

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

USO DE REGRESSÕES LOGÍSTICAS MÚLTIPLAS PARA MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS NO PLANALTO MÉDIO DO RS⁽¹⁾

Samuel Ribeiro Figueiredo⁽²⁾, Elvio Giasson⁽³⁾, Carlos Gustavo
Tornquist⁽⁴⁾ & Paulo César do Nascimento⁽³⁾

RESUMO

Regressões nominais logísticas estabelecem relações matemáticas entre variáveis independentes contínuas ou discretas e variáveis dependentes discretas. Essas foram avaliadas quanto ao seu potencial em prever a ocorrência e distribuição de classes de solos na região dos municípios de Ibirubá e Quinze de Novembro (RS). A partir de modelo numérico de terreno digital (MNT) com 90 m de resolução, foram calculadas variáveis de terreno topográficas (elevação, declividade e curvatura) e hidrográficas (distância dos rios, índice de umidade topográfica, comprimento de fluxo de escoamento e índice de poder de escoamento). Foram então estabelecidas regressões logísticas múltiplas entre as classes de solos da região com base em levantamento tradicional na escala 1:80.000 e as variáveis de terreno. As regressões serviram para calcular a probabilidade de ocorrência de cada classe de solo, e o mapa final de solos estimado foi produzido atribuindo-se a cada célula do mapa a denominação da classe de solo com maior probabilidade de ocorrência. Observou-se acurácia geral (AG) de 58 % e acurácia pelo coeficiente Kappa de Cohen de 38 %, comparando-se o mapa original com o mapa estimado dentro da escala original. Uma simplificação de escala foi pouco significativa para o aumento da acurácia do mapa, sendo 61 % de AG e 39 % de Kappa. Concluiu-se que as regressões logísticas múltiplas apresentaram potencial

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada no Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Trabalho apresentado no XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007 (Gramado, RS).

⁽²⁾ Perito Federal Agrário do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, Superintendência Regional de Santarém-PA. Av. Presidente Vargas, sem número, CEP 68949-006, Santarém, PA. Email: s.r.figueiredo@bol.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Avenida Bento Gonçalves, 7712, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. Emails: giasson@ufrgs.br e 00009911@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Pós-doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRGS. Avenida Bento Gonçalves, 7712, CEP 91.501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. Email: cgtorn@terra.com.br

preditivo para serem usadas como ferramentas no mapeamento supervisionado de solos.

Termos de indexação: SIG, modelo numérico de terreno, topografia, hidrografia, mapeamento digital de solos

**SUMMARY: MULTIPLE LOGISTIC REGRESSION APPLIED TO SOIL SURVEY
IN RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL**

Logistic nominal regressions establish mathematical relations between continuous or discrete independent variables and discrete dependent variables. The prediction potential of the occurrence and distribution of soil classes in the region Ibirubá and Quinze de Novembro, RS, Brazil was evaluated. Using a digital elevation model (DEM) with 90 m resolution, were calculated several topographic characteristics (elevation, slope, and curvature) and hydrographic variables (distance to rivers, flow length, topographical wetness index, and stream power index). Multiple logistic regressions were established between the soil classes mapped on the basis of a traditional survey at a scale of 1:80.000 and the land variables calculated using the DEM. The regressions were used to calculate the probability of occurrence of each soil class. The final estimated soil map was drawn by assigning the soil class with highest probability of occurrence to each cell. The general accuracy was evaluated at 58 % and the Kappa coefficient at 38 % in a comparison of the original soil map with the map estimated at the original scale. A legend simplification had little effect to increase the general accuracy of the map (general accuracy of 61 % and Kappa coefficient of 39 %). It was concluded that multiple logistic regressions have a predictive potential as tool of supervised soil mapping.

Index terms: GIS, digital elevation model, topography, hydrography, digital soil mapping.

INTRODUÇÃO

As informações advindas de um levantamento de solos são importantes para o planejamento e otimização da expansão urbana e rural e não menos importantes em questões relativas à gestão de recursos naturais e preservação ambiental. A utilidade de um mapa de solos está diretamente relacionada com sua escala, que é uma medida de seu grau de detalhamento (Schneider & Klamt, 1996).

