

ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS E MÉTODOS MULTICRITÉRIO ORDINAIS NO ESTUDO DE ORGANOSSOLOS E SOLOS AFINS⁽¹⁾

Gustavo Souza Valladares⁽²⁾, Eliane Gonçalves Gomes⁽³⁾, João Carlos C.B. Soares de Mello⁽⁴⁾, Marcos Gervasio Pereira⁽⁵⁾, Lúcia Helena Cunha dos Anjos⁽⁵⁾, Adierison Gilvani Ebeling⁽⁶⁾ & Vinícius de Melo Benites⁽⁷⁾

RESUMO

Uma importante propriedade dos Organossolos, e de outros solos com alto teor de C orgânico para predizer o potencial de uso e riscos de degradação, é o grau de subsidência (perda de massa e volume). Nos Organossolos ocorrem diferentes riscos de subsidência, resultantes de seus atributos, em especial da natureza da matéria orgânica e do ambiente de deposição. Este estudo foi realizado com dados de 19 perfis de solos de diferentes regiões do Brasil. Foram adotados os procedimentos da SBCS para descrição e coleta dos perfis, e os métodos analíticos da Embrapa Solos para caracterização dos solos. A análise dos componentes principais foi utilizada para agrupar os perfis com o auxílio de atributos morfológicos, físicos, químicos e do ambiente de ocorrência e mostrou-se adequada no agrupamento dos solos estudados com base em seus atributos, comparando-se com a sua taxonomia. Neste artigo foram usados os métodos multicritério ordinais de Borda, Condorcet e Copeland para ordenar, segundo o risco de subsidência, os perfis de Organossolos estudados. Os resultados mostram correlação entre os métodos (exceto Condorcet, que não foi capaz de ordenar as alternativas) e o resíduo mínimo, parâmetro usual para avaliar subsidência. Isso indica eficácia para

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor submetida ao CPGA-CS da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Projeto financiado pelo CNPq. Recebido para publicação em dezembro de 2005 e aprovado em outubro de 2007.

⁽²⁾ Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite. Av. Soldado Passarinho s/n, Jardim Chapadão, CEP 13070-115 Campinas (SP). E-mail: gustavo@cnpem.embrapa.br

⁽³⁾ Pesquisadora da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Parque Estação Biológica, Av. W3 Norte final, Asa Norte, CEP 70770-901 Brasília (DF). E-mail: eliane.gomes@embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense – UFF. Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, CEP 24210-240 Niterói (RJ). E-mail: jcsmello@producao.uff.br

⁽⁵⁾ Professor Associado do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. BR 465, Km 7, CEP 23890-000 Seropédica (RJ). E-mail: gervasio@ufrj.br; lanjhos@ufrj.br

⁽⁶⁾ Estudante de Pós-Graduação, UFRRJ. Bolsista do CNPq. E-mail: adierisonufrj@bol.com.br

⁽⁷⁾ Pesquisador da Embrapa Solos. Caixa Postal 104, CEP 75901-970 Rio Verde (GO). E-mail: vinicius@cnpes.embrapa.br

ordenar/classificar os perfis de solos estudados quanto ao risco de subsidência. Os métodos quantitativos utilizados neste trabalho mostraram-se promissores como ferramentas em estudos na Ciência do Solo.

Termos de indexação: estatística multivariada, multicritério, métodos ordinais, subsidência, turfa, Organossolos.

SUMMARY: PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND ORDINAL MULTICRITERIA METHODS TO STUDY ORGANOSOLS AND RELATED SOILS

One important property of Organosols (Histosols) (and soils with high content of organic carbon) to predict use potential and degradation risks is the degree of subsidence (loss of mass and volume). In Organosols the subsidence risks vary according to the soil attributes, mainly the nature of organic matter and deposition environment. In this paper we studied 19 soil profiles from different parts of the country, collected and described according to procedures recommended by the SBCS (Brazilian Soil Science Society); the analytical methods proposed by EMBRAPA-Solos were used to characterize the soils. The principal component analysis was used to cluster the profiles based on morphological, physical, chemical and environmental attributes and proved adequate to group the soils under study based on the profile attributes and the grouping was well related to their taxonomy. The soil profiles were ranked by the ordinal multicriteria methods of Border, Condorcet and Copeland based on the subsidence risk. Results indicated a correlation between the methods (with exception of the Condorcet approach, unsuitable to rank the alternatives) and the minimum residue, which is the classical parameter for the evaluation of subsidence, indicating efficacy to rank/classify the soil profiles in relation to subsidence risk. The quantitative approaches used are promising as evaluation tools in soil science studies.

