

APLICAÇÃO DE MÉTODOS MULTICRITÉRIO ORDINAIS PARA AVALIAR O RISCO DE SUBSIDÊNCIA DE ORGANOSSOLOS

Gustavo Souza Valladares ¹, Eliane Gonçalves Gomes ², João Carlos C. B. Soares de Mello ³,
Marcos Gervásio Pereira ⁴, Lúcia Helena Cunha dos Anjos ⁴

¹ Embrapa Monitoramento por Satélite

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – SGE

³ Departamento de Engenharia de Produção

Universidade Federal Fluminense

⁴ Departamento de Solos

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

RESUMO

Uma importante propriedade dos Organossolos (solos com alto teor de carbono orgânico) é o risco de subsidência. Neste artigo foram usados os métodos multicritério ordinais de Borda, Condorcet e Copeland para ordenar, segundo o risco de subsidência, 19 perfis de organossolos. Os resultados mostram correlação entre os métodos (exceto Condorcet) e o parâmetro usual para avaliar subsidência.

Palavras chave: Multicritério; Métodos ordinais; Solos orgânicos; Subsidência; Turfa; Degradação ambiental.

1. INTRODUÇÃO

Os solos apresentam atributos diversos, morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos, que os definem e expressam os processos pedogenéticos. A interpretação desses atributos por profissionais especializados pode transformar mapas pedológicos em mapas de aptidão agrícola, zoneamentos geo-ambientais, de susceptibilidade à erosão, de risco de degradação, entre outros.

Nos Organossolos, solos com elevado teor de matéria orgânica, uma das propriedades importantes para prever o potencial de uso e riscos de degradação é o grau de subsidência (perda de massa e volume). Dentre as classes de Organossolos ocorrem diferentes riscos de subsidência, resultantes de seus atributos, em especial da natureza da matéria orgânica e do ambiente de deposição.

Neste trabalho foram aplicados os métodos multicritério ordinais de Borda, Condorcet e Copeland para ordenar, segundo o risco de subsidência, 19 perfis de Organossolos. De um conjunto inicial de 13 variáveis, 4 foram consideradas como mais importantes para essa avaliação, já que os métodos empregados não atribuem pesos diferenciados aos distintos critérios.

2. ORGANOSSOLOS E RISCO DE SUBSIDÊNCIA

O estudo foi desenvolvido a partir de 19 perfis de solos com elevados teores de material orgânico de diferentes regiões do Brasil (Figura 1), coletados e caracterizados por Valladares (2003). Os solos foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), o Soil Taxonomy (Estados Unidos, 1999) e o mapa mundial de solos - legenda revisada (FAO, 1988), para correlacionar as classes nos diferentes sistemas. A Tabela 1 apresenta a classificação desses perfis.



Figura 1. Localização aproximada dos perfis coletados.

Tabela 1. Classificação dos perfis segundo diferentes sistemas taxonômicos.

Perfil	SiBCS (Embrapa, 1999)	Estados Unidos (1999)	FAO (1988)
AL1	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Fíbrico térrio	Terric Sulfihemists	Histosol tiônico
AL2	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico típico	Typic Sulfohemists	Histosol tiônico
BA2	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico térrio	Typic Sulfohemists	Histosol tiônico
BA3	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico típico	Typic Sulfohemists	Histosol tiônico
DF1	ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico	Typic Haplosaprists	Histosol térrio
ES1	ORGANOSSOLO MÉSICO Hêmico típico	Hydric Haplohemists	Histosol térrio
MG1	ORGANOSSOLO MÉSICO Hêmico típico	Fluvaquentic Haplohemists	Histosol térrio
MG2	ORGANOSSOLO MÉSICO Hêmico térrio	Hydric Haplohemists	Histosol térrio
MS2	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico térrio	Terric Haplosaprists	Histosol térrio
PR2	ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico	Typic Haplosaprists	Histosol térrio
PR3	NEOSSOLO LITÓLICO Hístico típico	Lithic Udifolists	Histosol fólico
RJ1	CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico típico	Humic Pachic Dystrudepts	Cambisol húmico
RJ3	ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico térrio	Hydric Haplohemists	Histosol térrio
RJ4	ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico térrio	Humaqueptic Endoaquents	Gleysol úmbrico
RS3	ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico térrio	Terric Haplosaprists	Histosol térrio
RS4	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico	Typic Sulfosaprists	Histosol tiônico
RS5	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Sáprico típico	Typic Sulfosaprists	Histosol tiônico
SC2	ORGANOSSOLO TIOMÓRFICO Hêmico típico	Typic Sulfohemists	Histosol tiônico
SP1	ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico térrio	Terric Haplosaprists	Histosol térrio

