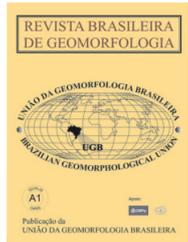


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 15, nº 3 (2014)



APLICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PADRÕES DE FORMAS SEMELHANTES DO RELEVO

IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF A METHODOLOGY FOR AUTOMATED CLASSIFICATION OF LANDFORM PATTERNS

Thaís Minatel Tinós

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista.

Avenida 24 A, 1515, Rio Claro/SP, Cep: 13506-900, Brasil.

E-mail: thaistinos@gmail.com

Mateus Vidotti Ferreira

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista.

Avenida 24 A, 1515, Rio Claro/SP, Cep: 13506-900, Brasil.

E-mail: mateusvidotti@yahoo.com.br

Paulina Setti Riedel

Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista.

Avenida 24 A, 1515, Rio Claro/SP, Cep: 13506-900, Brasil.

E-mail: psriedel@rc.unesp.br

José Eduardo Zaine

Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista.

Avenida 24 A, 1515, Rio Claro/SP, Cep: 13506-900, Brasil.

E-mail: jezaine@rc.unesp.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:

12/09/2013

Data de Aprovação:

31/07/2014

Palavras-chave:

Geomorfometria; SRTM; Modelbuilder, Planalto de Poços de Caldas.

Keywords:

Geomorfometry; SRTM; Modelbuilder; Poços de Caldas Plateau.

Resumo:

Representar cartograficamente o relevo de maneira sistemática não é uma tarefa simples devido à complexidade das informações que devem ser necessariamente relatadas. O uso de processos interpretativos e subjetivos dificulta ainda mais a comparação e aplicação das metodologias por diferentes pesquisadores. Uma das formas de mudar esse quadro é substituir alguns desses processos por uma sequência de procedimentos quantitativos relativos à geomorfometria do terreno. O objetivo desse trabalho foi aplicar uma metodologia de classificação de formas do relevo proposta por Hammond (1954, 1964) e adaptada para o ambiente computacional por Dikau, Brabb e Mark (1991) e avaliar os resultados obtidos para a área do planalto de Poços de Caldas – MG. Os parâmetros considerados para a classificação foram declividade, amplitude e perfil do relevo, os quais foram calculados através de janelas móveis e somados para a geração de um mapa de formas de relevo seguindo uma legenda de intervalos de valores. Variados

tamanhos de janela móvel foram testados e a janela de 10X10 pixels apresentou os melhores resultados. No entanto, foi necessária ainda uma etapa de análise de contexto espacial para a elaboração do mapa final. Para a validação dos resultados, foi realizada uma análise estatística a partir da matriz de erro e do coeficiente de concordância Kappa. Apresenta-se como resultado um Mapa de Padrões de Formas Semelhantes do Relevo que abrange oito classes subdivididas entre terrenos planos, colinas, morros e montanhas. A metodologia aplicada se mostrou viável para área estudada na escala de 1:100.000, mas se concluiu que o tamanho da janela móvel é o ponto crítico dessa metodologia, pois ela determina quais formas do relevo serão integralmente ou parcialmente detectadas e quais formas serão suprimidas.

Abstract:

The cartographic representation of the relief is not a simple task due to the complexity of information to be reported. The subjective and interpretative processes involved make it difficult to compare and to apply methodologies carried by different researchers. This scenario can be altered if a sequence of quantitative procedures related to terrain geomorphometry is applied. The objective of this study was to implement a methodology for landform classification proposed by Hammond (1954, 1964) and adapted to the digital environment by Dikau, Brabb and Mark (1991) and evaluate the results obtained for the Poços de Caldas Plateau, Brazil. The following parameters were considered for the classification: flatness, local relief and profile, which were calculated through a moving window and summed to generate a landform map according to an interval legend. Various sizes of moving window were tested and the window of 10x10 pixels presented the best results. However, an analysis of the spatial context was necessary for the elaboration of the final map. Statistical analysis based upon Kappa statistics and error matrix were used to test the precision of the results. As a result, a Map of landform patterns comprising eight classes subdivided into flat land, low hills, high hills and mountains is presented. The methodology proved to be feasible for the area on the scale of 1:100,000, but it was concluded that the size of the moving window is the critical point of this methodology, as it determines whether a landform could be completely or partially detected or even suppressed.

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 e VERSTAPPEN, 1988).

A cartografia geomorfológica constitui um importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar as formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades (CASSETI, 2005).

No entanto, representar cartograficamente o relevo de maneira sistemática não é uma tarefa simples, devido à complexidade das informações que devem ser necessariamente relatadas. Muitas propostas surgiram ao longo das últimas décadas numa tentativa de sistematizar a classificação do relevo. Podem ser citadas as

contribuições de Veatch (1935), Fenneman (1938) e Hammond (1954, 1964), para os Estados Unidos; Christian (1958) e Speight (1974, 1990), para classificação de sistemas de relevo da Austrália; Solntsev (1962) para a ex-União Soviética; Verstappen e Van Zuidam (1968/1975) e Meijerink (1988) para o sistema de mapeamento geomorfológico do ITC/Holanda. No Brasil, destacam-se as propostas de classificação do relevo de Azevedo (1949), Ab'Saber (1967), Ross (1985), projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1983), os mapeamentos geomorfológicos do estado de São Paulo (IPT, 1981; ROSS; MOROZ, 1997) e por fim, o manual técnico de geomorfologia do IBGE (2009).

As propostas mais recentes de cartografia geomorfológica envolvem a análise digital do relevo a partir de modelos digitais de elevação (MDE) e automatização do processo de classificação. Esse movimento teve início quando Evans (1972) introduziu pela primeira vez um sistema integrado de geomorfometria, mas apenas nos últimos anos, com a evolução da capacidade de processamento dos computadores e difusão dos aplicativos de Sistemas de Informação Geográfica

(SIG) esses métodos se consolidaram. A partir de então a geomorfometria tem se estabelecido como um campo da ciência dedicado a analisar quantitativamente a superfície da terra (MACMILLAN; SHARY, 2008) e passou a fornecer ferramentas para os trabalhos de classificação automática do terreno.

Atualmente, os trabalhos de classificação automática do terreno estão bastante focados em aplicar técnicas de análise espacial e de imagens e modelos estatísticos. Podem-se destacar trabalhos que empregam a técnicas de OBIA (*Object Based Images Analysis*) e de árvore de decisão (BERTANI; ROSSETTI; ALBUQUERQUE, 2013; DRĂGUȚ; BLASCHKE, 2006; DRĂGUȚ; EISANK, 2011, 2012; VASCONCELOS *et al.*, 2012; VERHAGEN; DRĂGUȚ, 2012), lógica *Fuzzy* (ARRELL *et al.*, 2007; BURROUGH; VAN GAANS; MACMILLAN, 2000; SCHMIDT; HEWITT, 2004), redes neurais e redes Bayesianas (CARR, 1996; EHSANI; QUIEL, 2008), Geoestatística (BETTÚ, 2012; HENGL *et al.*, 2008), análise estatística multivariada (ADEDIRAN *et al.*, 2004; GHIMIRE, 2014) e outras formas de análise espacial utilizando Sistemas de Informação Geográfica (BOCCO; MENDOZA; VELAZQUEZ, 2001; BRABYN, 1996, 1998; DIKAU *et al.*, 1995; DIKAU; BRABB; MARK, 1991; JOSHI; MAURYA; CHAMYAL, 2013; KLINGSEISEN; METTERNICHT; PAULUS, 2008; METTERNICHT; KLINGSEISEN; PAULUS, 2005; STEINKE; SANO, 2011)

Dentre os trabalhos que buscaram sistematizar a classificação das formas do relevo, destacam-se os produzidos por Hammond (1954, 1964), que buscou substituir muitos dos processos interpretativos e subjetivos comuns à época, por uma sequência de procedimentos quantitativos relativos à geomorfometria do relevo. O autor almejava promover a objetividade na classificação das características do relevo e, com isso, garantir a comparabilidade dos resultados obtidos por diferentes pesquisadores.

Planejando mapear o relevo de grandes áreas e com poucos dados disponíveis, Hammond (1954, 1964) selecionou parâmetros que representassem satisfatoriamente a geometria do relevo e que pudessem ser facilmente calculados e divididos em classes. A partir da experiência adquirida em trabalhos anteriores e de um período de testes, os parâmetros utilizados pelo autor foram: declividade, amplitude e perfil de relevo, os quais eram calculados através de “quadrados de medição” e sobrepostos a dados derivados de cartas topográficas.