Index terms: multivariate statistics; multicriteria; ranking methods, organic soils, peat, subsidence.

INTRODUÇÃO

Os solos apresentam atributos diversos, morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos, que definem a expressão dos processos pedogenéticos (Embrapa, 1999; Oliveira, 2005). A interpretação desses atributos por profissionais especializados pode transformar mapas pedológicos em mapas de aptidão agrícola, zoneamentos geoambientais, de suscetibilidade à erosão, de risco de degradação, entre outros (Ramalho Filho & Beek, 1994; Carvalho Júnior et al., 2003; Valladares & Faria, 2004; Oliveira, 2005).

Os Organossolos são conceituados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) como “solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambiente mal a muito mal drenado), ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias no período chuvoso” (Embrapa, 1999).

A pequena extensão territorial dos Organossolos e solos afins no Brasil e os levantamentos pedológicos realizados na sua maioria em pequenas escalas

refletiram em baixo número de perfis de solos descritos que apresentam elevado conteúdo de matéria orgânica, sendo também observadas na literatura poucas informações sobre Organossolos de maneira mais abrangente.

Embora tenham sido realizados alguns trabalhos com estes solos, como os de Lepsch et al. (1990), Benites (1998, 2002) e Souza Júnior et al. (2001), procurando relacionar variáveis do espaço ou do ambiente com atributos de Organossolos e solos com elevado conteúdo de matéria orgânica de determinadas regiões, nenhum ainda tratou esse tema com abrangência nacional.

A análise multivariada de componentes principais pode servir para agrupar indivíduos com características semelhantes e estudar suas correlações. O emprego desta análise pode ser verificado nos trabalhos de Valladares (2000), com a correlação entre a adsorção de P e as propriedades químicas e físicas do solo; e Facchinelli et al. (2001) e Boruvka et al. (2005), com a verificação da distribuição espacial de metais pesados em solos do noroeste da Itália e da República Tcheca, respectivamente.

Nos Organossolos, uma das propriedades importantes para predizer o potencial de uso e os riscos de degradação é o grau de subsidência (perda de massa

e volume). Entre 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 (Conceição et al., 1999; Pereira et al., 2005).

O manejo dos Organossolos é bastante complexo. A primeira prática agrícola realizada nesses solos é a drenagem. A partir do momento em que esta é feita, ocorre a modificação de condições, em geral, anaeróbias, com a entrada de O 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 $0,15 \text{ kg dm}^{-3}$ (Andriessse, 1988; Kämpf & Schneider, 1989).

Stephens & 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 Andriessse (1984), a subsidência é muito mais rápida nos primeiros anos, tendendo ao equilíbrio com o 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 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 fibrico, hêmico ou sáprico (Valladares, 2003; Pereira et al., 2005).

Este trabalho teve como objetivo aplicar a análise dos componentes principais (ACP) para agrupar 19 perfis de Organossolos quanto às suas semelhanças, com base em atributos morfológicos, físicos, químicos e do ambiente de ocorrência, como também os métodos multicritério ordinais de Borda, Condorcet e Copeland para ordenar os Organossolos, segundo o risco de subsidência. A hipótese é de que estes métodos quantitativos têm aplicações na taxonomia e no manejo dos Organossolos.

MATERIAL

Organossolos estudados

O estudo foi desenvolvido a partir de 19 perfis de solos com elevados teores de material orgânico de diferentes regiões do Brasil, coletados e mais detalhadamente caracterizados em 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. O quadro 1 apresenta a classificação desses perfis, na qual as duas primeiras letras do símbolo dos perfis representam o estado de origem dos solos.

Os perfis PR3 e RJ1 foram coletados em ambientes altomontanos. O PR3 foi coletado na Serra da Baitaca, PR, em região próxima a Curitiba, a uma altitude de 1.330 m. Situa-se no terço superior de elevação com 67 cm m^{-1} de declive, em relevo montanhoso. Apresenta horizonte hístico e estava sob vegetação de floresta nativa. O RJ1 foi amostrado no Parque Nacional de Itatiaia, em uma altitude de 1.700 m, sendo localizado em uma encosta com 10 cm m^{-1} de declive em situação ligeiramente deprimida, no terço inferior da vertente, em interflúvio com forma aproximada de uma "sela" ou patamar; portanto, está em ambiente de boa drenagem, sem a presença de solos hidromórficos próximos. No entanto, como se situa próximo à base dessa "sela", recebe sedimentos coluviais das seções mais elevadas. Esse processo de adição foi evidenciado pela presença de uma linha de pedras no perfil, caracterizando uma descontinuidade litológica. A posição na paisagem e a declividade favorecem a formação de um solo profundo. Apresenta grande diferenciação de horizontes, tendo todos eles altos teores de C para horizontes minerais, porém insuficientes para serem classificados como materiais orgânicos e, portanto, como horizontes hísticos. O perfil encontrava-se sob vegetação de floresta nativa.

