

Análise Orientada a Objeto Aplicada à Classificação de Unidades de Relevô

Flavio Fortes Camargo
Teresa Gallotti Florenzano
Cláudia Maria de Almeida
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{ fortes, teresa, almeida }@dsr.inpe.br

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver uma metodologia semi-automatizada de mapeamento de unidades de relevô, utilizando análise orientada a objeto (AOO). A área de estudo é o município de São José dos Campos (SP). Com esse intuito, utilizou-se uma rede semântica hierárquica multinível para armazenamento e replicação do conhecimento do especialista/geomorfólogo, além de lógica *fuzzy* e um conjunto de variáveis multispectrais, texturais e geomorfométricas. A avaliação da classificação foi realizada a partir de estatísticas derivadas de uma matriz de erros, considerando os objetos ou regiões de segmentação, obtida da comparação com um mapa de referência. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que AOO é uma metodologia viável para a semi-automatização de procedimentos relacionados ao mapeamento de unidades de relevô.

Palavras-chave: Geomorfologia; Segmentação Multiresolução; Análise Orientada a Objeto; Rede Semântica Hierárquica.

ABSTRACT

The aim of this research was to develop an object-based methodology for semi-automatic mapping of relief units. The study area is the municipality of São José dos Campos, located in São Paulo State, Brazil. For this end, a multilevel hierarchical semantic network (meant for the storage and reproduction of expert knowledge) together with fuzzy logic and a set of multispectral, textural, and geomorphometric variables were used. The classification assessment was made by object-based statistical indices derived from an errors matrix, obtained by means of a comparison between the classified scene and a reference map. Based on the obtained results, the object-based approach has shown to be a suitable method for mapping relief units.

Key words: Geomorphology; Multiresolution Segmentation; Object-Based Analysis; Hierarchical Semantic Network.

1 Introdução

Mapas geomorfológicos representam uma fonte de dados imprescindível em estudos e atividades de intervenção no meio físico. Esses mapas fornecem informações relevantes às pesquisas geomorfológicas e, também, são úteis em atividades aplicadas, tais como inventários de recursos naturais, prevenção de desastres e planejamento urbano e rural (EMBLETON; VERSTAPPEN, 1988).

O Sensoriamento Remoto é uma das principais fontes de dados para as atividades de mapeamento geomorfológico. Desde o início, as fotografias aéreas têm sido amplamente utilizadas em procedimentos monoscópicos e estereoscópicos de interpretação visual (ZUIDAM, 1986). Atualmente, uma ampla gama de novos sensores, aerotransportados e orbitais, adquire dados nas faixas espectrais do visível e de microondas. Aliado a isso, métodos fotogramétricos, radargramétricos, interferométricos e de varreduras a laser possibilitam a extração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), úteis às atividades de mapeamento geomorfológico.

Recentemente, sensores ópticos orbitais, tais como o HRS/SPOT, o ASTER/Terra (TOUTIN, 2001) e o PRISM/ALOS (IGARASHI, 2001), fornecem imagens estereoscópicas com geometrias de visada adequadas à extração de MDEs, utilizando métodos fotogramétricos. Além disso, a radargrametria (PARADELLA et. al., 2005) e a interferometria (RODRIGUEZ et. al., 2005) também têm sido úteis no mapeamento topográfico, pois sensores de microondas são menos susceptíveis à cobertura de nuvens.

Paralelamente ao avanço tecnológico dos sensores, o desenvolvimento das ciências da computação tem propiciado a concepção de sistemas sofisticados para análise de dados geográficos e automação de tarefas de mapeamento. A automação é realizada por meio de sistemas computacionais convencionais (SCs) ou sistemas computacionais especialistas (SEs). Os SCs realizam processamento algorítmico e são guiados pelas variáveis estatísticas dos dados, enquanto os SEs empregam estratégias de armazenamento e replicação do conhecimento (MOORE, 2000).

Redes semânticas, oriundas da metodologia de Análise Orientada a Objeto (AOO), têm sido empregadas na realização dessas estratégias (MOORE, 2000). Essas redes consistem em grafos que formalizam e representam o conhecimento humano por meio de um conjunto de nós conectados por arcos. De modo geral, os nós representam objetos, e os arcos, as relações entre eles (BITTENCOURT, 2006).