O manejo dos Organossolos é bastante complexo. A primeira prática agrícola ou para fins de engenharia realizada nesses solos é a drenagem. A partir do momento em que é feita, ocorre a modificação de condições, em geral, anaeróbicas com a entrada de oxigênio no sistema, favorecendo alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Ocorre rápida oxidação da matéria orgânica, com diminuição de volume e gradativo aumento da densidade do solo e das partículas, modificando suas características originais, no processo definido como subsidência (Mendonça, 1999; Pereira et al., 2005).

Lynn et al. (1974) utilizaram uma medida chamada resíduo mínimo (RM), que se refere a uma espessura remanescente de solo por unidade da medida após subsidência máxima. Utiliza-se, normalmente, a unidade cm cm^{-1} para expressar o RM, usado para avaliar o potencial máximo de subsidência em horizontes ou camadas formadas por material orgânico. Tanto a densidade do solo como o resíduo mínimo estão relacionados ao grau de decomposição da matéria orgânica e ao teor de matéria orgânica (Conceição et al., 1999). Os valores de densidade do solo nos Organossolos, em ambiente não alterado pelo uso agrícola, tendem a ser inferiores a uma unidade, podendo ser inferiores a $0,15 \text{ Mgm}^{-3}$ (Andriess, 1988; Kämpf e Schneider, 1989).

Stephens e Roe, citado por INCORA (1974), afirmam que o controle eficiente da água é o principal fator para o desenvolvimento agrícola dos Organossolos. A falta de habilidade no manejo da lâmina d'água, leva a perdas da produção, seja por inundação ou por seca. A drenagem excessiva pode acarretar problemas de subsidência, com a diminuição do volume do material orgânico, seja por contração, compactação, mineralização, combustão ou erosão eólica. Alguns autores afirmam que a oxidação acompanhada da decomposição do material orgânico é o principal fator da subsidência dos Organossolos, causada pela drenagem excessiva; para reduzir o problema deve-se manter o lençol freático a uma profundidade mínima (em torno de 30 cm de profundidade, segundo Hilbert et al. (2000) e Souza Júnior et al. (2001)), para o desenvolvimento radicular e garantia da produção (INCORA, 1974; Conceição, 1989; Pereira et al., 2005).

As taxas de subsidência, segundo revisões de literatura, variam entre 1 e 6 cm por ano (INCORA, 1974; Conceição, 1989). Segundo Andriess (1984), a subsidência é muito mais rápida nos primeiros anos tendendo ao equilíbrio no decorrer do tempo, diminuindo a sua velocidade. A contração ocorrida durante a secagem dos Organossolos, causada por sistemas de drenagem, é uma importante causa da subsidência no início do processo. A mudança da densidade do solo, refletida por seu aumento após a drenagem, é uma boa medida para se estimar o grau de contração, o qual depende da profundidade de drenagem, do teor de material orgânico e do tipo de material orgânico que forma o solo, se é fibrício, hêmico ou sáprico (Valladares, 2003; Pereira et al., 2005).

3. MÉTODOS MULTICRITÉRIO ORDINAIS

O Apoio Multicritério à Decisão consiste em um conjunto de métodos e técnicas para auxiliar ou apoiar a tomada de decisões, quando da presença de uma multiplicidade de critérios. Este processo pode ser decomposto em uma seqüência de etapas (Gomes et al., 2004): 1) Identificar os decisores e seus objetivos; 2) Definir as alternativas; 3) Definir os critérios relevantes para o problema de decisão; 4) Avaliar alternativas em relação aos critérios; 5) Determinar importância relativa dos critérios; 6) Realizar a avaliação global de cada alternativa; 7) Análise de sensibilidade; 8) Recomendação; 9) Implementação.