Dikau, Brabb e Mark (1991) adaptaram para o ambiente computacional o sistema de Hammond (1954, 1964), utilizando modelos digitais de elevação (MDE) e ferramentas disponíveis em Sistemas de Informação Geográfica. Esta adaptação reproduziu os procedimentos executados por Hammond (1964) e alcançou resultados comparáveis àqueles obtidos por meio de métodos analógicos tradicionais. Além disso, mostrou-se versátil, permitindo a melhoria e adaptação para áreas específicas. A partir do trabalho de Dikau, Brabb e Mark (1991), essa metodologia foi aplicada por diversos autores com pequenas modificações para a obtenção de resultados satisfatórios. Em âmbito internacional, destacam-se os trabalhos de Dikau *et al.* (1995), Brabyn (1996, 1998), Martínez-Zavala *et al.* (2005), Morgan e Lesh (2005), Martínez-Zavala *et al.* (2007). No entanto, ainda não há registros de publicações com a aplicação dessa classificação em território brasileiro.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é aplicar a metodologia de classificação das formas de relevo proposta por Hammond (1954, 1964) e adaptada por Dikau, Brabb e Mark (1991), utilizando um MDE derivado de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e avaliar os resultados obtidos para a área do planalto de Poços de Caldas – MG. A área foi escolhida devido ao relevo com grandes contrastes, feições bem marcadas, além da disponibilidade de dados e conhecimento prévio dos autores.

2. Área De Estudo

A área de estudo abrange a região do planalto de Poços de Caldas, localizado entre os limites dos Estados de São Paulo e Minas Gerais, no divisor de águas entre os rios Grande, Pardo e Moji-Guaçu. A área se destaca por apresentar um relevo contrastante, que vem evoluindo a partir de uma superfície de erosão que nivela seus topos em altitudes compreendidas entre 1400 a 1600m (PONÇANO *et al.*, 1981).

O planalto de Poços de Caldas localiza-se na borda ocidental da província da Mantiqueira e em contato com os extremos orientais da bacia sedimentar do Paraná, formando um conjunto morfoestrutural perfeitamente caracterizado (CHRISTOFOLETTI, 1973). Com cerca de 800 km², o planalto é moldurado por um dique anelar composto por serras e uma zona rebaixada no interior. Este dique anelar está salientado de 500 a 1000 m acima do relevo cristalino que o rodeia e é composto predo-

minantemente por rochas alcalinas (principalmente foiaítos e tinguaitos). Seus topos alcançam 1.637m na Serra de São Domingos, enquanto o interior se nivela em torno de 1.300 m.

Dentre as feições geomorfológicas da região Sudeste do Brasil, o planalto de Poços de Caldas situa-se na província geomorfológica do Planalto Atlântico e na zona do planalto Sul de Minas, como pode ser ob-

servado na Figura 1. Essa zona é subdividida em três subzonas: a superfície do Alto Rio Grande, o planalto de São Pedro de Caldas e o próprio planalto de Poços de Caldas. Ao norte e oeste do planalto ocorre também a zona Cristalina do Norte, que mantém um relevo de transição entre as terras altas do planalto do Sul de Minas e da Mantiqueira para a região rebaixada da Depressão Periférica paulista (BRASIL, 1979).

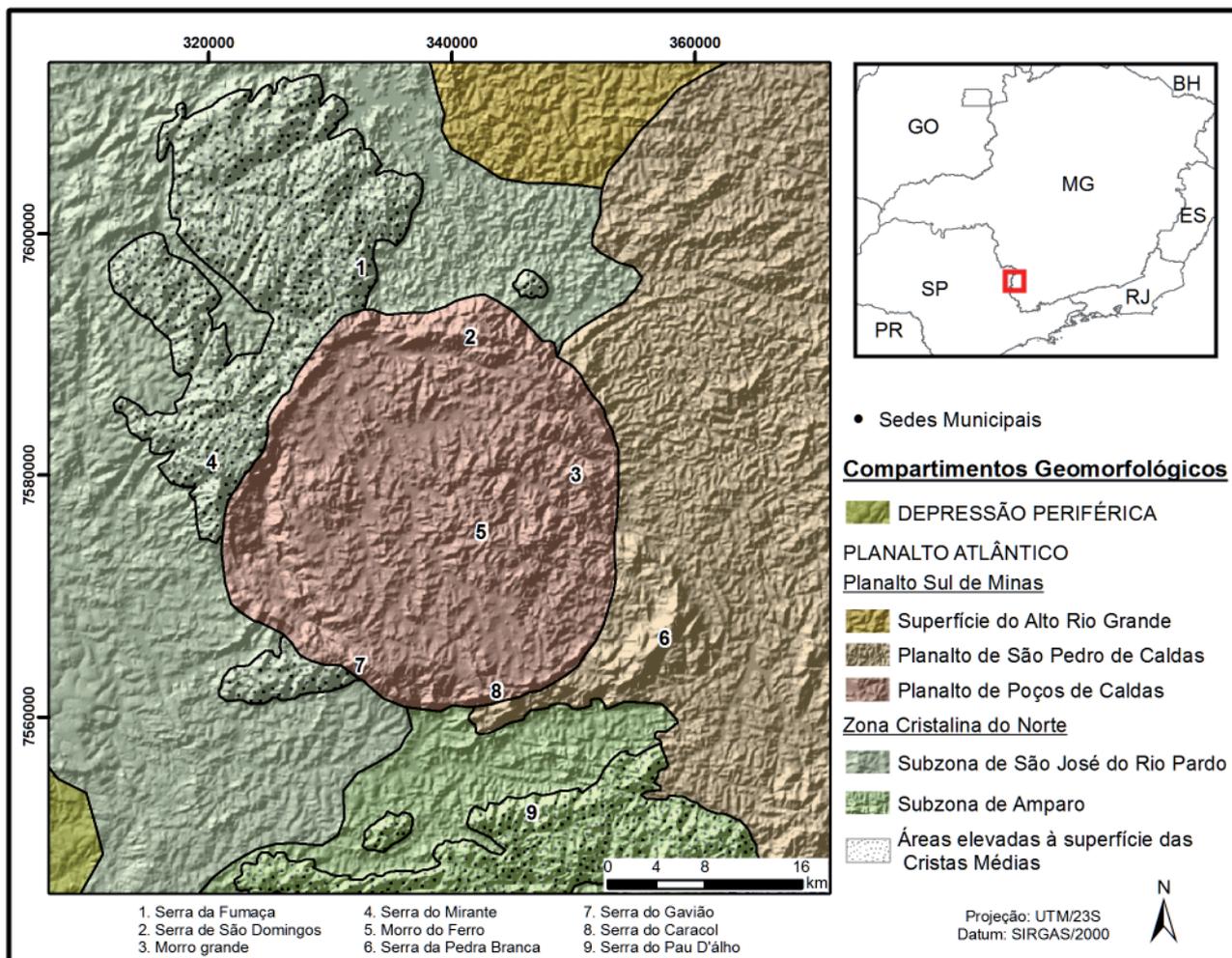


Figura 1 - Localização da área de estudo em relevo sombreado. Compartimentos geomorfológicos modificados de Brasil (1979).

No contexto geológico, a área é denominada de Maciço Alcalino de Poços de Caldas. Christofoletti (1973) afirma que o maciço alcalino, de idade cretácea, formou-se a partir de um complexo de rochas efusivas e principalmente intrusivas, originadas de um processo de vulcanismo. A intrusão ocorreu em domínios do embasamento cristalino, sendo o maciço cercado por granitos, gnaisses e migmatitos pré-cambrianos de alto grau metamórfico, policíclicas e polideformadas, pertencentes ao Maciço de Guaxupé.

Ellert (1959) destaca a ocorrência de quatro tipos litológicos no interior do maciço: 1 - rochas efusivas e hipoabissais (tinguaítos e fonólitos), 2 - rochas plutônicas (nefelina sienitos, lujaunitos e chibinitos), 3 - brechas, tufos e conglomerados e 4 - rochas potássicas (associadas a processos metassomáticos). O maciço ainda se destaca pelo intenso fraturamento e pela hidrografia fortemente controlada pela litologia e pelo sistema de fraturas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Aquisição dos dados e construção da ferramenta

Neste trabalho, os dados SRTM, de aproximadamente 90 metros de resolução, foram utilizados como base para o modelo digital de elevação do terreno. Os dados foram adquiridos no site <http://glcf.umd.edu/>, onde são oferecidas 3 versões do SRTM com diferentes processamentos. Recomenda-se a opção “*Finished filled*”, pois nessa, algumas falhas de imageamento foram corrigidas. De acordo com os trabalhos de Medeiros, Ferreira e Ferreira (2008), Martins (2010) e Bias (2011) que avaliaram o padrão de exatidão cartográfica (PEC) dos dados SRTM em diferentes regiões do Brasil, esse dado é compatível com a escala 1:100.000, sendo PEC classe A. Dessa forma, pode-se afirmar que o produto final gerado é compatível com essa escala.