O objeto, unidade básica dessa metodologia, combina estrutura (atributos) e comportamento (operações) dos dados em uma única entidade. As principais características dos objetos são: (i) identidade, (ii) classificação, (iii) polimorfismo e (iv) herança (RUMBAUGH et al., 1994). Os SEs também utilizam lógica *fuzzy* para tratar incertezas e, por conseguinte, emular o raciocínio humano inexato (MOORE, 2000).

Atualmente, há o SE comercial Definiens® que realiza tarefas de interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto. Esse SE, utilizado no presente trabalho, emprega segmentação multi-resolução (na obtenção dos objetos da análise), redes semânticas hierárquicas (armazenamento e representação do conhecimento) e lógica *fuzzy* (tratamento de incertezas) (BENZ et. al., 2004). Há exemplos da aplicação dessa plataforma em atividades semi-automatizadas de mapeamento geomorfológico (ASSELEN; SEIJMONSBERGEN, 2006) e na classificação de unidades geomorfométricas (DRAGUT; BLASCHKE, 2006).

Em vista do exposto, constata-se que a cartografia geomorfológica dispõe atualmente de um conjunto de tecnologias que possibilitam o avanço das pesquisas puras e aplicadas sobre o meio físico. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia semi-automatizada de mapeamento de unidades de relevo a partir de uma abordagem que se baseia em conhecimento especialista e variáveis derivadas de MDE ASTER/Terra.

2 Área de Estudo

A área de estudo, com 1.098,6 km², é o município de São José dos Campos (SP), localizado no médio vale do rio Paraíba do Sul (Figura 1). Esse município foi selecionado para análise em face da sua diversidade morfológica, existência de estudos anteriores e facilidade de acesso.

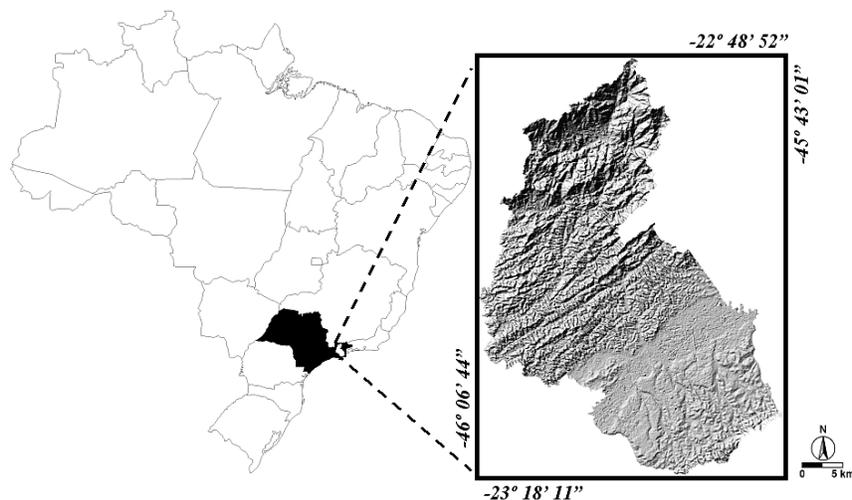


Figura 1 – Localização da área de estudo.

O médio vale do rio Paraíba do Sul está inserido em um sistema de montanhas constituído das Serras do Mar e da Mantiqueira. Esse sistema é a mais destacada feição orográfica da borda atlântica do continente sul-americano e sua história evolutiva data do Pré-Cambriano (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998). Destacam-se, em ordem cronológica, três grandes conjuntos de eventos responsáveis pela configuração fisiográfica dessa área: (i) sucessivas interações entre placas continentais (no Proterozóico) que formaram faixas móveis acrescionárias, colisionais e transpressionais (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998); (ii) geração da superfície de aplainamento Japi (entre o Cretáceo Superior e o Terciário Inferior) por meio da erosão de corpos rochosos (ígneos e metamórficos, principalmente) (ALMEIDA, 2000); e (iii) tectogênese (início no Paleógeno) e preenchimento de hemi-grábens com sedimentos cenozóicos (ALMEIDA, 2000).