Atualmente, o Brasil tem 80 % de seu território coberto pelo levantamento de solos produzido pelo Projeto Radambrasil (1986) em escala de 1:1.000.000, e, no Rio Grande do Sul, também estão disponíveis dados do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do RS em escala de 1:750.000 (Brasil, 1973). Mapas de solo em escalas pequenas como essas não são adequados para o planejamento de uso e manejo de solos em municípios, bacias hidrográficas ou propriedades rurais bem como projetos de assentamentos, sendo necessários mapas em escalas mais detalhadas para esse fim (Dalmolin et al., 2004).

Considerando a utilidade desses mapas em escala maior e a demanda crescente por informações que auxiliem no processo de tomada de decisão relacionadas com a expansão urbana e rural e em questões relacionadas com a preservação ambiental, é

necessário que maiores áreas sejam cobertas por mapas mais detalhados. Entretanto, os custos envolvidos, a grande demanda de tempo e trabalho e a necessidade de recursos humanos com elevado potencial técnico tornam a execução desses levantamentos mais detalhados pelos métodos tradicionais somente exequível em pequenas extensões territoriais.

Dessa forma, métodos computacionais baseados na descrição de atributos derivados de modelo numérico de terreno e a associação desses com a ocorrência e distribuição de solos, como é o caso do mapeamento supervisionado de solos, revestem-se de grande importância, pela relevância das informações resultantes da produção de mapas em maior escala associados à economicidade e rapidez de aquisição, processamento e fornecimento de resultados por meio de um sistema de informações geográficas (Hengl & Rossiter, 2003).

Vários métodos têm sido usados para estabelecer essas relações matemáticas e estatísticas entre solos e variáveis do terreno, podendo ser verificadas extensas revisões acerca desta temática em McBratney et al. (2003) e Zhu et al. (1997).

Recentemente, tem crescido o interesse acerca do emprego de regressões nominais logísticas como método preditivo. Essas regressões estabelecem

relações matemáticas entre variáveis dependentes discretas e variáveis independentes contínuas ou discretas. Campling et al. (2002), por exemplo, empregaram as regressões logísticas na predição da probabilidade espacial da ocorrência de classes de drenagem de solos usando atributos derivados do modelo numérico de terreno e índices de vegetação por meio de imagens LANDSAT-5 em região tropical úmida da Nigéria, com acurácia entre o mapa de solos original e o mapa estimado variando de 95 a 65 %, à medida que aumentava o grau de detalhamento com a separação das classes.

Este trabalho teve por objetivo produzir mapas de solos utilizando de relações matemáticas entre variáveis dependentes discretas (tipos de solos) e variáveis independentes contínuas (atributos de terreno) por meio de regressões nominais logísticas em sistemas de informações geográficas.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição da área de estudo

Este estudo foi desenvolvido em área coberta pelo “Levantamento e Utilização Agrícola dos Solos do Município de Ibirubá” (Santos et al., 1970), que compreende o município de Ibirubá e parte do município de XV de Novembro, com uma extensão de aproximadamente 720 km² (Quadro 1). A área está situada entre os paralelos 28° 28' e 28° e 56' Sul e os meridianos 53° 00' e 53° 34' Oeste, na região fisiográfica do Planalto Médio do RS. O clima da região é subtropical úmido, com uma temperatura média anual de 17,5 °C. A precipitação pluvial anual situa-se na faixa de 1.500 mm e acompanha o regime de chuvas de inverno.

A região apresenta uma geomorfologia caracterizada por coxilhas tabulares, que se

desenvolveram sobre os derrames basálticos da Formação Serra Geral. Essas elevações caracterizam-se por apresentar topos achatados quanto ao perfil e arredondados em planta, relevo ondulado a suave ondulado e padrão de drenagem retangular. Entretanto, em áreas de maior altitude, ocorre relevo forte ondulado. A geologia da área de estudo é constituída por derrames basálticos da formação Serra Geral, do período Jurássico-Cretáceo. Ao Sul e a Oeste, encontra-se a formação Tupãciretã que é uma seqüência sedimentar constituída por conglomerados, arenitos e argilas, que cobrem os derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Nas áreas de maior altitude, desenvolve-se a floresta latifolia tropical entremeada por pinheiros. Junto aos cursos de água, encontram-se matas de galeria, constituídas por vegetação densa. A vegetação de campo apresenta-se com espécies compostas de verbenáceas, ciperáceas, leguminosas e gramíneas.