As etapas 1, 2 e 3 constituem a Fase de Estruturação, que trata da formulação do problema e busca identificar, caracterizar e organizar os fatores considerados relevantes no processo de apoio à decisão. É uma fase interativa e dinâmica, pois fornece uma linguagem comum aos decisores, o que possibilita a aprendizagem e o debate. As etapas 4, 5, 6 e 7 compõem a Fase de Avaliação, que tem como objetivo a aplicação de métodos de análise multicritério para apoiar a modelagem das preferências e a sua agregação. A terceira fase, composta das etapas 8 e 9, é a Fase de Recomendação dos cursos de ação a serem seguidos.

Deve-se ainda atentar que uma família de critérios, ou seja, o conjunto de critérios utilizados em uma determinada situação de decisão, deve satisfazer três condições (“axiomas de Roy”) para que seja uma família coerente de critérios (Roy, Bouyssou, 1993): Exaustividade (impõe a necessidade de descrever o problema levando em conta todos os aspectos relevantes); Coesão (obriga à correta análise de quais são os critérios de maximização e quais os de minimização); Não Redundância (obriga a excluir critérios que estejam avaliando características já consideradas por outro critério).

A forma de explicitar as estruturas de preferência do decisor varia de acordo com o método de análise multicritério escolhido. Os chamados métodos ordinais são considerados bastante intuitivos e pouco exigentes tanto em termos computacionais quanto em relação às informações necessárias por parte dos decisores; do decisor não são necessárias mais do que as pré-ordens relativas a cada critério (Barba Romero e Pomerol, 1997). Neste trabalho, foram usados três métodos multicritério ordinais para avaliar o risco de subsidência, a saber, métodos de Borda, de Condorcet e de Copeland.

Para o uso do método de Borda o decisor deve ordenar as alternativas de acordo com as suas preferências; a alternativa mais preferida recebe um ponto, a segunda dois pontos e assim sucessivamente. Os pontos atribuídos pelos decisores a cada alternativa são somados e a alternativa que tiver obtido a menor pontuação é a escolhida (Dias et al., 1996). Todas as alternativas são ordenadas por ordem decrescente de pontuação (o que garante o respeito ao axioma da totalidade). Conforme destacado por Soares de Mello et al. (2005), apesar de sua simplicidade e amplo uso de suas variações, o método de Borda não respeita um dos axiomas de Arrow: a classificação final de duas alternativas não é independente em relação às suas classificações em relação a alternativas irrelevantes. Tal fato pode gerar situações indesejáveis, como numa votação em que o último votante sabe as preferências dos anteriores e altera as suas preferências de modo a dar mais chances à sua alternativa preferida.

No método de Condorcet também exige-se que cada decisor ordene todas as alternativas de acordo com suas preferências. Porém, em vez de se atribuir uma pontuação a cada alternativa, o método estabelece relações de superação. Para cada par de alternativas verifica-se qual delas foi preferida pela maioria dos decisores. Nesse caso, diz-se que esta alternativa é preferível em relação à outra. Podem ser traçados grafos representativos destas relações de preferência, em que o arco (u, v) pertence ao grafo se, e somente se, o número de decisores que preferiram u a v é maior ou igual dos que preferiram v a u . Através da representação da relação de preferência por um grafo, a determinação de alternativas dominantes e dominadas (quando existem), fica bastante facilitada. Quanto existe uma e só uma alternativa dominante, ela é a escolhida.

O método de Condorcet, considerado mais justo que o de Borda, tem a grande desvantagem de conduzir a situações de intransitividade, levando ao célebre “paradoxo de Condorcet”. Este ocorre quando A é preferível a B, B é preferível a C e C é preferível a A (“Tripleta de Condorcet”), ou seja, o método de Condorcet nem sempre induz uma pré-ordem no conjunto das alternativas.