Esses processos definiram as características litológicas e geomorfológicas da área de estudo. Com relação à litologia, esta é composta de rochas cristalinas (ígneas e metamórficas) dos complexos: (i) Amparo, (ii) Embu, (iii) Paraíba do Sul e (iv) Paraisópolis. Ocorrem também rochas sedimentares da formação Taubaté (Terciário Superior) e depósitos quaternários (aluviões). Nos complexos citados, predominam gnaisses (datando do Arqueano ao Proterozóico Médio) e suítes graníticas sin e pós-tectônicas (Proterozóico Superior), ambos ocasionados pelas movimentações crustais da orogênese Brasileira (Pré-Cambriano) (DNPM, 1983).

Nas rochas cristalinas, a geomorfologia da área de estudo é caracterizada por morrotes, morros e montanhas, cujos valores de amplitude altimétrica, dissecação do relevo e declividade aumentam progressivamente a partir da primeira classe. Em terrenos sedimentares ocorrem planícies aluviais, terraços e colinas terciárias (FLORENZANO; CSORDAS, 1993).

3 Metodologia

3.1 Material

As variáveis empregadas na classificação e a referência para a validação foram geradas no trabalho de Camargo (2008), o qual as apresenta em detalhes. Assim, um conjunto de variáveis (multiespectrais, geomorfométricas, texturais etc.) foram empregadas na segmentação e classificação das unidades de relevo, e um mapa geomorfológico de referência,

obtido da interpretação visual de imagens estereoscópicas do sensor ASTER/Terra, foi utilizado na validação dos resultados. O Quadro 1 apresenta as variáveis do modelo cognitivo.

Quadro 1 – Resumo das variáveis do modelo cognitivo.

Tipo de variável	Descrição
Multiespectral	Banda ASTER 3N (0,78 – 0,86 μm), ortorretificada.
Geomorfométrica	Altimetria (MDE ASTER) Declividade Orientação de vertentes Curvatura vertical Curvatura horizontal
Textural	Segundo momento angular Entropia Desvio padrão
Outras	Imagem temática da rede de drenagem Grade de fluxo acumulado Relevo sombreado

3.2 Legenda

A legenda segue a proposta do sistema ITC (VERSTAPPEN; ZUIDAM, 1991) e destaca os aspectos morfogenéticos, por meio de denominações específicas e cores. As classes da legenda são as seguintes: (i) Serras/Montanhas/Morros (roxo), (ii) Colinas Sedimentares (marrom), (iii) Planícies Fluviais (verde escuro) e (iv) Alvéolos/Planícies Fluviais Intermontanas (verde claro). A nomenclatura foi adaptada de IPT (1981).

3.3 Segmentação

Foram gerados três níveis de segmentação: no nível 1, delimitaram-se os reservatórios ou corpos d'água; no nível 2, as unidades de relevo, e, no nível 3, a densidade de drenagem. Essa foi obtida a partir da razão entre a área da rede hidrográfica e a área de cada objeto no nível 3, tendo sido posteriormente empregada como um atributo para a classificação do nível 2. Os objetos são pequenos no nível 1 e aumentam progressivamente até o nível 3.

Devido à dependência entre os limites dos objetos (pertencentes a diferentes níveis), as segmentações dos níveis 1 e 3 foram realizadas separadamente, em projetos distintos. Isso foi necessário porque, para o cálculo da densidade de drenagem, os canais foram segmentados em um fator de escala muito pequeno. O mesmo ocorreu na segmentação dos reservatórios. Dessa forma, os resultados foram incorporados à rede com três níveis, de

modo que não comprometeram a segmentação das unidades de relevo (nível 2). Na Tabela 1, são apresentados as variáveis e os parâmetros empregados na segmentação. Para maiores detalhes sobre os parâmetros, consultar Benz et. al. (2004).

Tabela 1 – Variáveis e parâmetros (e = fator de escala; c = cor; f = forma; comp. = compacidade e suav. = suavidade) utilizados na segmentação das unidades de relevo.