Análise do terreno

As variáveis de terreno empregadas neste estudo foram obtidas pelo modelo numérico do terreno (MNT). O MNT foi obtido por meio do banco de dados digital USGS SDTS – SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) (Rabus et al., 2003), com uma resolução de 3 arc sec, correspondendo a uma unidade de resolução mínima de imagem de 90m.

O ambiente para o cálculo das variáveis foi o sistema de informações geográficas ArcView 3.2 (ESRI, 1992). O MNT foi usado diretamente ou como componente no cálculo de 11 variáveis de terreno: declividade, curvatura, curvatura planar, perfil da curvatura, direção do escoamento, acumulação do escoamento, comprimento do escoamento, índice de umidade topográfica e distância dos rios (Park et al., 2001; Campling et al., 2002; Florinsky et al., 2002; Hengl & Rossiter, 2003; Schmidt & Hewitt, 2004).

Quadro 1. Unidades de mapeamento do Levantamento e Utilização Agrícola dos Solos do município de Ibirubá (Santos et al., 1970)

Unidade de mapeamento	Legenda	Área	Fração da área total
		ha	%
Latossolo Vermelho aluminoférrico (forte ondulado)	LVaf (o-fo)	26.732	35,5
Latossolo Vermelho aluminoférrico (ondulado)	LVaf (o)	29.879	39,6
Latossolo Vermelho distrófico textura média	LVd1	2.366	3,2
Latossolo Vermelho distrófico textura arenosa	LVd2	1.492	2,0
Chernossolo argilúvico férrico típico e Neossolo litólico eutrófico chernossólico	MTf-RDe	10.287	13,7
Solos hidromórficos	RU	1.234	1,6
Total		72.000	100

Os mapas de distribuição dessas variáveis nas áreas de estudo foram obtidos do MNT pelo uso de extensões ou “scripts” contidos no sistema de informações geográficas em ambiente Arcview. Em cada mapa de variáveis e no mapa de solos, foi feita extensiva amostragem randômica de aproximadamente um ponto de amostragem a cada 10 ha, sendo essas informações extraídas do ambiente Arcview e importadas no pacote estatístico Minitab (MINITAB, 1996) onde foram realizadas análises com vistas em determinar as regressões logísticas múltiplas.

As regressões logísticas mostraram formas peculiares para verificar a adequação da função logit (modelo matemático) na predição do fenômeno de interesse. Dessa forma, vários fatores foram considerados na escolha dos componentes do modelo, como o *log likelihood*, o valor de G e a probabilidade de erro de cada variável que deve ser inferior a 5 %.

As equações das regressões logísticas múltiplas foram escritas para o ambiente ArcView 3.2 por meio de “scripts” na linguagem de programação Avenue. No mesmo *script*, foram incluídas programações para a confecção de mapas de probabilidade de ocorrência de cada uma das unidades de mapeamento de solo.

A partir dos mapas de probabilidade de ocorrência de cada unidade de mapeamento, por meio das funções *Map Query* e *Map Calculator* do Arcview 3.2, foram produzidos mapas individuais de ocorrência de cada unidade de mapeamento, consistindo cada um de mapas de áreas nas quais cada unidade de mapeamento apresentou maior probabilidade de ocorrência. A sobreposição desses mapas complementares originou o mapa final de solos estimado.

Avaliação da acurácia dos mapas produzidos

Para avaliar a acurácia dos mapas produzidos, foram construídas matrizes de erro (Congalton, 1991),

relacionando o mapa estimado com o mapa original. Em cada matriz de erros, foram calculados a acurácia geral (AG), a acurácia do usuário (AU), a acurácia do mapeador (AP) e o coeficiente Kappa de Cohen (Cohen, 1960).

A AG foi estimada com base no produto da soma das observações correspondentes entre o original e estimado pelo total de observações da matriz de forma percentual.

AAU e AP foram calculadas dividindo-se o número de observações correspondentes entre o mapa original e o estimado pela soma de observações não-correspondentes de cada solo, expresso na forma percentual.

O coeficiente Kappa de Cohen foi calculado por $k = (Po - Pe) / (T - Pe)$, em que Po é o número de pontos observados que concorda com o mapa original, Pe é o número de pontos esperados que deveria corresponder ao mapa original e T é o número total de observações da matriz.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de variáveis independentes selecionadas por comporem regressões logísticas múltiplas com maiores valores de log likelihood e G com probabilidade individual de erro inferior a 5 % foram: elevação, índice de umidade topográfica (IUT), índice de poder de escoamento superficial (IPES), curvatura, declividade, distância dos rios e comprimento de fluxo (Figura 1 e Quadro 2). Variáveis como declividade, curvatura e elevação estão presentes em vários modelos de predição de classes de solos (Zhu et al., 2003; McBratney et al., 2003).

