



Classificação da pedoforma a partir do *Geomorphons* e sua relação com classes de solos⁽¹⁾.

Michele Duarte de Menezes⁽²⁾; Guilherme Izepe Moreira⁽³⁾; Sérgio Henrique Godinho Silva⁽⁴⁾; João José Marques⁽⁵⁾; Nilton Curi⁽⁵⁾.

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos do CNPq, CAPES e FAPEMIG.

⁽²⁾Professora; Universidade Federal de Lavras; Lavras; Minas Gerais; michele.menezes@dcs.ufla.br ⁽³⁾Estudante, Universidade Federal de Lavras; ⁽⁴⁾ Doutorando, Universidade Federal de Lavras; ⁽⁵⁾ Professor, Universidade Federal de Lavras.

RESUMO: Diversas ferramentas para apoio ao mapeamento digital de solos têm sido desenvolvidas recentemente. Uma delas é o *Geomorphons*, que classifica a paisagem em 10 pedoformas diferentes. Este trabalho objetivou testar diferentes tamanhos de *pixel* e raios para cálculo do *Geomorphons* para identifica o que melhor se relaciona com classes de solos de uma área experimental de Minas Gerais. Foram usados Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de 10, 20 e 30 m de resolução, gerados a partir de curvas de nível e pontos de elevação para a geração dos *Geomorphons* com diferentes raios (5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 células). O mapa de solos foi sobreposto a cada uma das 10 pedoformas que o *Geomorphons* identifica e foi calculada a área de cada solo ocorrendo em cada pedoforma. Através do teste qui-quadrado a 5% de probabilidade, foi verificada qual a resolução e raio tiveram melhor relação com as classes de solos. O *Geomorphons* de raio 40 e resolução de 10 m obteve qui-quadrado de 114,049, sendo o de melhor relação com as classes de solos. Com a criação de novos algoritmos de segmentação de pedoformas, a sua relação com os solos precisam ser quantitativamente levantadas e estudadas, para que sejam adequadamente aplicadas às condições tropicais brasileiras.

Termos de indexação: geomorfometria, qui-quadrado, estatística geoespacial.

INTRODUÇÃO

Diante da necessidade de informações mais detalhadas sobre solos, o mapeamento digital de solos tem buscado o uso de novas técnicas e ferramentas mais quantitativas, além de empregar inovações na publicação e visualização de dados relacionados a solos (Grunwald, 2009).

Considerando as covariáveis ambientais atualmente usadas para a predição espacial de

solos, os modelos digitais do terreno representam o fator relevo e têm sido considerados como mais úteis e mais quantitativamente desenvolvidos dentre as covariáveis (McBratney et al., 2003). Neste sentido, temos, por exemplo, as pedoformas, que estão relacionadas à morfologia externa do solo (Curi et al., 1993), cuja segmentação consiste em um passo importante na obtenção de mapas de solos, pois estão frequentemente associadas a corpos naturais de solos (Buringh, 1960). Atualmente, tal análise do terreno dá-se em moldes mais quantitativos, cujo conjunto de análise chama-se Geomofometria (Pike, 2000).

Um algoritmo desenvolvido para a classificação e mapeamento de pedoformas consiste no *Geomorphons* (Jaziewicz & Stepinski, 2013). Este algoritmo reconhece o total de 468 padrões de pedoformas idealizadas, que são independentes do tamanho, relevo e orientação da pedoforma. Dentre todas as pedoformas geradas, 10 são mais comuns: flat, peak, ridge, shoulder, spur, slope, footslope, hollow, valley e pit. Para a sua criação, é possível determinar a distância em *pixels* (raio) a ser considerada para a definição da pedoforma em cada célula de interesse.

Já os estudos relacionados à pedopaisagem vão além das formas, pois consideram também as qualidades pedológicas do terreno (Curi et al., 1993).

Métodos mais quantitativos e menos subjetivos podem ser empregados no estabelecimento de pedopaisagens, como é o caso do uso dos sistemas de informação geográfica (SIG) para o cruzamento entre pedoformas e solos, além de técnicas de estatística geoespacial, como a análise de qui-quadrado, que mede o grau de relação entre tais variáveis espaciais.