Nível	Variável segmentada	e	c	f	comp.	suav.
(1) Reservatórios	Banda 3N (número digital)	30	0,8	0,2	0,5	0,5
(2) Unidades de relevo	Altimetria (MDE ASTER)	50	0,7	0,3	0,3	0,7
(3) Densidade de drenagem	Imagem temática da hidrografia	25	0,9	0,1	0,5	0,5
	Relevo sombreado	200	0,1	0,9	0,5	0,5

Na segmentação das unidades de relevo (nível 2), foram utilizados o MDE e os parâmetros destacados por Asselen e Seijmonsbergen (2006). Cabe salientar que edições manuais foram realizadas para a correção de erros na delimitação das unidades de relevo e nas classificações dos níveis 1 e 3.

3.4 Seleção de atributos e classificação

Empregaram-se histogramas com valores amostrais dos atributos, calculados a partir dos objetos da segmentação. A Tabela 2 apresenta os atributos das unidades de relevo. Verifica-se a sobreposição de valores/intervalos, em algumas classes. Essa confusão foi minimizada através: (i) da utilização do operador *fuzzy* AND e suas funções flexíveis; e (ii) a partir do conceito de herança oriundo da AOO. Esse conceito permitiu a criação de subclasses (Tabela 3), as quais identificaram os objetos corretamente classificados (acertos) e aqueles referentes aos erros de comissão.

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados, respectivamente, os atributos empregados nas classificações dos corpos d'água e da densidade de drenagem. Na Tabela 6, encontram-se os atributos das subclasses de erros de comissão, utilizadas no refinamento da densidade de drenagem.

Após esse processo de análise exploratória de atributos, definiu-se a rede semântica hierárquica (Figura 2), empregada no armazenamento do conhecimento especialista e na interpretação e classificação das unidades de relevo.

Tabela 2 – Atributos das unidades de relevo e reservatórios.

Unidades	Atributos
Serras/Montanhas/Morros	alta densidade de drenagem (nível 3); média da altimetria entre 572 – 2100m; média da declividade entre 4,9° – 34,9°.
Colinas sedimentares	média da altimetria entre 560 – 688m; média da entropia entre 1,2 – 2,2; média da declividade entre 2,5° – 12°.
Planícies Fluviais	média da entropia entre -0,01 – 1,5; média da declividade entre 1,4° – 10°.
Alvéolos/Planícies Fluviais Intermontanas	amplitude altimétrica entre 10 - 12m; média da altimetria entre 678 – 687m; média da declividade entre 2,88° – 4,75°.
Reservatórios	existência de corpos d'água no nível 1.

Tabela 3 – Atributos empregados no refinamento das unidades de relevo, a partir de subclasses de erros de comissão.

Unidades	Subclasses	Atributos
Colinas sedimentares	Colinas Sedimentares (acertos)	borda relativa à classe Serras/Montanhas/Morros (0 – 1).
	Erros de comissão: Serras/Montanhas/Morros	borda relativa à classe Serras/Montanhas/Morros (0 – 1).
Planícies fluviais	Planícies fluviais (acertos)	diferença média do fluxo acumulado entre a classe Colinas Sedimentares (-850 a 2050); borda relativa à classe Serras/Montanhas/Morros (0 – 0,5).
	Erros de comissão: Serras/Montanhas/Morros	borda relativa à classe Serras/Montanhas/Morros (0,4 – 0,64).
	Erros de comissão: Colinas Sedimentares	diferença média do fluxo acumulado entre a classe Colinas Sedimentares (-850 a 2050); variância da curvatura horizontal (16,35 – 17).

Tabela 4 – Atributos da classe corpos d'água.

Classe	Atributos
Corpos d'água	média da altimetria entre 609 – 707m; média do número digital da banda 3N entre 14 – 46.

Tabela 5 – Atributos empregados na classificação da densidade de drenagem.

Nível de segmentação	Classes	Atributos
Hidrografia	Canais fluviais	média do número digital da imagem temática da drenagem (255).
	Não-canais	média do número digital da imagem temática da drenagem \neq de 255.
Densidade de drenagem	Alta densidade de drenagem	área relativa dos canais, por objeto de densidade de drenagem (0,044 a 1).
	Baixa-média densidade de drenagem	área relativa dos canais, por objeto de densidade de drenagem (10^{-4} a $4,35 \cdot 10^{-2}$).

Tabela 6 – Atributos empregados no refinamento da densidade de drenagem, a partir de subclasses de erros de comissão.