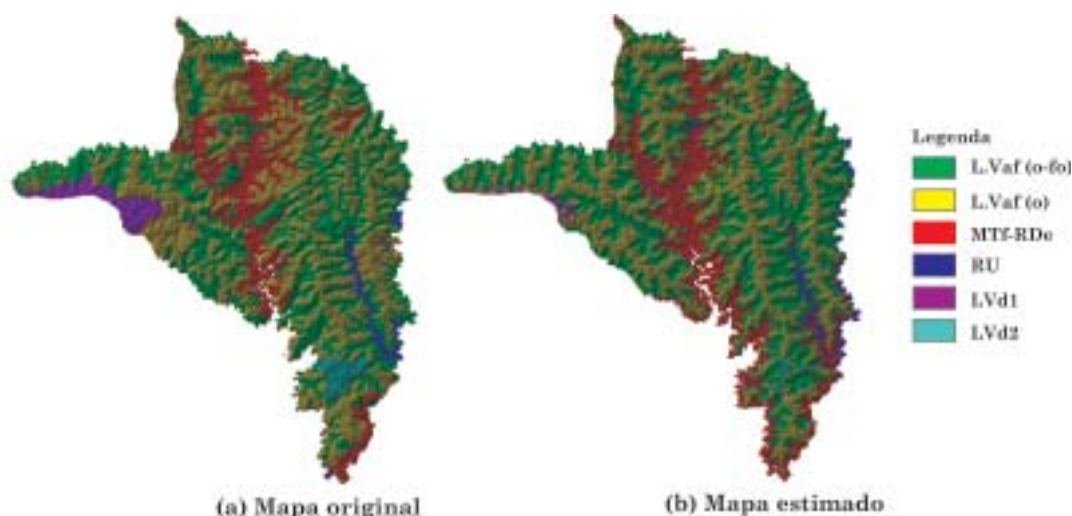


Figura 1. Mapas de solos: original (a) e estimado por regressões logísticas (b) nos municípios de Ibirubá e Quinze de Novembro (RS).

Recentemente, tanto o IUT como o IPES vêm sendo usados para explicar a ocorrência de unidades de mapeamento de solos em alguns modelos (Hengl & Rossiter, 2003). O IUT reflete a tendência de acúmulo de água em qualquer ponto da paisagem e a segundo mede o poder erosional do escoamento superficial. Ambos os índices são adimensionais e refletem importantes propriedades relacionadas com a interação entre variáveis hidrológicas e topográficas. Algumas relações têm sido estabelecidas entre o IUT e IPES com fatores importantes na pedogênese, tais como: profundidade do horizonte A, teor de matéria orgânica, textura e susceptibilidade à erosão (Florinsky et al., 2002).

Ao estabelecer uma comparação entre o mapa estimado e o mapa original, nota-se, inicialmente, elevado grau de semelhança visual. Esta semelhança visual, embora não seja uma medida de acurácia, permite verificar, nessa primeira aproximação, que há uma correspondência entre os dois mapas. O fato de ocorrer essa correspondência aparentemente elevada no aspecto visual reforça a idéia de que o modelo adequou-se na tentativa de aproximar as pedoformas estimadas o mais fidedigno possível às pedoformas originais.

Ao analisar a matriz de erros entre o mapa original e o mapa estimado na escala original (Quadro 3), verificou-se que a AP das unidades LVd1 e o LVd2 atingiu 91,5 % e 96,7 %, percentual este representando a proporção da área que foi mapeada corretamente. A menor correspondência foi verificada na unidade de mapeamento RU com 35,4 % de correspondência. As unidades mais representativas em termos de extensão

da área, LVaf (o-fo) e LVaf(o), que tiveram uma correspondência média variando de 49,7 a 69,8 %, respectivamente. Já na AU, observou-se que o maior percentual de correspondência foi verificado para a unidade MTF-Rde com 69,6 %, seguida de LVa(o) com 60,8 %, e as menores correspondências de 26,0 e 23,2 %, respectivamente, para as unidades LVd1 e LVd2. Uma AU de 69,6 % significa que, ao consultar no mapa a unidade de mapeamento MTF-Rde, 69,6 % das vezes este estará correto.