Para reproduzir os passos propostos por Dikau, Brabb e Mark (1991), foi utilizado o software ArcGIS 10.1 (ESRI, 2011) e as seguintes ferramentas foram combinadas através da interface do *Modelbuilder: Slope, Reclassify, Focal Statistic, Raster Calculator, Majority Filter, Region Group, Nibble e Raster to Polygon*. Todos os detalhes da configuração da ferramenta criada e o seu download para outros usuários estão disponíveis no seguinte link: <http://sdrv.ms/14IF3iZ>.

3.2. Teste das janelas móveis e cálculo dos parâmetros

A metodologia de classificação do relevo baseia-se em uma janela móvel, que tem tamanho variável, de acordo com a escala de trabalho e as formas de relevo a serem mapeadas. Essa etapa consistiu em testar janelas de 5X5, 10X10, 15X15, 20X20, 30X30 e 40X40 pixels para o cálculo dos parâmetros Declividade, Amplitude e Perfil do Relevo, conforme proposto por Hammond (1954):

O cálculo do parâmetro de Declividade foi realizado a partir dos dados derivados do SRTM. Foi gerado um mapa de declividade com duas classes, sendo classe 1 ($dec < 8\%$) e classe 2 ($dec > 8\%$). Em seguida, foi calculada para cada pixel a porcentagem de declividade suave ($dec < 8\%$) em seu entorno, por meio da janela móvel. Dessa forma, o parâmetro de declividade representa a porcentagem de declividade suave dentro de um raio de busca (HAMMOND, 1954). O mapa de porcentagem de declividade suave foi classificado em 4 classes, de acordo com a Tabela 1 e é apresentado na Figura 2A.

Tabela 1: Classes do parâmetro de Declividade propostas por Hammond (1954) e adaptadas por Dikau, Brabb e Mark (1991).

Classes	Intervalo de quantidade de declividade suave (em %)	Valor reclassificado
Classe 1	0 – 20	100
Classe 2	20 – 50	200
Classe 3	50 – 80	300
Classe 4	80 – 100	400

Para o parâmetro de Amplitude local do terreno, também chamado de Relevo Local por Hammond (1954, 1964) foram calculados para cada pixel os valores mínimo e máximo de elevação dentro da janela móvel. Em seguida, realizou-se a subtração do mínimo em relação ao máximo. O produto então foi reclassificado em 6 classes, de acordo com a Tabela 2. A Figura 2B apresenta o mapa resultante desse processamento.

Tabela 2: Classes do parâmetro Amplitude (relevo local) propostas por Hammond (1954) e adaptadas por Dikau, Brabb e Mark (1991).

Classes	Intervalo de amplitude (em metros)	Valor reclassificado
Classe 1	0 - 30	10
Classe 2	30 – 90	20
Classe 3	90 - 150	30
Classe 4	150 - 300	40
Classe 5	300 - 900	50
Classe 6	900 - 9999	60

Para o cálculo do parâmetro de Perfil do Relevo foi necessário inicialmente encontrar os terrenos altos e baixos. Terrenos altos são definidos como áreas em que a máxima elevação dentro da janela móvel, menos a elevação do ponto central da janela é menor que metade da Amplitude (relevo local). Terrenos baixos são definidos como áreas em que a máxima elevação dentro da janela, menos a elevação do ponto central da janela é maior que metade da Amplitude (relevo local) (HAMMOND,

1954). Em seguida, foi calculada a porcentagem de declividade suave ($dec < 8\%$) no interior dos terrenos altos e baixos. A Tabela 3 apresenta as classes de perfil de relevo propostas por Hammond (1954) e o mapa de perfil do relevo é mostrado na Figura 2C.

Tabela 3: Classes do parâmetro Perfil do Relevo propostas por Hammond (1954) e adaptadas por Dikau, Brabb e Mark (1991).

Classes	Descrição da classe de perfil	Valor
Classe 1	Terrenos baixos com mais de 75% da área com declividade suave.	1
Classe 2	Terrenos baixos com menos de 75% da área com declividade suave.	2
Classe 3	Terrenos altos com mais de 75% da área com declividade suave.	3
Classe 4	Terrenos altos com menos de 75% da área com declividade suave.	4

3.3. Elaboração do Mapa de padrões de formas semelhantes do relevo.

Os parâmetros de declividade, amplitude local e perfil do relevo foram somados para gerar mapas de padrões de formas semelhantes do relevo para os vários tamanhos de janela móvel testados. As classes foram definidas a partir da legenda proposta por Dikau, Brabb e Mark (1991), apresentada na Tabela 4, com uma coluna adicional contendo uma proposta de tradução. Optou-se por manter fidelidade à nomenclatura utilizada em inglês, no entanto, algumas palavras foram modificadas por existirem termos mais específicos em português.

As classes identificadas se enquadram, segundo a ordem taxonômica de Ross (1990), no 3º Táxon - Unidades Morfológicas ou Padrões de Formas Semelhantes, ou seja, se definem por conjuntos de tipologias de formas que guardam entre si elevado grau de semelhança, quanto ao tamanho de cada forma e o aspecto fisionômico.

Os valores gerados no mapa de Hammond (1954, 1964) representam códigos de cada classe e podem ser interpretados de acordo com a Figura 3.

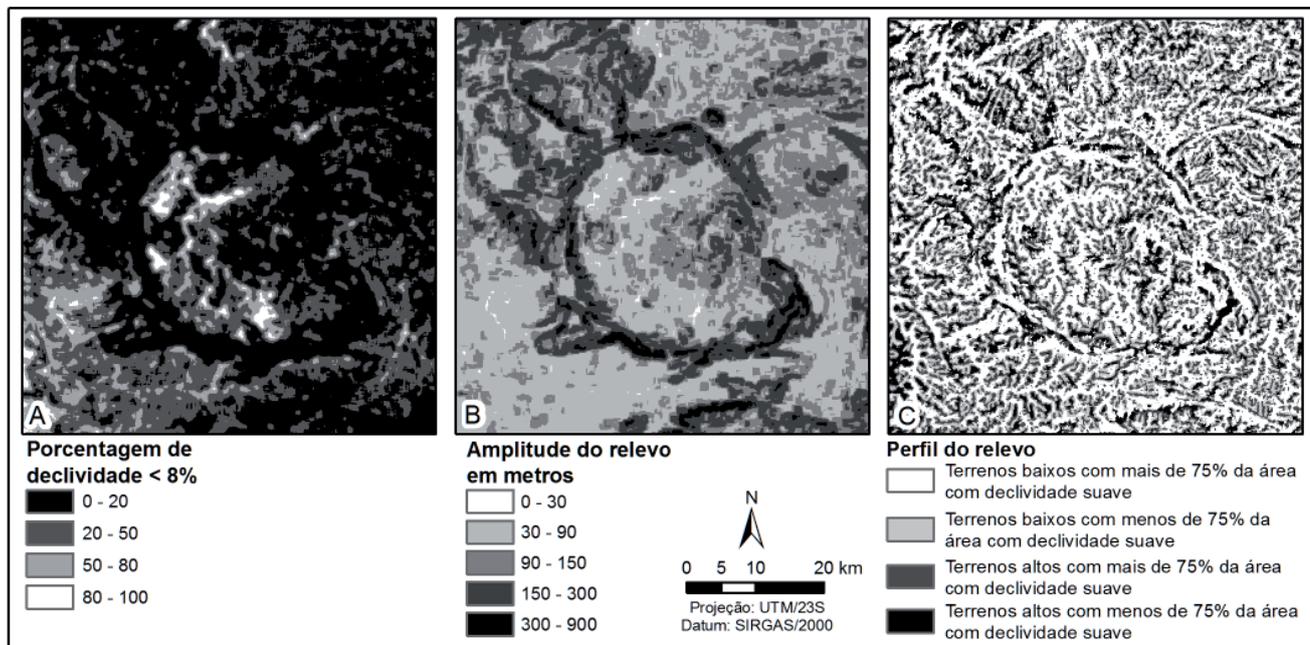


Figura 2 - Representação dos parâmetros calculados. A - Declividade, B - Amplitude (relevo local), C - Perfil de Relevo.

Tabela 4: Legenda para classificação do relevo proposta por Dikau, Brabb e Mark (1991).