Este trabalho objetivou o estabelecimento de pedopaisagens com base em técnicas mais quantitativas, a partir de mapa de solos e o algoritmo *Geomorphon*.

MATERIAL E MÉTODOS



O trabalho foi realizado na Fazenda Muquém, de propriedade da Universidade Federal de Lavras, localizada entre os municípios de Lavras e Ijaci - MG, entre as longitudes 500.644 e 502.506 e latitudes 7.656.538 e 7.655.112 (UTM/SAD 69 23K), com altitude média de 941 m e área de 152 ha. A área se insere na unidade geomorfológica do Planalto Atlântico, especificamente na Superfície do Alto Rio Grande, onde predomina relevo ondulado. Geologicamente a região é representada, predominantemente, por rochas do Complexo Varginha, do Arqueano, com material de origem dos solos provenientes da alteração de gabro e granito-gnaiss. A região de estudo apresenta clima Cwb, segundo a classificação de Köppen. A precipitação e a temperatura médias anuais são de 1.460 mm e 20,4°C, respectivamente (Dantas et al., 2007). A vegetação nativa local é floresta tropical subperenifólia.

Foram gerados MDEs de três diferentes resoluções espaciais: 10 m, 20 m e 30 m, a partir de curvas de nível e pontos de elevação da área. A partir dos três MDEs, utilizou-se o site <http://sil.uc.edu/geom/app> (Jasiewicz & Stepinsk, 2013) para a confecção dos geomorphons.

Outro parâmetro que deve ser escolhido para a determinação das pedoformas consiste no raio de procura máxima para reconhecimento de cada geomorphon. A unidade de medida é dada em células ou *pixels*. A escolha deste valor depende da resolução original do MDE e da variabilidade espacial das pedoformas. Além disso, quanto maior a quantidade de células, maior o custo computacional para o cálculo. Nesse estudo foram empregados os raios de 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 células para geração de mapas de pedoforma.

Com o intuito de estabelecer pedopaisagens de modo menos subjetivo, os seguintes passos foram realizados:

- 1) no programa ArcGIS 10.1 (ESRI), fez-se a conversão dos diferentes mapas de geomorphons para o formato de polígono;
- 2) tais mapas foram cruzados ao mapa de solos (escala 1:10.000, Silva et al., 2014) em ambiente SIG a partir da ferramenta *overlay union*;
- 3) o cálculo da área foi feito para cada polígono criado a partir do cruzamento geomorphon *versus* classe de solo;
- 4) calcularam-se as relações de dependência entre cada geomorphon e as classes de solo, a partir do teste de qui-quadrado, a 5% de probabilidade, conforme a fórmula abaixo:

$$\chi^2 = \frac{\sum(o - e)^2}{e}$$

em que χ^2 é o valor de qui-quadrado, o é a frequência observada para cada classe, e e , o valor esperado para cada classe. A interseção de maior valor de χ^2 acima do valor crítico (χ^2 crítico) foi considerada a mais satisfatória.

Após a definição do Geomorphon de maior relação com as classes de solos, foi realizada uma análise das classes predominantes em cada pedoforma.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos com os diferentes tamanhos de *pixel* e raios de cálculo dos Geomorphons, foram obtidos os valores de Qui-quadrado apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação de dependência entre classes de solos e Geomorphons com diferentes raios e resoluções espaciais pelo método do Qui-quadrado.

Raio	Resolução espacial do MDE		
	10 m	20 m	30 m
5	44,890	74,310	83,382
7	55,007	85,751	74,705
10	73,594	105,378	60,459
15	68,808	87,882	74,313
20	85,494	81,466	77,296
25	92,064	74,630	85,959
30	102,974	77,901	88,196
40	114,049	82,743	93,581
50	106,558	84,517	-

O valor de Qui-quadrado crítico para 79 graus de liberdade (8 classes de solos e 10 pedoformas) a 5% de probabilidade é de 100,749. Portanto, todos os valores acima deste representam que há relação entre as classes de solos e Geomorphons. E, ainda, quanto mais distante do qui-quadrado crítico, maior o grau de relação. Não foi possível o cálculo para o raio de 50 e resolução de 30 m devido ao tamanho dos polígonos da classe de solo. Dentre os que tiveram melhor relação, a interseção de resolução espacial de 10 m e raio igual a 40 foi o que apresentou melhores resultados (**Figura 1**). Deste



modo, dos Geomorphons gerados, esse é o que melhor apresentou relação com as classes de solos da Fazenda Muquém.