Quadro 1. Classificação dos perfis de Organossolos estudados segundo diferentes sistemas taxonômicos

Perfil	SiBCS (Embrapa, 1999)	Estados Unidos (1999)	FAO (1988)
AL1	Organossolo Tiomórfico fíbrico térrico	Terric Sulfohemists	Histossol tiônico
AL2	Organossolo Tiomórfico hêmico típico	Typic Sulfohemists	Histossol tiônico
BA2	Organossolo Tiomórfico hêmico térrico	Typic Sulfohemists	Histossol tiônico
BA3	Organossolo Tiomórfico hêmico típico	Typic Sulfohemists	Histossol tiônico
DF1	Organossolo Mésico sáprico típico	Typic Haplosaprists	Histossol térrico
ES1	Organossolo Mésico hêmico típico	Hydric Haplohemists	Histossol térrico
MG1	Organossolo Mésico hêmico típico	Fluvaquentic Haplohemists	Histossol térrico
MG2	Organossolo Mésico hêmico térrico	Hydric Haplohemists	Histossol térrico
MS2	Organossolo Mésico sáprico térrico	Terric Haplosaprists	Histossol térrico
PR2	Organossolo Mésico sáprico típico	Typic Haplosaprists	Histossol térrico
PR3	Neossolo Litólico hístico típico	Lithic Udifolists	Histossol fólico
RJ1	Cambissolo Húmico distrófico típico	Humic Pachic Dystrudepts	Cambissol húmico
RJ3	Organossolo Háptico hêmico térrico	Hydric Haplohemists	Histossol térrico
RJ4	Organossolo Mésico sáprico térrico	Humaqueptic Endoaquents	Gleyssol úmbrico
RS3	Organossolo Mésico sáprico térrico	Terric Haplosaprists	Histossol térrico
RS4	Organossolo Tiomórfico sáprico típico	Typic Sulfosaprists	Histossol tiônico
RS5	Organossolo Tiomórfico sáprico típico	Typic Sulfosaprists	Histossol tiônico
SC2	Organossolo Tiomórfico hêmico típico	Typic Sulfohemists	Histossol tiônico
SP1	Organossolo Mésico sáprico térrico	Terric Haplosaprists	Histossol térrico

Os perfis AL1, AL2, BA2, BA3, SC2 e RS4 foram coletados na planície litorânea e são tiomórficos. A coleta do perfil AL1 foi realizada próxima à margem da lagoa de Jequiá, em Jequiá da Praia, AL. Localiza-se a uma altitude aproximada de 3 m, em terraço marinho com 2 cm m⁻¹ de declive, em ambiente de drenagem impedida. Seu uso na época era com pastagem de gramíneas.

O perfil AL2 foi coletado na planície de inundação do rio Coruripe, na margem esquerda, com altitude aproximada de 5 m, em Coruripe, AL. Na área do perfil havia o plantio de oleráceas e outras culturas, como abacaxi e mandioca.

Quanto aos perfis descritos e coletados na Bahia, a coleta do perfil BA2 foi feita em terraço marinho, com aproximadamente 5 m de altitude, em uma unidade de proteção ambiental, próximo à praia do Pratigi, Ituberá, BA. O uso era com capoeira em regeneração. Já o perfil BA3 foi coletado no vale do rio Buranhém, Arraial d'Ajuda, BA, em terraço flúvio-marinho, com aproximadamente 7 m de altitude. O uso era com pastagem de gramíneas.

O perfil RS4 dos solos tiomórficos foi coletado à maior distância do mar, estando localizado entre 8 e 10 km da lagoa dos Patos. Foi coletado em terraço flúvio-marinho, com altitude aproximada de 20 m, no município de Viamão, RS, sendo o seu uso pastagem de gramíneas. Ainda na região Sul do País, em Santa Catarina, foi descrito o perfil SC2, coletado em terraço marinho, com altitude aproximada de 10 m, em Governador Celso Portela, SC. Na área de ocorrência do perfil, a vegetação era arbóreo-arbustiva em regeneração.