Intervalos de valores - Mapa Hammond (1954, 1964)	Classes propostas por Dikau, Brabb e Mark (1991)	Tradução sugerida
411-414	Flat or nearly flat plains	Terrenos planos ou quase planos
421-424	Smooth plains with some local relief	Terrenos planos suavizados com algum relevo local
311-314	Irregular plains with low relief	Terrenos planos irregulares com relevo baixo
321-324	Irregular plains with moderate relief	Terrenos planos com relevo moderado
433-434, 333-334	Tablelands with moderate relief	Tabuleiros com relevo moderado
443-444, 343-344	Tablelands with considerable relief	Tabuleiros com relevo considerável
453-454, 353-354	Tablelands with high relief	Tabuleiros com relevo alto
463-464, 363-364	Tablelands with very high relief	Tabuleiros com relevo muito alto
431-432, 331-332	Plains with hills	Terrenos planos com colinas
441-442, 341-342	Plains with high hills	Terrenos planos com morros
451-452, 351-352	Plains with low mountains	Terrenos planos com montanhas baixas
461-462, 361-362	Plains with high mountains	Terrenos planos com montanhas altas
211-214	Open very low hills	Colinas baixas suavizadas
221-224	Open low hills	Colinas altas suavizadas
231-234	Open moderate hills	Morros baixos suavizados
241-244	Open high hills	Morros altos suavizados
251-254	Open low mountains	Montanhas baixas suavizadas
261-264	Open high mountains	Montanhas altas suavizadas
111-114	Very low hills	Colinas baixas
121-124	Low hills	Colinas altas
131-134	Moderate hills	Morros baixos
141-144	High hills	Morros altos
151-154	Low mountains	Montanhas baixas
161-164	High mountains	Montanhas altas

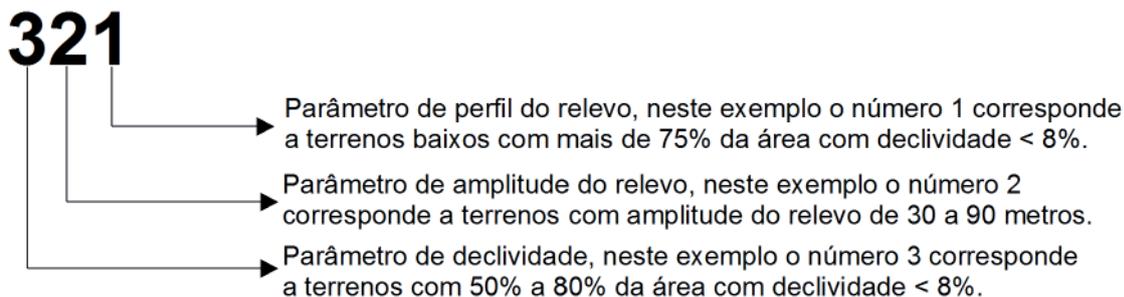


Figura 3 - Exemplo de interpretação dos valores gerados.

3.4. Validação dos resultados

A matriz de erro ou matriz de confusão e o coeficiente de concordância Kappa têm sido reconhecidos como as mais importantes técnicas de estimativa da exatidão da classificação de dados de sensores remotos. A matriz de erro é uma das formas mais eficientes de validação de uma classificação, pois permite também calcular outras medidas de exatidão, como a acurácia do usuário e a acurácia do produtor. A acurácia do usuário está relacionada aos erros de inclusão ou comissão, ou seja, pontos atribuídos a uma determinada classe oriundos de erros de classificação das outras classes. Já a acurácia do produtor considera os erros de exclusão ou omissão, ou seja, refere-se à probabilidade de determinada classe ter sido corretamente classificada de acordo com os dados de referência (CONGALTON e GREEN, 2009).

Para a elaboração da matriz de erro e cálculo do coeficiente de concordância Kappa, foram obtidos 300 pontos amostrais dentro do limite da área de estudo, utilizando-se como método a amostragem estratificada aleatória. Os pontos amostrais, visualizados na Figura 4, foram obtidos em duas fases:

- Inicialmente foi realizado um trabalho de campo para a verificação e avaliação das classificações geradas. Devido à dificuldade em se reconhecer e diferenciar visualmente em campo todas as classes propostas na legenda de Dikau, Brabb e Mark (1991), optou-se por reuni-las, em um primeiro momento, em grupos representativos das classes de formas de relevo para a validação dos resultados. Assim, diferentes classes de relevo colinoso, por exemplo, foram reunidas em um só grupo denominado de colinas. Foram obtidos 61 pontos amostrais no trabalho de campo, abrangendo todos os grupos representativos das formas de relevo;

- Em escritório, foram adquiridos 239 pontos adicionais. Para tal, efetuou-se uma análise e identificação dos grupos de classes a partir dos seguintes materiais: cartas topográficas (curvas de nível e drenagem) na escala 1:50.000 (IBGE), imagem SPOT com resolução de 2,5m e o modelo digital de elevação derivado do SRTM. Buscou-se complementar os pontos obtidos em campo com o objetivo de totalizar o mínimo de 50 pontos por grupo de classes, conforme sugerido por Congalton e Green (2009) para o tamanho da área de estudo e pelo número de classes do mapa.

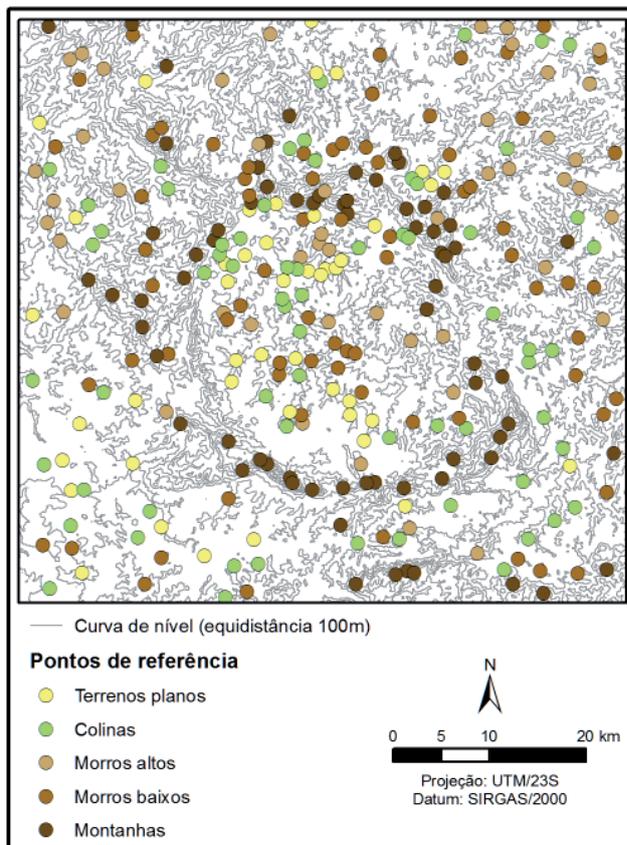


Figura 4 - Pontos amostrais obtidos em trabalho de campo e escritório.

Os pontos obtidos em campo e escritório, tidos como dados de referência para a validação (CONGALTON e GREEN, 2009), foram confrontados com os resultados das classificações efetuadas para todas as janelas móveis e, em seguida, a matriz de erro foi elaborada e o cálculo do coeficiente Kappa foi realizado. Após a validação estatística e a definição da janela móvel mais adequada, foi produzido o mapa final de padrões de formas semelhantes do relevo.

4. Resultados

4.1. Seleção da janela móvel

Dezenove classes propostas na legenda de Dikau, Brabb e Mark (1991) foram identificadas na classificação do relevo efetuada nos vários os tamanhos de janela móvel testados. Como já explicitado, para a validação dos resultados, essas classes foram reunidas em grupos representativos das classes, conforme mostra a Tabela 5. As classes de tabuleiro foram consideradas uma exceção, visto que a área das três classes somadas não ultrapassou 1% da área total mapeada em nenhuma

das janelas testadas. Assim, optou-se por agrupá-las ao conjunto com características de maior similitude, ou seja, aos terrenos planos.

A Figura 5 apresenta o resultado da classificação do relevo para todos os tamanhos de janela móvel testados e a Tabela 6 mostra o acerto geral, o coeficiente de concordância Kappa e as categorias de concordância Kappa, segundo Landis e Koch (1977).

Observando a Figura 5, percebe-se que o tamanho da janela móvel foi determinante no mapeamento integral ou parcial das formas de relevo. Através desse teste observou-se que quando se aumentava a janela (Ex: 30X30, 40X40) havia uma generalização das Montanhas e Morros altos, os quais eram claramente superestimados, enquanto os Terrenos planos e Colinas eram, em sua maioria, suprimidos. O inverso ocorreu no teste da janela móvel de 5X5 pixels. Terrenos planos e Colinas foram superestimados, enquanto os Morros baixos e Morros altos foram parcialmente identificados e as Montanhas foram totalmente suprimidas.

