (Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo), v. 15, p. 1-26, 1970.

Ab'Saber, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação** (Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo), v. 3, p. 45-48, 1967.

Barbosa, G. V.; Silva, T. C.; Natali Filho, T.; Del'Arco, D. M.; Costa, R. C. R. **Evolução da Metodologia para Mapeamento Geomorfológico do Projeto Radambrasil**. Salvador: Projeto Radar da Amazônia e do Brasil: 1984. 187 p. (RADAMBRASIL-Nº1-P.187).

Cailleux, A.; Tricart, J. *Le problème de la classification des faits géomorphologiques*. **Annales de Géographie**, V.65, Nº 349, p. 162-186, 1956.

Camargo, F. F. **Análise Orientada ao Objeto Aplicada ao Mapeamento de Unidades Geomorfológicas a partir de Dados ASTER/Terra**. 2008. 171 p. (INPE-15253-TDI/1339). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

Dragut, L.; Blaschke, T. *Automated classification of landform elements using object-based image analysis*. **Geomorphology**, v. 81, n. 3-4, p. 330-344, 2006.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. 175 p.

Natali Filho, T. Menezes, W. C. Sistema de Informações territoriais relativo à Amazônia Legal. In: Seminário do Projeto SIVAM, I, 1998, Manaus. **Anais...** Rio de Janeiro: Comissão Coordenadora do Sistema de Vigilância da Amazônia, 1998. p. 515-526.

Nunes, B. A.; Ribeiro, M. I. C.; Almeida, V. J.; Natali Filho, T. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1995. 178 p.

Pahl, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores**. 2008. 93 p. (INPE-15211-TAE/71). Dissertação (Mestrado em Eletro-Técnica e Tecnologia da Informação) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008.

RADAMBRASIL. **Mapa Geomorfológico - Folha Paranapanema (SF-22)**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: inédito.

Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlani, W.; EDDY, F.; Lorensen, W. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. Rio de Janeiro/RJ: Campus, 1994. 652 p.

Silva, J. E. B.; Santos, P. R. A. A utilização dos modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2007, p. 4261-4266. Acesso em 03 de nov. de 2014.

Valeriano, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos, INPE, 2005. p. 1-8. Acesso em 03 de nov. de 2014.

Zadeh, L. A. *Fuzzy sets*. In: KLIR, G. J.; YUAN, B. (Org.). **Advances in fuzzy systems - applications and theory: fuzzy sets, fuzzy logic and fuzzy systems**. Binghamton: World Scientific, 1996, Cap. 1, p. 19 - 34.