Os perfis ES1 e RJ3 localizam-se em planícies litorâneas, não sendo verificada neles a presença de materiais sulfídricos e, ou, horizontes sulfúricos. O perfil ES1 foi coletado a uma altitude de aproximadamente 15 m, em Mimoso do Sul, ES, em terraço aluvionar próximo de um córrego. Seu uso na data da coleta era com pastagem de gramíneas. O perfil RJ3 foi coletado em São José da Boa Morte, RJ, a uma altitude de aproximadamente 40 m, em uma área extensa de várzea, anteriormente litorânea, mas que hoje não possui influência marinha, somente fluvial, sendo utilizado para plantio de culturas anuais.

Os perfis DF1, MG1, MG2, MS2, PR2, RJ4, RS3 e SP1 foram coletados em planícies e fundos de vales intercontinentais, distantes do litoral.

O perfil RJ4 localiza-se em área de fundo de vale com relevo plano, inserida em relevo regional forte ondulado no domínio de Mar de Morros, no Estado do RJ, município de Nova Friburgo. A altitude aproximada é de 800 m, e o relevo, forte ondulado a montanhoso. O uso era com pastagem de braquiária.

Os perfis MG1 e MG2, assim como o RJ4, foram coletados em terraços aluviais inseridos no domínio do Mar de Morros. O MG1 foi coletado em Juiz de Fora, MG, e tem altitude de 874 m. O MG2 localiza-se em Coronel Pacheco, MG, a uma altitude de 432 m. O MG1 encontrava-se com pasto sujo em pousio. O MG2 localiza-se em área com campo de várzea nativo.

Os perfis DF1, MS2, SP1, PR2 e RS3, além de se situarem no interior do território brasileiro (porção intercontinental), têm em comum muitas propriedades, apesar dos diferentes ambientes de ocorrência. O DF1 foi coletado em Guará, DF, em uma vereda em área de Cerrado, a uma altitude superior a 700 m, com uso de pasto sujo. O MS2 situa-se no vale do rio Paraná, na localidade de Porto Morumbi, MS, a uma altitude de 280 m; o uso na época era com campos de várzea e extração de argila para olarias. O SP1 foi coletado no vale do rio Paraíba do Sul, em Taubaté, SP, a uma altitude superior a 400 m, no domínio de Mata Atlântica, mas com cobertura atual de gramíneas. O perfil PR2, cultivado com azevém, localiza-se em Tijucas do Sul, PR, a uma altitude de 850 m, no ambiente das Florestas Mistas de Araucária. O RS3 foi coletado no Parque Nacional de Aparados da Serra, em Cambará do Sul, RS, a uma altitude de 890 m, ocorrendo também na área do parque os campos naturais. Na área do perfil observam-se campos naturais de várzea hidrófilos.

MÉTODOS

Análise de componentes principais aplicada ao agrupamento dos solos

Na análise de componentes principais (Jolliffe, 2002) foram utilizadas as informações do ambiente de ocorrência (local) e a presença de horizonte mineral dentro de 100 cm de profundidade ou 200 cm, como também as médias dos atributos dos horizontes históricos de cada perfil (Valladares, 2003): teor de fibras esfregadas (fib_esfr), densidade do solo (Ds), teor de C determinado pelo método do CHN em analisador elementar (C_CHN), pH em água, teor da fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH) e humina (HUM), relações FAH/FAF, EA/HUM e FAH/HUM (Quadro 2). O C total (C_CHN) foi determinado por combustão a seco em analisador elementar Perkin Elmer 2400 CHNS, na Embrapa Solos, utilizando amostras de 5,0 mg (mais ou menos 0,1 mg), sendo a acetoneida usada como referência. Mais detalhes do método estão descritos em Valladares (2003).

As variáveis qualitativas foram transformadas em números e todas normalizadas com média 0 e variância 1.

Na análise de componentes principais, cada componente principal (fator) é uma combinação linear das variáveis originais. Quando os dois primeiros componentes principais (fator 1 e fator 2) conseguem reter cumulativamente quantidade suficiente da informação total contida no conjunto das variáveis originais, cada perfil de solo, que era definido pelas 12 variáveis, pode ser definido pelas duas novas variáveis (fator 1 e fator 2), o que possibilita sua localização como um ponto em um gráfico bidimensional. Quanto mais próximos forem os pontos, maiores tenderão a ser suas semelhanças, podendo ser, então, utilizadas como ferramenta no agrupamento de indivíduos.