A partir da Tabela 6, nota-se que a janela móvel de 10X10 pixels apresentou o maior valor de acerto

Tabela 5: Agrupamento das classes em conjuntos representativos das formas de relevo

Classes		Grupos
Terrenos planos ou quase planos Terrenos planos suavizados com algum relevo local Terrenos planos irregulares com relevo baixo Terrenos planos irregulares com relevo moderado Terrenos planos com colinas Terrenos planos com morros Terrenos planos com montanhas baixas Tabuleiro com relevo moderado Tabuleiro com relevo considerável Tabuleiro com relevo alto	→	Terrenos planos
Colinas baixas suavizadas Colinas altas suavizadas Colinas altas	→	Colinas
Morros baixos suavizados Morros baixos	→	Morros Baixos
Morros altos suavizados Morros altos	→	Morros Altos
Montanhas baixas suavizadas Montanhas baixas	→	Montanhas

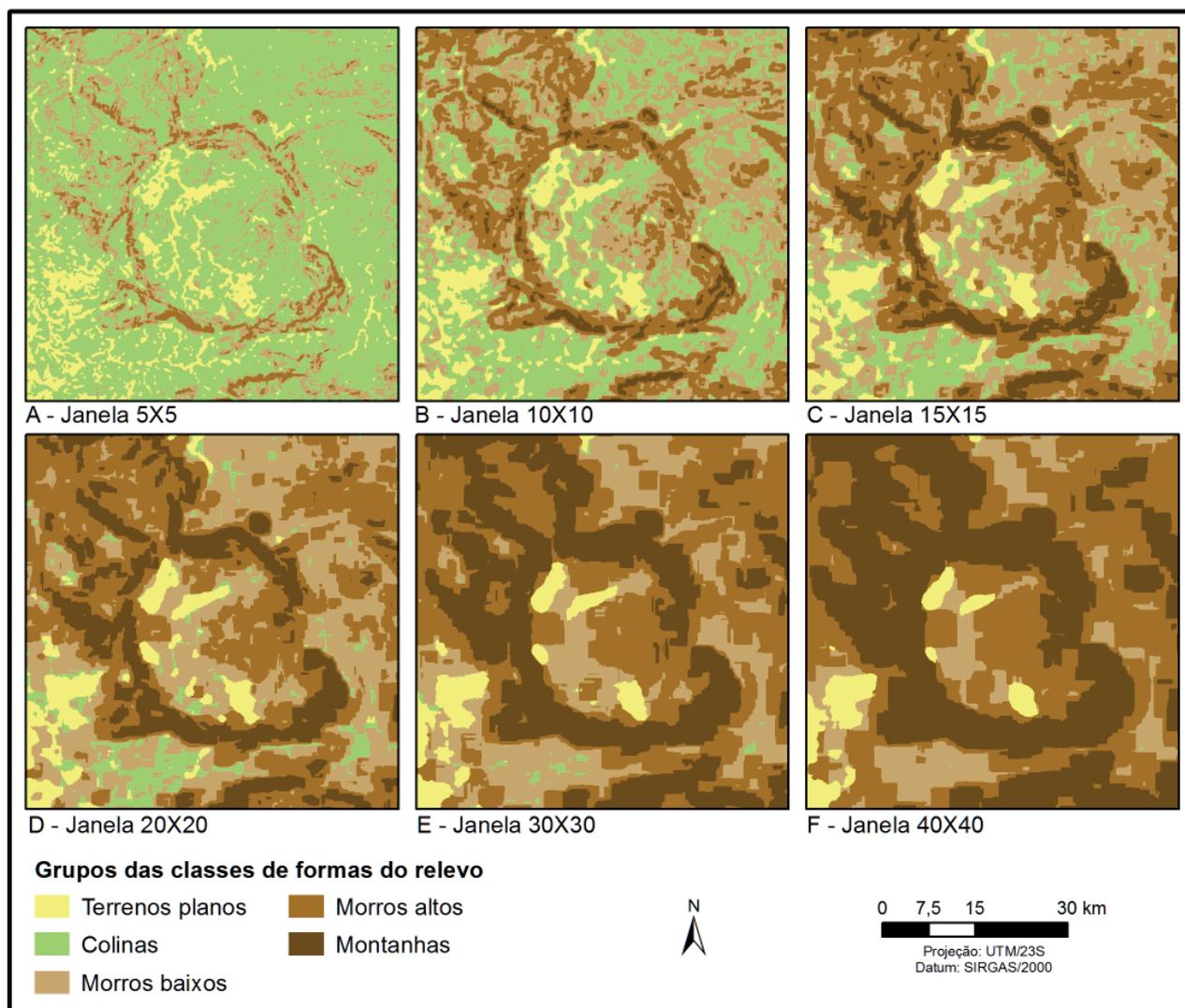


Figura 5 - Resultados obtidos com os diferentes tamanhos de janela móvel testados.

Tabela 6: Acerto geral, coeficiente de concordância Kappa e categorias de concordância Kappa, segundo Landis e Koch (1977) para todos os tamanhos de janela móvel testados.

Janelas móveis testadas	Acerto geral	Coeficiente de concordância Kappa	Categorias de concordância Kappa (Landis e Koch, 1977)
Janela 5X5	35.67%	0,19	Fraca
Janela 10X10	69.0%	0,61	Forte
Janela 15X15	62.0%	0,52	Moderada
Janela 20X20	55.33%	0,44	Moderada
Janela 30X30	47.33%	0,34	Razoável
Janela 40x40	39.67%	0,24	Razoável

geral - 69%, e do coeficiente de concordância Kappa - 0,61%. Estes índices, de acordo com a categorização proposta por Landis e Koch (1977), indicam uma forte concordância com os dados de referência, o que representa uma substancial precisão na classificação dos grupos representativos das classes de formas de relevo. Mediante os resultados dessa análise estatística, a janela móvel de 10X10 pixels foi selecionada para a elaboração do mapa final.

4.2. Elaboração do mapa final de padrões de formas semelhantes do relevo

Quatorze classes foram identificadas na área com a janela de 10X10 pixels, sendo que 3 delas (Morros baixos, Morros altos e Colinas altas suavizadas) correspondem a mais de 75% da área total, como pode ser observado na Figura 6. A Tabela 7 apresenta as classes de padrões de formas semelhantes do relevo geradas com suas respectivas áreas e porcentagens de ocorrência.

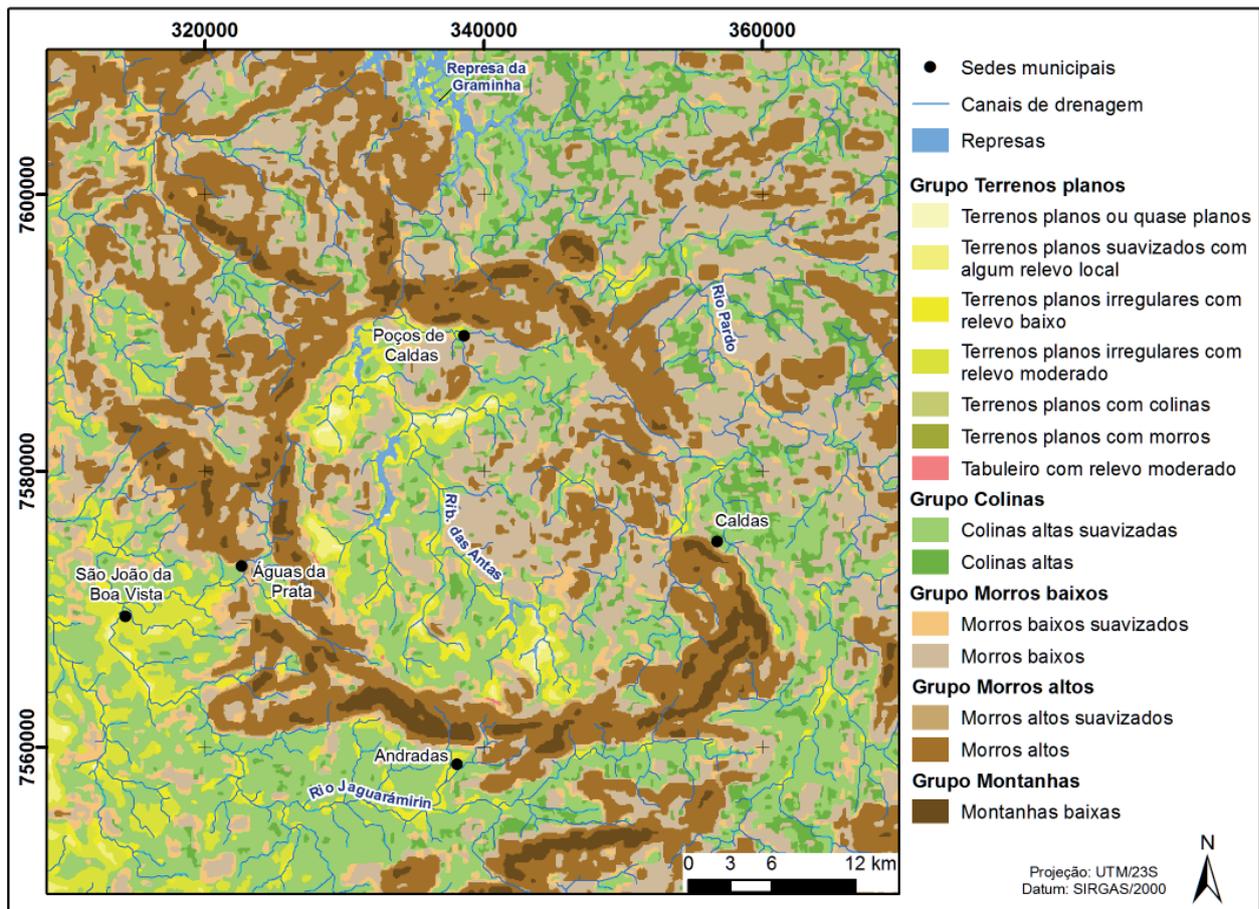


Figura 6 - Mapa de padrões de formas semelhantes do relevo resultante da janela de 10X10 pixels.