Essas diferenças verificadas entre as duas acurácias contribuíram, provavelmente, para a redução da acurácia geral do mapa estimado, que ficou em torno de 58,3 % e um coeficiente Kappa de Cohen de 36,63 %. A maioria das áreas LVd1 e LVd2 foram mapeadas corretamente, porém o modelo estimado está superestimando a ocorrência dessas duas unidades de mapeamento, onde, na verdade, ocorrem outros solos.

A diferença entre essas duas acurácias demonstra a dificuldade do método preditivo em identificar e distinguir essas duas classes em relação às demais com base apenas em parâmetros derivados do MNT. De fato, o fator diferencial entre essas unidades e as unidades LVaf (o) e LVaf(o-fo), de textura argilosa, é a classe textural, sendo arenosa para LVd2 e média para LVd1. Tais diferenças de textura estão relacionadas com o material de origem, já que o LVd2 desenvolveu-se a partir de rochas da formação Tupaciretã e LVd1 recebeu interposição de fração areia, provavelmente de processos erosionais ocorridos em morros de arenito situados na paisagem próxima, enquanto as unidades LVaf desenvolveram-se a partir de rochas básicas extrusivas.

Quadro 2. Parâmetros e coeficientes de modelo (função logit) empregados na predição da ocorrência de classes de solos na região de Ibirubá-RS

Parâmetros do modelo	Unidade de mapeamento				
	MTf-RDe/ LVa(o)	MTf-RDe/ LVa(o-fo)	MTf-RDe/ LVd1	MTf-RDe/ Aluvial	MTf-RDe/ LVd2
Constante	-11,4379	-13,9980	-51,368	-15,616	-7,150
Poder de córrego	-0,8784	-2,2960	-1,5968	-2,9258	-4,5557
Comprimento de fluxo, m	-0,0000687	0,0000831	-0,0016153	0,0004944	-0,0009951
Índice de umidade topográfica	0,36941	0,30454	1,6272	1,1602	0,7301
Curvatura, m	-10,039	-8,331	-6,08	-11,81	-17,77
Declividade, %	-0,06995	-0,08138	-0,09233	-0,21753	-0,12153
Elevação, m	0,027598	0,034852	0,095525	0,020473	0,003217
Distância dos rios, m	-0,0004033	0,0011404	0,0000313	-0,0031732	0,0029561
Log-likelihood = -8566.523					
G = 3908.959					
P-Value = 0.000					

Os resultados das medições da acurácia (Quadro 3) estão na mesma escala de magnitude que outras observações quando se empregaram regressões logísticas nominais. Exemplificando: Campling et al. (2002), empregando regressões logísticas na predição da probabilidade espacial da ocorrência de uma única característica do solo, classes de drenagem, usaram atributos derivados do modelo numérico de terreno e índices de vegetação por meio de imagens LANDSAT-5 em região tropical úmida da Nigéria, com concordância entre os mapas de solos (original e estimado) variando de 95 a 65 %, à medida que se aumentava o grau de detalhamento de acordo com a separação das classes. Da mesma forma, Bailey et al. (2003) usaram regressões logísticas para predição de classes de solos com acurácia variando de 47 a 65%.

Quadro 3. Acurácia do mapeador (AP) e acurácia do usuário (AU) dos mapas estimados, usando regressões logísticas com legendas iguais à original e legenda simplificada

Solo	Legenda original		Legenda simplificada	
	AU	AP	AU	AP
	%			
LVa (o)	60,8	69,8	60,4	74,3
MDTf-RDe	69,6	51,4	69,6	51,4
LVa (fo)	55,3	49,7	59,1	52,0
LVd1	26,0	91,5	-	-
LVd2	23,2	96,7	-	-
Aluvial	54,0	35,4	-	-
AG (%)	58,3		61,4	
Kappa (%)	36,63		38,3	