Classe	Subclasses	Atributos
Baixa-média densidade de drenagem	Baixa-média (acertos)	borda relativa à classe Alta densidade de drenagem (0,15 – 0,9)
	Erros de comissão: Alta densidade de drenagem	borda relativa à classe Alta densidade de drenagem (0,15 – 0,9).

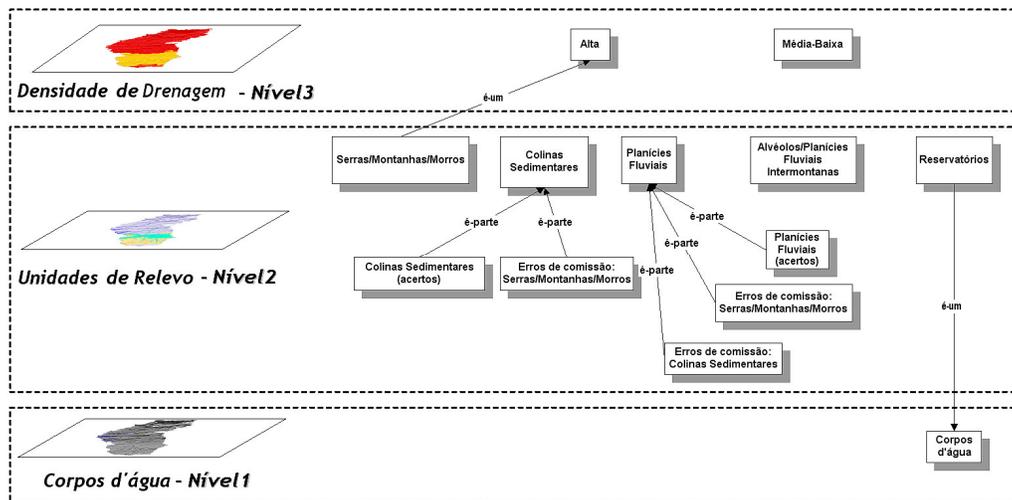


Figura 2 – Rede semântica hierárquica empregada na classificação das unidades de relevo.

3.5 Pós-processamento e validação

No pós-processamento, utilizou-se um conjunto de algoritmos disponível na plataforma de interpretação de imagens, empregada nesta pesquisa (DEFINIENS, 2006). Esses algoritmos têm interface gráfica para usuário e podem ser parametrizados. Desse modo, foram empregados dois tipos de algoritmos: (i) *find enclosed by class* e (ii) *find local extrema*. O primeiro (i) classifica (ou re-classifica) os objetos de acordo com regras de vizinhança. O segundo (ii) também classifica (ou re-classifica) objetos de acordo com valores extremos de um dado atributo, verificados nas vizinhanças dos objetos. Para maiores detalhes sobre o funcionamento dos algoritmos, consultar Definiens (2006) e Camargo (2008).

A validação foi efetuada por meio de uma matriz de erro, considerando os objetos da segmentação, na qual se compararam a classificação e o mapa geomorfológico de referência, elaborado por Camargo (2008). Dessa matriz, extraíram-se as seguintes estatísticas: (i) acurácia global, (ii) do produtor, (iii) do usuário e índice Kappa.

4 Resultados

4.1 Classificação e pós-processamento

Observou-se a ocorrência de confusão entre as classes “Colinas Sedimentares” e “Planícies Fluviais”. Isso ocorreu principalmente em áreas de colinas tabuliformes (região sul do município) devido à similaridade entre os atributos de ambas as classes.

A maneira encontrada para minimizar a confusão foi o emprego de subclasses que separam os acertos e os erros de comissão. As subclasses de erros são re-inseridas no domínio de suas classes verdadeiras por meio do recurso de agrupamento por similaridade de legenda (*Groups*), e assim, obtém-se um mapa com confusão entre classes reduzida. Por fim, o refinamento da classificação das unidades de relevo foi efetuado por meio da concatenação dos algoritmos *find enclosed by class* e *find local extrema*, anteriormente mencionados.

Na Figura 3, é apresentada a classificação final das unidades de relevo. As ampliações destacam alguns erros, que permaneceram entre as classes “Serras/Montanhas/Morros” e “Colinas Sedimentares” (retângulo superior) e entre as classes “Planícies Fluviais” e “Colinas Sedimentares” (retângulo inferior).