Uma reclassificação foi realizada para classes geradas com áreas de ocorrência menores que 1% da área total mapeada, ou seja, com pouca representatividade espacial. Assim, essas classes foram reclassificadas para classes com características semelhantes, conforme mostra a Tabela 8.

Observou-se também que o tamanho da janela móvel de 10X10 pixels, apesar de um bom desempenho estatístico para os grupos de classes, compartimentou algumas formas de relevo de maior dimensão, como

pode ser observado na Figura 6. Na área de estudo, esse problema ocorreu principalmente com o relevo montanhoso do dique anelar que circunda o Planalto de Poços de Caldas. A janela selecionada não englobou a montanha em sua totalidade e acabou por dividi-la em três classes, sendo Morros baixos suavizados na baixa vertente, Morros Altos em grande parte da vertente e Montanhas Baixas, em apenas pequenos polígonos no topo. Com o objetivo de minimizar esse problema, foi realizada uma análise espacial para a reclassificação dos

Tabela 7: Classes de padrões de formas semelhantes do relevo geradas e respectivas áreas de ocorrência.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Terrenos planos com morros	0.10	< 0.01
Tabuleiros com relevo moderado	0.46	0.01
Terrenos planos com colinas	2.75	0.07
Terrenos planos ou quase planos	5.49	0.15
Morros altos suavizados	15.89	0.42
Terrenos planos suavizados com algum relevo local	29.39	0.79
Montanhas baixas	97.77	2.61
Terrenos planos irregulares com relevo moderado	119.89	3.20
Terrenos planos irregulares com relevo baixo	130.58	3.49
Colinas altas	223.91	5.98
Morros baixos suavizados	273.77	7.31
Colinas altas suavizadas	825.69	22.06
Morros altos	944.02	25.22
Morros baixos	1073.85	28.69

polígonos referentes ao relevo montanhoso. As áreas classificadas como Morros baixos e Morros baixos suavizados, que contivessem polígonos de Montanhas Baixas, foram reclassificadas como Montanhas baixas. A Figura 7 apresenta o mapa de padrões de formas semelhantes do relevo, resultante da janela de 10X10 pixels, após as reclassificações.

Esse mapa foi igualmente validado a partir dos dados de referência. Houve uma melhora significativa do acerto geral, que passou a ser de 82,33% e do coeficiente de concordância Kappa, que subiu para 0,77. De acordo com a categorização proposta por Landis e Koch (1977), o valor de coeficiente de concordância Kappa atingido continua indicando uma forte concordância na classificação dos grupos representativos das classes de formas de relevo. A Tabela 9 mostra a matriz de erro, o acerto geral e o coeficiente de concordância Kappa para o mapa de padrões de formas semelhantes do relevo após a etapa de reclassificação e a Tabela 10 apresenta a acurácia do usuário e a acurácia de produção para cada um dos grupos de classe de formas semelhantes do relevo.

A partir das Tabelas 9 e 10 é possível observar que o grupo de Terrenos planos destaca-se com o melhor desempenho na classificação, pois apresentou o valor mais alto de acurácia de produção (97,14%) e o segundo maior valor de acurácia do usuário (89,47%). Esses valores sugerem que a janela de 10X10 pixels foi ideal para a delimitação desse grupo. O grupo de Montanhas também apresentou um bom desempenho na classificação, tendo o segundo maior valor de acurácia de produção (93,33%) e um valor intermediário de

Tabela 8: Reclassificação das classes com áreas menores que 1% da área total mapeada.

Classe original		Após reclassificação
Terrenos planos com morros	→	Terrenos planos irregulares com relevo moderado
Tabuleiros com relevo moderado	→	Terrenos planos irregulares com relevo moderado
Terrenos planos com colinas	→	Terrenos planos irregulares com relevo moderado
Terrenos planos ou quase planos	→	Terrenos planos irregulares com relevo baixo
Morros altos suavizados	→	Morros altos
Terrenos planos suavizados com algum relevo local	→	Terrenos planos irregulares com relevo baixo

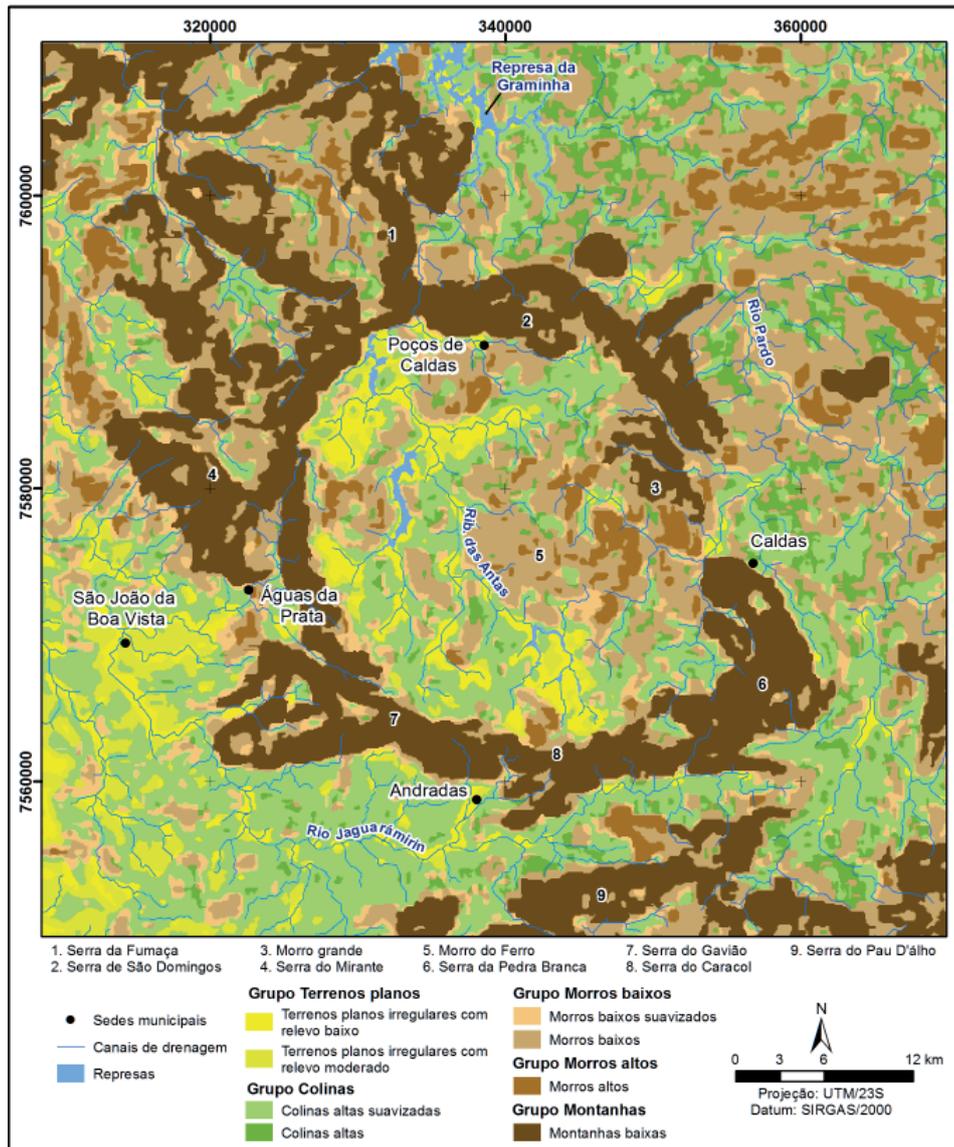


Figura 7 - Mapa de padrões de formas semelhantes do relevo, após a etapa de reclassificação.

Tabela 9: Matriz de erro e o coeficiente de concordância Kappa para o mapa de padrões de formas semelhantes do relevo após a etapa de reclassificação.

Dado Classificado	Dado de Referência					Total
	Terrenos planos	Colinas	Morros baixos	Morros altos	Montanhas	
Terrenos planos	42	9	0	0	0	51
Colinas	3	48	12	1	0	64
Morros baixos	0	8	57	9	2	76
Morros altos	0	0	1	32	0	33
Montanhas	0	0	3	5	68	76
Total	45	65	73	47	70	300
Acerto geral=82,33%						
Kappa=0,77						

Tabela 10: Acurácia do usuário e a acurácia de produção para o mapa de padrões de formas semelhantes do relevo após a etapa de reclassificação.