O método de Copeland é derivado do método de Condorcet e consiste em calcular a soma das vitórias menos as derrotas em uma votação por maioria simples. As alternativas são então ordenadas pelo resultado dessa soma. O método de Copeland alia a vantagem de fornecer uma ordenação total, ao fato de dar o mesmo resultado de Condorcet, quando este não apresenta nenhum ciclo de intransitividade. Quando esses ciclos existem, o método de Copeland permite fazer a ordenação e mantém a classificação das alternativas que não pertencem a nenhum ciclo de intransitividade.

4. MODELAGEM E RESULTADOS

Para ordenar/classificar segundo o risco de subsidência os 19 peris de Organossolos anteriormente mencionados, foram escolhidos apenas 4 dentre 13 potenciais atributos. Os atributos considerados mais importantes foram: espessura do material orgânico, teor de fibras esfregadas, densidade do solo e teor de carbono determinado por CHN.

A Tabela 2 apresenta a ordenação dos perfis de Organossolos segundo os métodos de Borda e Copeland. Na aplicação do método de Condorcet não foi possível gerar uma ordenação dos Organossolos; foi obtido um grande ciclo de intransitividade, composto por 18 dos 19 perfis. Neste caso, a única informação resultante deste método foi a de que o perfil AL1 foi considerado o de maior risco de subsidência. Na Tabela 2, para os resultados obtidos pelo método Borda,

quanto maior o valor maior o risco de subsidência do solo; para o método Copeland e RM o inverso é verdadeiro, quanto maior o valor menor o risco de subsidência.

Tabela 2. Ordem do risco de subsidência dos perfis de solos estudados segundo cada método.

	Perfis	Método de Borda	Perfis	Método de Copeland	Perfis	Valores de RM
Ordem cresce no risco de subsidência ↓	DF1	12,5	DF1	16	RJ4	0,490
	PR2	21,5	RJ4	14	RJ1	0,480
	RJ4	24,0	RJ1	12	DF1	0,290
	RJ1	25,5	SP1	11	RS3	0,260
	ES1	27,5	PR2	10	SP1	0,240
	SP1	28,0	ES1	7	ES1	0,227
	RS3	32,0	RS3	5	PR2	0,220
	MS2	33,5	RS5	5	MG2	0,153
	RS5	34,5	MS2	3	MS2	0,120
	RS4	36,5	RS4	2	MG1	0,100
	MG2	40,5	MG2	-2	RS5	0,085
	MG1	45,0	MG1	-5	AL2	0,046
	BA3	48,0	BA2	-7	RS4	0,036
	SC2	54,5	BA3	-7	BA3	0,030
	AL2	55,0	RJ3	-8	RJ3	0,030
	BA2	57,0	AL2	-11	AL1	0,025
	RJ3	58,5	SC2	-12	PR3	0,020
AL1	62,5	PR3	-15	BA2	0,016	
PR3	63,5	AL1	-18	SC2	0,010	

Pode-se verificar a alta correspondência entre os métodos, corroborada pelos coeficientes de correlação de Pearson elevados e altamente significativos ($p = 0,0001$). A correlação entre os métodos Borda x Copeland foi a mais elevada ($r = -0,97$), seguida da correlação Copeland x RM ($r = 0,83$) e Borda x RM ($r = -0,79$).

O atributo resíduo mínimo é derivado da densidade do solo e do teor de material mineral no solo. Nos métodos multicritério ordinais foram considerados outros critérios/atributos, como a espessura de material orgânico e o teor de fibras esfregadas, que exercem forte influência no grau de subsidência. Quanto mais espessa for a camada de material orgânico em um solo menor será seu potencial de subsidência; quanto maior o teor de fibras esfregadas maior será o seu potencial de subsidência, pois esta propriedade distingue material orgânico não humificado com grande potencial de mineralização e subsidência. Deste modo, pode-se afirmar que os métodos aqui propostos refletiram melhor o potencial de subsidência do que o atributo RM, comumente o único parâmetro usado neste tipo de avaliação.