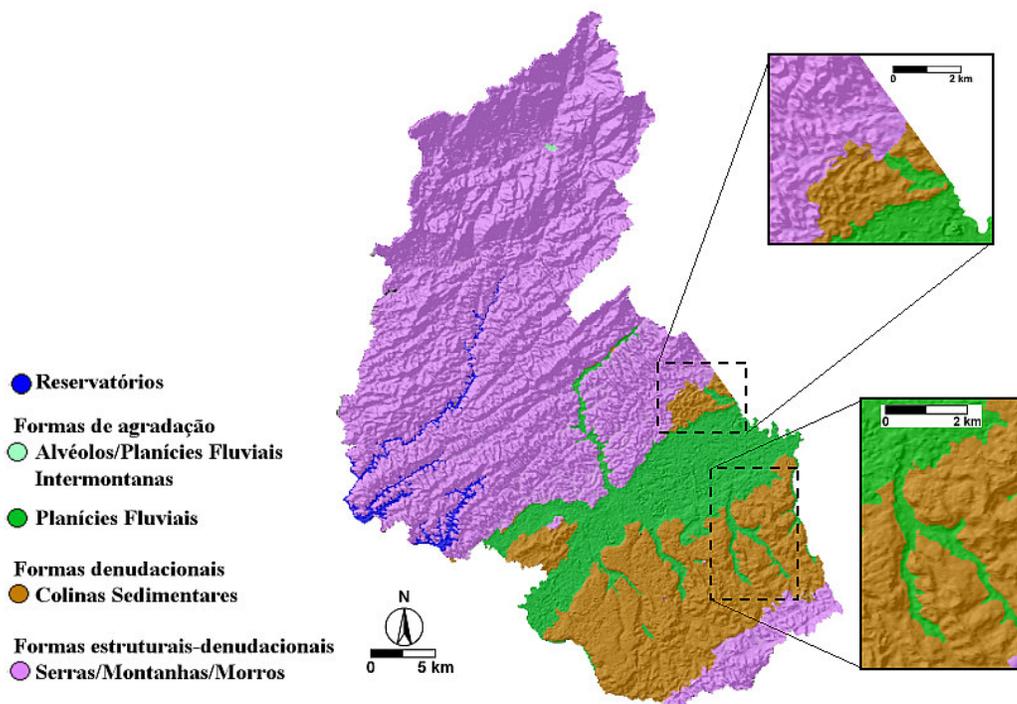


Figura 3 – Classificação semi-automatizada das unidades de relevo.

4.2 Validação

Na Tabela 7, é apresentada a matriz de erros da classificação das unidades de relevo e os resultados da acurácia global e do índice Kappa. Na Tabela 8, são destacadas as acurácias do produtor e do usuário. Pela análise dos erros de comissão (linhas) e omissão (colunas) apresentados na Tabela 7, verifica-se que a classe “Colinas Sedimentares” apresentou confusão tanto com a classe “Serras/Montanhas/Morros” quanto com a classe “Planícies Fluviais”. Isso se explica pela diversidade de padrões de colinas, variando de superfícies relativamente planas a terrenos moderadamente dissecados. Por outro lado, a confusão entre “Serras/Montanhas/Morros” e “Planícies Fluviais” foi reduzida e se restringiu a áreas de contato entre as duas unidades.

De acordo com Landis e Koch (1977), o índice Kappa é considerado de “forte concordância”. No que diz respeito às acurácias do produtor e do usuário, essas também apontam adequada concordância entre a classificação e o mapa de referência.

Tabela 7 – Matriz de erros e resultados da acurácia global e índice Kappa.

	Serras/Montanhas/Morros	Referência			
		Colinas Sedimentares	Planícies Fluviais	Alvéolos/Planícies Fluviais Intermontanas	
Classificação	Serras/Montanhas/Morros	4341	44	11	00
	Colinas Sedimentares	37	622	49	00
	Planícies Fluviais	18	38	284	00
	Alvéolos/Planícies Fluviais Intermontanas	00	00	00	02

Acurácia Global: 0,9638
Índice Kappa: 0,8896

Tabela 8 – Acurácias do produtor e do usuário para cada unidade de relevo.