Grupos de classe	Acurácia do usuário	Acurácia de produção
Terrenos planos	89,47%	97,14%
Colinas	75,00%	73,85%
Morros baixos	75,00%	78,08%
Morros altos	96,97%	68,09%
Montanhas	82,35%	93,33%

acurácia do usuário (82,35%). No entanto, esses valores só foram alcançados após a etapa de reclassificação.

Os grupos de Colinas e Morros baixos concentraram os menores valores de acurácia do usuário (75%), o que significa que há maior probabilidade de serem confundidos com outros grupos. Esse pode ser um indicativo de que essas classes podem ter sido superestimadas na classificação automática. Já os Morros altos apresentaram o pior valor de acurácia de produção, mas o maior valor para acurácia do usuário, o que significa que há 68,09% de chance desse grupo ser classificado corretamente e 96,97% de probabilidade de não ser confundido com outras classes. No processo de reclassificação, esse grupo perdeu grande quantidade de área para o grupo Montanhas e, conseqüentemente, pode ter tido sua área subestimada no mapa final.

Além da validação estatística, foi realizada uma análise comparativa com outros estudos e mapeamentos produzidos na área. O relevo montanhoso, correspondente ao dique anelar que circunda o planalto de Poços de Caldas, e seu interior, com topografia menos movimentada, declividades mais suaves e predomínio dos grupos Colinas e Morros baixos, foram mapeados e/ou descritos por Christofolletti (1973), Brasil (1979), IPT (1981), Leonardi (2007), Moraes e Jiménez-Rueda (2008), Tinós (2011) e Zaine (2011). A área de relevo mais movimentado na porção leste do interior planaltino, onde foram identificadas as classes de Morros baixos, Morros altos e Montanhas baixas, foi mapeada por Leonardi (2007) e relatada por Christofolletti (1972) como uma região com maiores diferenças altimétricas (entre o topo e a base) e declividades mais acentuadas, onde estão localizados o Morro Grande e o Morro do Ferro.

A noroeste e ao sul da área, observou-se que as áreas elevadas pertencentes à Zona Cristalina do Norte (BRASIL, 1979), onde se localizam as Serra da Fu-

maça, Serra do Mirante e Serra do Pau D' alho, foram identificadas satisfatoriamente como Montanhas Baixas, circunvizinhas a Morros baixos e Morros altos. Essas classes correspondem à descrição de Brasil (1979) e IPT (1981), de um relevo movimentado de escarpas e mar de morros, sobretudo a noroeste de Poços de Caldas. A sudoeste a topografia aparece bem menos movimentada, com as classes Terrenos planos e Colinas altas suavizadas marcando a transição do Planalto Sul de Minas para a Depressão Periférica Paulista. Segundo Brasil (1979), IPT (1981) e Moraes e Jiménez-Rueda (2008) essa área é caracterizada pelo predomínio de colinas e morrotes com altitudes que se nivelam àquelas da Depressão Periférica, pelas declividades suaves, dissecação de baixa a moderada e amplitude local com pouca variação.

O nordeste e leste da área de estudo abrangem a região classificada por Brasil (1979) de Planalto Sul de Minas. Segundo os autores, ocorre uma ampla superfície de relevo ondulado a leste da Represa da Graminha (extremo norte da área), classificada no mapa como Colinas altas suavizadas, Colinas altas e Morros baixos. Nas imediações do Rio Pardo, essa área evolui para um relevo mais movimentado, com diferenças altimétricas maiores e declividades mais acentuadas, onde ocorrem predominantemente as classes de Morros baixos e Morros altos. Esses morros se estendem por toda a borda leste do planalto de Poços de Caldas, onde novamente o relevo se suaviza e a classe de Colinas altas suavizadas volta a predominar. Zaine (2011) descreveu e mapeou nessa área um relevo de morros e morrotes em forma de “meia laranja” sustentados por gnaisses e migmatitos, com predomínio de encostas suavizadas, o que se assemelha às classes identificadas no mapa.

Após essa análise comparativa com outros estudos e mapeamentos produzidos na área, observou-se que o mapa final de padrões de formas semelhantes do relevo, produzido nesse trabalho, mostrou-se concordante com

muitas das descrições já realizadas. De modo geral, as classes identificadas correspondem ao tipo de forma do relevo e respectivas áreas de ocorrência relatadas por outros pesquisadores.

5. Conclusão e Recomendações

A metodologia de classificação das formas de relevo, proposta por Hammond (1954, 1964) e aprimorada por Dikau, Brabb e Mark (1991), mostrou-se bastante viável para aplicação na região do planalto de Poços de Caldas, no entanto, alguns fatores precisam ser considerados.

Quanto aos parâmetros de classificação propostos por Hammond (1954, 1964) – declividade, amplitude (relevo local) e perfil do relevo – nota-se, através da Tabela 4, que o perfil do relevo tem pouca influência, sendo considerado apenas na diferenciação entre Tabuleiros e Terrenos planos. Assim, o parâmetro perfil do relevo praticamente não exerceu influência sobre o resultado obtido para a área do planalto de Poços de Caldas, visto que as classes de tabuleiros não apresentaram áreas significativas na região. Sugere-se para um estudo futuro uma investigação mais aprofundada sobre esse parâmetro, especificamente sobre sua escala de detalhe e função nessa metodologia.

Mas o ponto crítico observado nessa proposta de classificação do relevo está relacionado ao tamanho da janela móvel, pois ele determina quais formas do relevo serão integralmente ou parcialmente detectadas e quais formas serão suprimidas. Apesar da janela de 10X10 pixels ter apresentado um melhor resultado estatístico, conclui-se que não existe um tamanho de janela ideal para todas as formas. Melhores resultados seriam alcançados se fosse possível utilizar uma janela móvel específica para cada grupo ou classe de formas do relevo. A medida da janela deve ser testada de acordo com o relevo de cada área, a escala de trabalho escolhida e as formas que se tenha mais interesse em classificar. Nesse trabalho, ressalta-se que a aplicação da análise de contexto espacial complementar à metodologia de classificação foi essencial para superar as limitações encontradas com o tamanho da janela móvel.

Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq pelas bolsas de doutorado concedidas.

Referências

- AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. **Orientação São Paulo**, n. 3, p. 45-48, 1967.
- ADEDIRAN, A. O; PARCHARIDIS, I.; POSCOLIERI, M.; PAVLOPOULOS, K. Computer-assisted discrimination of morphological units on north-central Crete (Greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients. **Geomorphology**, v. 58, n. 1-4, p. 357-370, 2004. ISSN 0169-555X.
- ARRELL, K. E.; FISHER, P. F.; TATE, N. J.; BASTIN, L. A fuzzy c-means classification of elevation derivatives to extract the morphometric classification of landforms in Snowdonia, Wales. **Computers & Geosciences**, v. 33, n. 10, p. 1366-1381, 2007. ISSN 0098-3004.
- AZEVEDO, A. O planalto brasileiro e o problema da classificação de suas formas de relevo. **Boletim Paulista do Geografia**, n. 2, p. 43-50, 1949.
- BERTANI, T. C.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Object-based classification of vegetation and terrain topography in Southwestern Amazonia (Brazil) as a tool for detecting ancient fluvial geomorphic features. **Computers & Geosciences**, v. 60, p. 41-50, 2013.
- BETTÚ, D. F. **Nova metodologia probabilística multivariada para mapeamento de unidades de paisagem geomórficas**. 2012. 211 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- BIAS, E. S.; RIBEIRO, R. J. C.; BAPTISTA, G. M. M.; BERNARDI, J. V. E. Avaliação da exatidão do MDE obtido por meio do SRTM e pela de carta do IBGE na escala 1:100.000. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 1, p. 149-155, 2011.
- BOCCO, G.; MENDOZA, M.; VELAZQUEZ, A. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping—a tool for land use planning in developing countries. **Geomorphology**, v. 39, p. 211–219, 2001.
- BRABYN, L. K. **Landscape classification using GIS and national digital databases**. 1996. 256 f. Doutorado (Doctor of Philosophy) - Department of Geography, University of Canterbury, New Zealand, 1996.
- BRABYN, L. K. Classification of macro landforms using GIS. **ITC Journal**, v. 1, p. 26-40, 1998.
- BRASIL - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Projeto Sapucaí: Estados de Minas Gerais, Rio**