As observações deste estudo tampouco diferem de observações feitas sobre a acurácia de outros métodos preditivos, como, por exemplo, a utilização de análise de componentes principais para estimar a ocorrência e distribuição de 21 unidades de mapeamentos em áreas planas e montanhosas da Croácia por meio de nove parâmetros derivados do MNT (Hengl & Rossiter, 2003). Os autores, observando uma AG de 45,3 % (Kappa = 42,6 %), dentro da legenda original do mapa e áreas montanhosas e planas, verificaram acurácias de 58,1 % (Kappa = 51,6 %) e 39,1 % (Kappa = 34,4 %), respectivamente. Os mesmos autores salientaram ainda que seriam desejáveis valores de AG em torno de 80 %, para um modelo satisfatório empregado no mapeamento supervisionado de solos. Partindo desse pressuposto, pode-se avaliar que os resultados obtidos no presente estudo apresentam acurácias equivalentes às de outros trabalhos que visam a desenvolver técnicas de mapeamento supervisionado de solos; entretanto, como os demais, tais técnicas requerem aperfeiçoamento para chegar aos valores desejáveis de acurácia.

Uma alternativa para aumentar a acurácia do método seria a simplificação da legenda, o que foi feito neste estudo. A figura 2 mostra o mapa com a legenda simplificada, e, nessa simplificação, os solos LVd1 e LVd2 foram incorporados aos solos LVas(o) e LVaf(o-fo), respectivamente.

A matriz de erros, comparando o mapa original e estimado com a legenda simplificada, mostra aumento de correspondência entre LVaf(o) estimado com observado de 69,8 a 74,3 %, tendo para LVaf(o-fo) a correspondência aumentado de 49,7 para 52,0 %. A AU da unidade LVaf(o-fo) aumentou de 55,3 para 59,1 %.

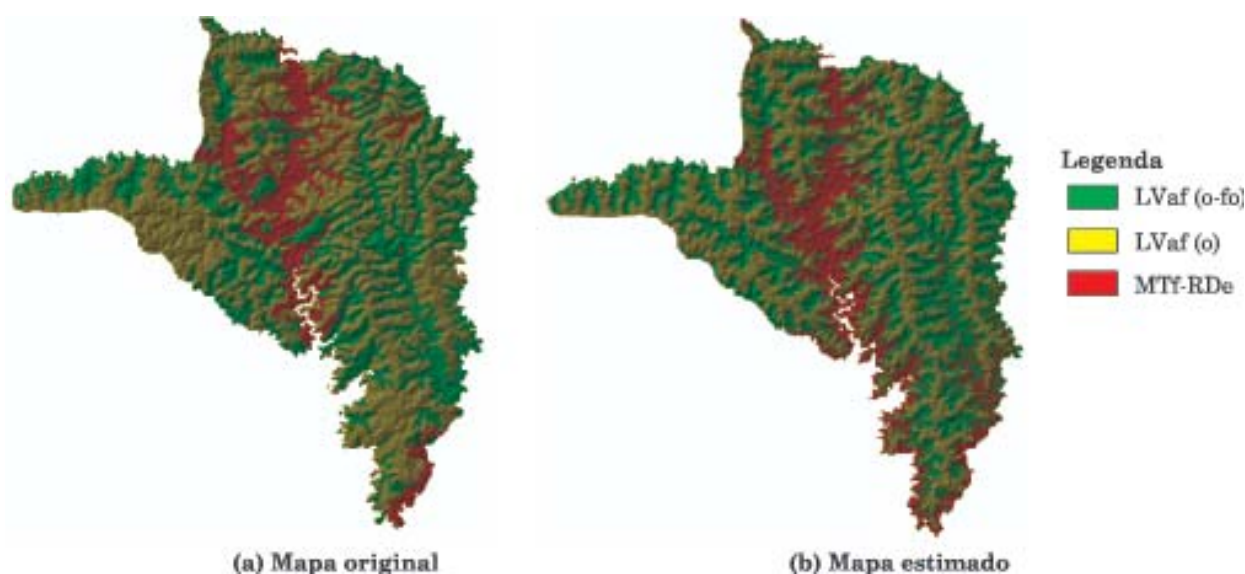


Figura 2. Mapa de solos com legenda simplificada a partir do levantamento de campo (a) e mapa de solos estimado por regressões logísticas (b) nos municípios de Ibirubá e Quinze de Novembro (RS).