	Acurácia do produtor	Acurácia do usuário
Serras/Montanhas/Morros	0,987	0,987
Colinas Sedimentares	0,884	0,879
Planícies Fluviais	0,826	0,835
Alvéolos/Planícies Fluviais Intermontanas	1,000	1,000

5 Conclusões

O método demonstrou a viabilidade de uma classificação semi-automática de unidades de relevo. Esse procedimento não seria possível em uma plataforma convencional de

processamento digital de imagens que opera apenas com informações estatísticas das regiões e com um único nível de segmentação.

Os resultados da rede semântica hierárquica indicam o seu caráter replicável para outras áreas de estudo com configurações morfológicas semelhantes, uma vez que o sistema permite o ajuste das funções e seus limiares, a fim de garantir a conformidade da rede à realidade em análise, economizando assim esforços de modelagem por parte do intérprete e tempo de processamento computacional.

Objetos muito pequenos preservam as fronteiras, porém, são inadequados para seleção de atributos e, por conseguinte, inviabilizam a separação de classes. Por isso, uma relação de compromisso entre fronteiras das unidades e fator de escala ou tamanho dos objetos da segmentação deve ser investigada.

Outro desafio é a diminuição do tempo na seleção de atributos e determinação de suas respectivas funções *fuzzy*. Nesse sentido, rotinas e métodos que otimizem essas tarefas devem ser explorados.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth-Science Reviews**, n. 70, p. 77 - 111, 2000.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 135 - 150, 1998.

ASSELEN, S.; SEIJMONSBERGEN, A. C. Expert-driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM. **Geomorphology**, v. 78, n. 3-4, p. 309-320, 2006.

BENZ, U. C.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 58, n. 3-4, p. 239-258, 2004.

BITTENCOURT, G. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. Florianópolis/SC: Editora da UFSC, 2006. 371 p.

CAMARGO, F. F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/TERRA** 171 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (SP). 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.17.19.50>>. Acesso em: 25 maio 2008.

DEFINIENS. **Definiens professional 5**: reference book. Munich: Definiens (The Imaging Intelligence Company), 2006. 122 p.

Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). **Folhas SF 23/24 (Rio de Janeiro/Vitória)**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro/RJ: DNPM, 1983.

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

EMBLETON, C.; VERSTAPPEN, H. T. The nature and objectives of applied geomorphological mapping. **Zeitschrift für Geomorphologie**, n. 68, p. 1 - 8, Jul. 1988.

FLORENZANO, T. G.; CSORDAS, S. M. **Mapa geomorfológico da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos/SP: INPE, 1993.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, escala 1:500.000, 1981a.

IGARASHI, T. ALOS mission requirement and sensor specifications. **Advances in Space Research**, v. 28, n. 1, p. 127-131, 2001.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, p. 159 - 174, 1977.

MOORE, T. Geospatial expert systems. In: OPENSHAW, S.; ABRAHART, R. J. (Ed.). **Geocomputation**. London: Taylor & Francis, 2000.

PARADELLA, W. R.; OLIVEIRA, C. G.; LUIZ, S.; CECARELLI, I. C. F. Operational use of RADARSAT-1 fine stereoscopy integrated with Landsat-5 thematic mapper data for cartographic application in the Brazilian Amazon. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 2, p. 139 - 148, 2005.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, S. **An assessment of the SRTM topographic products**. Pasadena, CA: JPL, 2005. 143 p.

RUMBAUGH, J.; BLAHA, M.; PREMERLANI, W.; EDDY, F.; LORENSEN, W. **Modelagem e projetos baseados em objetos**. Rio de Janeiro/RJ: Campus, 1994.

TOUTIN, T. Elevation modelling from satellite visible and infrared (VIR) data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 06, p. 1097 – 1125, 2001.

VERSTAPPEN, H. T.; ZUIDAM, R. A. Van. **The ITC system of geomorphologic survey: a basis for the evaluation of natural resources and hazards**. Enschede, Netherlands: ITC, 1991. 89 p.

ZUIDAM, R. A. Van. **Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping**. Enschede: Smits Publishers, 1986. 449 p.