- de Janeiro e São Paulo. Relatório Final de Geologia. Brasília: DNPM/CPRM, Superintendência Regional de São Paulo: 299 p., 1979.
- BRASIL -. Projeto RADAMBRASIL, Folha SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória :geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1983.
- BURROUGH, P. A.; VAN GAANS, P. F. M.; MACMILLAN, R. A. High-resolution landform classification using fuzzy k-means. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 113, n. 1, p. 37–52, 2000.
- CARR, J. R. Spectral and textural classification of single and multiple band digital images. **Computers & Geosciences**, v. 22, n. 8, p. 849-865, 1996. ISSN 0098-3004.
- CASSETI, V. Geomorfologia. 2005. Disponível em: < <http://www.funape.org.br/geomorfologia> >. Acesso em: 02/05/2013.
- CHRISTIAN, C. S. The concept of land units and land systems. In: PACIFIC SCIENCE CONGRESS, 9, 1958, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: Secretariat Ninth Pacific Science Congress, 1958. Vol. 20, p. 75-81.
- CHRISTOFOLETTI, A. Características fisiográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG, Brasil). **Geomorfologia**, n. 32, p. 1-26, 1972.
- CHRISTOFOLETTI, A. A unidade morfoestrutural do planalto de Poços de Caldas. **Notícias Geomorfológicas**, v. 13, n. 26, p. 77-85, 1973.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 2009. 183 p.
- DIKAU, R.; Brabb, E. E.; Mark, R. K.; Pike, R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico. **Zeitschrift für Geomorphologie**, N.F. Suppl.-Bd, Berlin, v. 101, p. 109-126, dez. 1995.
- DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. M. **Landform Classification of New Mexico by Computer**. EUA: U.S. Geological Survey: 15 p., 1991.
- DRĂGUT, L.; BLASCHKE, T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, v. 81, p. 330-344, 2006.
- DRĂGUT, L.; EISANK, C. Automated classification of topography from SRTM data using object-based image analysis In: GEOMORPHOMETRY, 2, 2011. Redlands. **Proceedings...** Redlands: Esri, 2011. p.113-116.
- DRĂGUT, L.; EISANK, C. Automated object-based classification of topography from SRTM data. **Geomorphology**, v. 141-142, p. 21-33, 2012.
- EHSANI, A. H.; QUIEL, F. Geomorphometric feature analysis using morphometric parameterization and artificial neural networks. **Geomorphology**, v. 99, n. 1-4, p. 1-12, 2008.
- ELLERT, R. Contribuição à Geologia do Maciço Alcalino de Poços de Caldas. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras - USP**, v. 237, n. 18, p. 5-63, 1959.
- EMBLETON, C.; VERSTAPPEN, H. T. The nature and objectives of applied geomorphological mapping. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 68, p. 1-8, 1988.
- ESRI. **ArcGIS 10.1 for Desktop**. Redlands: ESRI, 2011. Cópia digital.
- EVANS, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). **Spatial Analysis in Geomorphology**. New York: Harper and Row, 1972. p.17-90.
- FENNEMAN, N. M. **Physiography of the Eastern United States**. Nova York: McGraw-Hill, 1938.
- GHIMIRE, M. Multivariate morphological characteristics and classification of first-order basins in the Siwaliks, Nepal. **Geomorphology**, v. 204, n. 1, p. 192–207, 2014.
- HAMMOND, E. H. Small scale continental landform maps. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 54, p. 32-42, 1954.
- HAMMOND, E. H. Analysis of properties in landform geography: An application to broadscale landform mapping. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 54, n. 1, p. 11-19, 1964.
- HENGL, T.; BAJAT, B.; REUTER, H. I.; BLAGOJEVIĆ, D. Geostatistical modelling of topography using auxiliary maps. **Computers & Geosciences**, v. 34, n. 12, p. 1886-1899, 2008.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos em geociências. Rio de Janeiro: IBGE: 175 p., 2009.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:1 000 000. São Paulo: IPT, 1981.
- JOSHI, P. N.; MAURYA, D. M.; CHAMYAL, L. S. Morphotectonic segmentation and spatial variability of neotectonic activity along the Narmada–Son Fault, Western

- India: Remote sensing and GIS analysis. **Geomorphology**, v. 180-181, p. 292-306, 2013.
- KLINGSEISEN, B.; METTERNICHT, G.; PAULUS, G. Geomorphometric landscape analysis using a semi-automated GIS-approach. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, n. 1, p. 109-121, 2008.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977. ISSN 0006341X.
- LEONARDI, F. A. **A relação dos perfis lateríticos bauxíticos com as superfícies geomórficas do planalto de Poços de Caldas SP/MG**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
- MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and Landform Elements in Geomorphometry. In: HENGL, T. e REUTER, H. I. (Ed.). **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications**. Amsterdam: Elsevier, 2008. Cap. 09, p.227-256.
- MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; LÓPEZ, A. J.; ROMERO, M. A.; PARRALES, I. G.; CROCCI, N. B. Clasificación Automática de Elementos Geomorfológicos en La Cuenca del Río Tepalcatepec (México) A partir de un Modelo Digital de Elevaciones. **Cuaternario y Geomorfología**, v. 19, n. 3-4, p. 49-61, 2005.
- MARTÍNEZ-ZAVALA, L.; LÓPEZ, A. J.; SANMIGUEL, P. I. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al Análisis del Medio Físico en el Parque Natural los Alcornocales. Aproximación a una Cartografía Geomorfológica a Partir de un Modelo Digital de Elevaciones. **Almoraima**, v. 35, p. 245-254, 2007.
- MARTINS, E. S. F. **Avaliação da exatidão cartográfica de dados SRTM e atualização da carta plani-altimétrica Salinópolis - NE do Pará**. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, 2010.
- MEDEIROS, L. C.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G. Avaliação da qualidade altimétrica dos modelos digitais de elevação obtidos a partir da missão SRTM e de curvas de nível do Mapeamento Sistemático Nacional na escala 1:100.000 para o Estado de Goiás e Distrito Federal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO, 9, 2008, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. p. s/p.
- MEIJERINK, A. M. J. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. **ITC Journal**, v. 1, p. 23-44, 1988.
- METTERNICHT, G.; KLINGSEISEN, B.; PAULUS, G. A semi-automated approach for GIS based generation of topographic attributes for landform classification. In: INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 22, 2005, La Coruña. **Proceedings...** La Coruña: The International Cartographic Association, 2005. p.1-10.
- MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 196-208, 2008.
- MORGAN, J. M.; LESH, A. M. Developing Landform Maps Using Esri's Modelbuilder. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE, 25, 2005, Redlands. **Proceedings...** Redlands: ESRI, 2005. p.1-11.
- PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F. F. M.; PRANDINI, F. L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 94p.
- ROSS, J. L. S. Relevo Brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 4, p. 25-39, 1985.
- ROSS, J. L. S. **Geomorfologia - Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990. 64p.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia Depto de Geografia FFLCH-USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica - Geologia Aplicada - IPT/FAPESP, 1997. 63p.
- SCHMIDT, J.; HEWITT, A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. **Geoderma**, v. 24, n. 3-4, p. 243-256, 2004.
- SOLNTSEV, N.A. Basic problems in Soviet landscape science. **Soviet Geography** – Review and Translation, v. 3, n. 6, p. 3-15, 1962.
- SPEIGHT, J. G. A parametric approach to landform regions. In: GEOGRAPHERS, I. O. B. (Ed.). **Progress in Geomorphology, Special Publication**. Oxford: Alden & Mowbray Ltd at the Alden Press, v.7, 1974. p.213-230.
- SPEIGHT, J. G. Landform. In: MCDONALD, R. C.; ISBELL, R. F.; SPEIGHT, J. G.; WALKER, J.; HOP, M. S. (Ed.). **Australian Soil and Land Survey Field Handbook**. Melbourne: Inkata Press, 1990. p.9-57.
- STEINKE, V. A.; SANO, E. E. Semi-automatic identification, GIS-based morphometry of geomorphic features of Federal District of Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 1, p. 3-9, 2011.

- TINÓS, T. M. **Mapeamento geológico-geotécnico a partir de metodologia de análise integrada: ensaio de aplicação no município de Poços de Caldas - MG.** 2011. 135 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.
- VASCONCELOS, V.; JÚNIOR, O. A. C.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 171-186, 2012.
- VEATCH, J. O. Graphic and quantitative comparisons of land types. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 27, p. 505-510, 1935.
- VERHAGEN, P.; DRĂGUȚ, L. Object-based landform delineation and classification from DEMs for archaeological predictive mapping. **Journal of Archaeological Science**, v. 39, n. 3, p. 698-703, 2012.
- VERSTAPPEN, H. T.; VAN ZUIDAM, R. A. (1968) **ITC System of Geomorphological Survey**: ITC Textbook of Photo-interpretation. 3ª Ed. Enschede: International Institute of Aerial Survey and Earth Sciences, 1975. 52p.
- ZAINE, J. E. **Método de fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG.** 2011. 97 f. Tese (Livre – docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.