5. CONCLUSÕES

Os métodos multicritério ordinais usados foram eficientes para ordenar/classificar os perfis de Organossolos estudados quanto ao risco de subsidência.

As metodologias propostas apresentam-se promissoras para estudos em Ciência do Solo, na determinação de potenciais produtivos de solos, aptidões e riscos ambientais.

6. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro (por meio do Edital CNPq 19/2004 – Universal, processo n.º 472838/2004-0), à CAPES e à FAPERJ pelas bolsas de pós-graduação concedidas ao primeiro autor e ao CPGA-CS/UFRRJ.

7. REFERÊNCIAS

- Andriessse, J.P. (1984): "Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras". *Anais do Simpósio Nacional de Solos Orgânicos*, Curitiba, 11-34.
- Andriessse, J.P. (1988): "Nature and management of tropical peat soils". *FAO Soils Bulletin*, 59.
- Barba-Romero, S.; Pomerol, J.C. (1997). *Decisiones Multicriterio: Fundamentos Teóricos e Utilización Práctica*. Colección de Economía, Universidad de Alcalá.
- Conceição, M. (1989). *Natureza do húmus e caracterização de solos com elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí - Santa Cruz, RJ*. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 169f.
- Conceição, M.; Manzatto, C.V.; Araújo W.S; Martin Neto, L.; Saab, S.C.; Cunha, T.J.F.; Freixo, A.A. (1999): "Caracterização de solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro, propriedades físicas e morfológicas como subsídios à classificação". *Pesquisa Andamento - Embrapa Solos*, 4, 6p.
- Dias, L.M.C.; Almeida, L.M.A.T.; Climaco, J. (1996). *Apoio Multicritério à Decisão*. Universidade de Coimbra.
- Embrapa. (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 412p.
- Estados Unidos. (1999). *Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff. 2.ed. Washington (USDA. Agriculture Handbook, 436), 869p.
- FAO. (1988): "Soil map of the world – revised legend". *World Soil Resources Report*, 60, Technical paper 20 – ISRIC Wageningen. 143p.
- Gomes, L.F.A.M.; Gonzalez-Araya, M.C.; Carignano, C. (2004). *Tomada de decisões em cenários complexos*. Pioneira Thompson Learning.
- Hilbert, D.W.; Roulet, N.; Moore, T. (2000): "Modelling and analysis of peatlands as dynamical system". *Journal of Ecology*, 88, 230-242.
- INCORA (1974). *Mapificación caracterización Y clasificación de los suelos organicos del Valle de Sibunday*. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria – INCORA, Bogotá. 148p.
- Kampf, N.; Schneider, P. (1989): "Caracterização de solos orgânicos do Rio Grande do Sul: propriedades morfológicas e físicas como subsídios à classificação". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13 (2), 227-236.
- Lynn, W.C.; Mc Kinzie, W.E.; Grossman, R.B. (1974). "Field laboratory tests for characterization of Histosols". In: Aandahl, A.R.; Buol, S.W.; Hill, D.E.; Bailey, H.H. *Histosols their characteristics, classification, and use*. Soil Science Society of America, 136p.
- Mendonça, M.M. de. (1999). *Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro*. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 195f.
- Pereira, M.G.; Anjos, L.H.C. dos; Valladares, G.S. (2005). "Organossolos: ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo". *Tópicos em Ciência do Solo*, 4, 233-276.
- Roy, B.; Bouyssou, D. (1993). *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Economica.
- Soares de Mello, J.C.C.B.; Gomes, L. F.A.M.; Gomes, E.G.; Soares de Mello, M.H.C. (2005): "Uso de métodos multi-critério ordinais na análise do campeonato mundial de fórmula 1". *Cadernos EBAP.BR*, 3 (2).
- Souza Júnior, V.S.; Ribeiro, M.R.; Oliveira, L.B. (2001). "Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do Rio Coruripe, Estado de Alagoas". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 811-822.
- Valladares, G.S. (2003). *Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação*. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 142f.