Não foram observadas alterações significativas na AG, que foi de 61,4 % ($Kappa = 38,3$ %). Isso provavelmente é devido ao fato de haver grande percentual de área conflitante entre LVaf(o-fo) e LVaf(o), sendo parte da área mapeada como LVaf(o) estimada como sendo LVaf(o-fo) e parte da área original LVaf(o-fo) estimada como LVaf(o). Tal problema provavelmente está associado ao fato de que essas duas unidades de mapeamento pertencem à mesma classe de solo com diferenças em relação às fases de relevo. Na época do mapeamento, em 1970, o relatório descreve a classe de relevo para LVaf(o-fo) como sendo a parte ondulada que não se consegue visualmente dissociar da parte forte ondulada, que figura em declividades entre 8 e 15 %, e a parte ondulada de LVaf(o), que está em declividades de até 8 %. Ao analisar o mapa de declividade, verifica-se que dentro da área LVaf(o-fo) há grande diferença entre o que está mapeado com relevo forte ondulado e o que revela declividade de 8 a 15 % com base no MNT. Isso provavelmente está contribuindo com a redução da acurácia do mapa estimado, tanto na escala original quanto na escala simplificada, já que, no conjunto das regressões logísticas, a variável declividade contribuiu pouco na diferenciação das unidades como um todo. Uma alternativa ao que foi feito seria estabelecer regressões logísticas adicionais específicas para uso na diferenciação de classes de declividade dentro da área pertencente a essas unidades de mapeamento.

CONCLUSÕES

1. Foram viabilizadas relações matemáticas, usando regressões logísticas múltiplas entre características de terreno e unidades de mapeamento de solo, com vistas em estimar a ocorrência de unidades de mapeamento de solos.

2. Os mapas produzidos apresentaram correspondência somente relativa com os mapas previamente produzidos, utilizando procedimentos tradicionais de levantamento de solos.

3. As regressões logísticas nominais adequaram-se como método preditivo da distribuição e ocorrência de unidades de mapeamento de solo.

LITERATURA CITADA

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- BAILEY, N.; CLEMENTS, T.; LEE, J.T. & THOMPSON, S. Modelling soil series data to facilitate targeted habitat restoration: A polytomous logistic regression approach. *J. Environ. Manag.*, 67:395-407, 2003.
- CAMPLING, P.; GOBIN, A. & FEYEN, J. Logistic modeling to spatially predict the probability of soil drainage classes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 66:1390-1401, 2002.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ. Psychol. Measur.*, 20:37-46, 1960.
- CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.*, 37:35-46, 1991.
- DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; PEDRON, F.A. & AZEVEDO, A.C. Relação entre as características e o uso das informações de levantamentos de solos de diferentes escalas. *Ci. Rural*, 34:1479-1486, 2004.
- ESRI INC. Arcview versão 3.2. Redlands, Environmental Research Institute, 1995.
- FLORINSKY, I.V.; EILERS, R.G.; MANNING, G. & FULLER, L.G. Prediction of soil properties by digital terrain modeling. *Environ. Modeling Software*, 17:295-311, 2002.
- HENGL, T. & ROSSITER, D.G. Supervised landform classification to enhance and replace photo-interpretation in semi-detailed soil survey. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67:1810-1822, 2003.
- McBRATNEY, A.B.; MENDONÇA SANTOS, M.L. & MINASNY, B. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52, 2003.
- MINITAB INC. Minitab for Windows Statistical Software, 1996.
- PARK, S.J.; MCSWEENEY, K. & LOWERY, B. Identification of the spatial distribution of soils using a process-based terrain characterization. *Geoderma*, 103:249-272, 2001.
- PROJETO RADAMBRASIL. Folha SH-22 Porto Alegre e parte das folhas SH-21 Uruguaiana e SH-22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro, IBGE, 1986. p.313-404. (Levantamento dos Recursos Naturais, 33)
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A. & BAMLER, R. The shuttle radar topography mission - A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS. J. Photogr. Remote Sens.*, 57:241-262, 2003.
- SANTOS, M.C.L.; KLAMT, E.; KAMPF, N. & ABRÃO, P.U.R. Levantamento e utilização agrícola dos solos do município de Ibirubá. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 70 páginas.
- SCHMIDT, J. & HEWITT, A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, 121:243-256, 2004.
- SCHNEIDER, P. & KLAMT, E. Necessidades e perspectivas em levantamentos de solos no Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro sobre Ensino de Solos, 2, Santa Maria, 1995. Santa Maria: SBOS, UFSM. 1996.
- ZHU, A.X.; BAND, L.E.; VERTSEY, R. & DUTTON, B. Derivation of soil properties using a soil land inference model (SoLIM). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:523-533, 1997.