Notou-se ainda que a variação do tamanho do *pixel* e do raio foi suficiente para gerar resultados bem diferentes. Isso ressalta a importância de testar e ajustar as novas ferramentas de mapeamento digital de solos para condições tropicais e para cada área de estudo.

A **tabela 2** apresenta a área que cada classe de solo ocupa em cada pedoforma do Geomorphon de 10 m de resolução e 40 células de raio. Observa-se que as classes de solo com maior área em determinada pedoforma na Fazenda Muquém foram solos indiscriminados de várzea no Valley, Neossolo Litólico (RL) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) no Spur, Nitossolo Bruno (NB), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo Háptico (CX) ocorreram no Slope, Latossolo Vermelho (LV) no Shoulder e Gleissolo Melânico (GM), no Hollow. Valley e Hollow são pedoformas características de regiões mais côncavas da paisagem, corroborando com a ocorrência de GM e SIV nessas condições. RL e PVA apareceram mais na pedoforma Spur, caracterizando uma porção mais convexa e movimentada da paisagem. CX, NB e LVA apareceram mais na condição Slope, meio da encosta. O LV predominou em Shoulder, logo abaixo dos topos onde era esperado, possivelmente pelos topos dessa paisagem serem estreitos.

Na **figura 1** é possível ver o mapa de Geomorphons com o mapa de classes de solos sobreposto. Percebe-se que o mapa de geomorphon apresenta mais detalhes que o mapa de solos, mostrando que a mesma classe pode ocorrer em diferentes pedoformas.

Ashtekar et al. (2014) utilizaram o Geomorphon e outros atributos de terreno para mapeamento de atributos do solo na Colômbia fazendo um agrupamento de diferentes pedoformas em uma só classe, uma vez que o efeito das mesmas naqueles solos seria semelhante. Possivelmente esse tipo de ajuste também precisa ser feito para a área deste estudo, visando ao emprego desta ferramenta em levantamentos de solos ou em estudos sobre as relações solo-paisagem.

CONCLUSÕES

O algoritmo Geomorphon tem potencial para estudos sobre a relação solo-paisagem, conforme apontaram os índices estatísticos.

Com a criação de novos algoritmos de segmentação de pedoformas, a sua relação com os solos precisam ser quantitativamente levantadas e estudadas, para que sejam adequadamente aplicadas às condições tropicais brasileiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, Capes e Fapemig pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASHTEKAR, J.M.; OWENS, P.R.; BROWN, R.A.; WINZELER, H.E.; DORANTES, M.; LIBOHOVA, Z.; DASILVAAND, M. & CASTRO, A. Digital mapping of soil properties and associated uncertainties in the Llanos Orientales, South America. In: ARROUAYS, D.; MCKENZIE, N.; HEMPEL, J.; FORGES, A.C.R.; McBRATNEY, A.B., eds. GlobalSoilMap: Basis of the global spatial soil information system. London. 2014. p.367-372.
- BURINGH, P. The application of aerial photographs in soil surveys. In: COLWELL, R.R., ed. Manual of Photographic Interpretation. Washington. American Society of Photogrammetry, 1960, p.633-666.
- CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. Vocabulário de ciência do solo. Campinas: SBCS, 1993. 90 p.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. Ciência e Agrotecnologia, 31:1862-1866, 2007.
- GRUNWALD, S. Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. Geoderma, 152:195–207, 2009.
- McBRATNEY; A.B.; MENDONÇA-SANTOS, M.L. & MINASNY, B. On digital soil mapping. Geoderma, 117:3–52, 2003.
- PIKE, R.J. Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis. Progress in Physical Geography, 24:1–20, 2000.
- JASIEWICZ, J. & STEPINSKI, T.F. Geomorphons - a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. Geomorphology, 182:147–156, 2014.
- SILVA, B.M.; Santos, W.J.R.; Marques, J.J. Levantamento detalhado dos solos da fazenda Muquém/UFLA, Lavras, MG. Lavras: Editora UFLA. Boletim Técnico n° 98, 2014, p.1-76.

Tabela 2 - Área (ha) de cada classe de solo nos diferentes geomorphons.

Classes de Solo ¹	Geomorphons									
	Flat	Peak	Ridge	Shoulder	Spur	Slope	Hollow	Valley	Pit	
SIV	0	0	0	0	0	0,44	2,24	8,02	1,09	
RL	0	0	0,36	0,03	2,35	1,98	1,22	0,09	0	
PVA	0	0	2,79	0,13	10,81	8,52	4,67	4,00	0,59	
NB	0	0,54	2,58	0,04	3,47	4,44	1,25	0,92	0	
LVA	0,01	0,47	9,01	0,02	12,95	15,33	5,24	4,41	0	
LV	0,38	0	1,35	2,67	0,93	1,48	0,35	0	0	
GM	0	0	0	0	0	0,70	0,22	0,04	0	
CX	0	0	2,18	0,22	5,78	13,10	12,02	6,26	0,79	

¹SIV – solos indiscriminados de várzea, RL – Neossolo Litólico; PVA – Argissolo Vermelho-Amarelo; NB – Nitossolo Bruno; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; LV – Latossolo Vermelho; GM – Gleissolo Melânico; CX – Cambissolo Háplico.

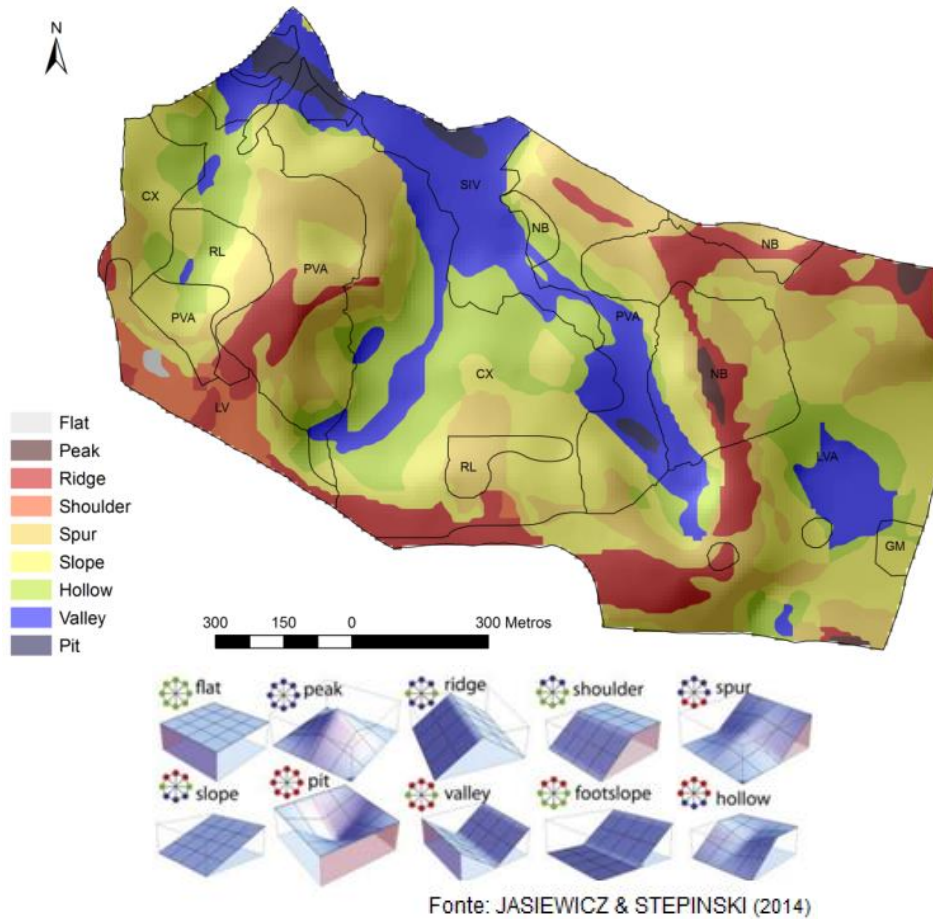


Figura 1 - Contorno das classes de solos sobre os diferentes geomorphons para a área de estudo e formas de cada geomorphon.