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 (Roy & Bouyssou, 1993). Os chamados métodos ordinais são considerados bastante intuitivos e pouco exigentes tanto em termos computacionais quanto em relação às informações necessárias por parte do decisor.

Na literatura são encontradas referências a três métodos multicritério ordinais: métodos de Borda, Condorcet e Copeland, podendo aparecer variantes mais elaboradas dos métodos básicos. A grande vantagem da facilidade de uso e compreensão destes métodos é realçada por Kangas et al. (2006) e Laukkanen et al. (2004), que os aplicam a problemas de gestão florestal. A seguir, destacam-se brevemente as particularidades de cada método, que neste trabalho foram usados para avaliar o risco de subsidência. Mais detalhes podem ser vistos em Barba-Romero & Pomerol (1997).

O método de Borda é, em sua essência, uma soma de postos. Tem a grande vantagem da simplicidade. Para uso deste método, o decisor deve ordenar as alternativas de acordo com as suas preferências; a alternativa 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).

Já o método de Condorcet trabalha com relações de superação. As alternativas são comparadas sempre duas a duas e constrói-se um gráfico (Boaventura Neto, 2003), que expressa a relação entre elas. Este método, menos simples, tem a vantagem de impedir distorções ao fazer com que a posição relativa de duas alternativas independa de suas posições relativas a qualquer outra. No entanto, pode conduzir ao chamado "paradoxo de Condorcet", situação que gera ciclos de intransitividade (Soares de Mello et al., 2005). Essa situação, embora possa ser aproveitada em certos problemas, impossibilita gerar uma ordenação das alternativas. Quando os

Quadro 2. Ambiente de ocorrência (Local), profundidade da presença de horizonte mineral (Hor. Min.) e médias dos atributos dos horizontes hísticos dos perfis de Organossolos estudados. Variáveis utilizadas na Análise dos Componentes Principais e Métodos Multicritério

Perfil	Local ⁽¹⁾	Hor. min. ⁽²⁾	Fib_esf ⁽³⁾	Ds	pH água	C_CHN	FAF	FAH	HUM	FAH/FAF	EA/HUM	FAH/HUM
			%	kg dm ⁻³		g kg ⁻¹						
AL1	1	1	64	0,07	4,4	234	25	58	110	2,47	0,78	0,55
AL2	1	2	45	0,19	2,8	441	20	122	173	5,61	0,76	0,64
BA2	1	1	21	0,20	3,0	475	21	188	232	9,10	0,93	0,84
BA3	1	3	21	0,20	3,5	484	23	189	238	9,73	0,91	0,81
DF1	2	3	1	0,59	5,6	144	15	75	39	4,68	2,37	1,98
ES1	1	3	15	0,56	4,0	188	23	62	100	2,66	0,83	0,61
MG1	2	2	25	0,28	4,5	286	33	101	128	3,27	1,12	0,86
MG2	2	1	20	0,33	5,1	161	13	57	83	4,49	0,86	0,69
MS2	2	1	12	0,58	4,4	155	14	76	61	8,12	1,55	1,26
PR2	2	3	2	0,52	4,3	202	15	129	36	9,51	4,08	3,67
PR3	3	1	60	0,14	5,7	419	57	84	235	1,47	0,60	0,36
RJ1	3	1	9	0,80	5,1	52	9	20	42	2,19	0,81	0,56
RJ3	1	1	34	0,16	5,0	319	38	109	139	3,03	1,13	0,83
RJ4	2	1	8	0,89	5,8	76	14	27	10	1,93	5,87	3,84
RS3	2	1	8	0,36	4,0	113	13	52	44	4,91	1,90	1,59
RS4	1	3	7	0,24	3,3	466	16	151	232	9,68	0,73	0,66
RS5	1	2	4	0,31	3,6	325	23	149	130	6,43	1,34	1,16
SC2	1	3	24	0,14	3,5	494	28	166	248	6,16	0,78	0,67
SP1	2	1	4	0,60	5,1	176	18	104	36	5,98	4,33	3,74

⁽¹⁾ 1: planície litorânea; 2: solos do interior do continente associados a planícies aluviais e vales; 3: solos altimontanos. ⁽²⁾ 1: dentro de 100 cm de profundidade; 2: entre 100 e 200 cm; 3: superior a 200 cm. ⁽³⁾ Fib_esf: fibras esfregadas; DS: densidade do solo; C_CHN: carbono determinado por CHN; FAF: fração ácido fúlvico; FAH: fração ácido húmico; HUM: humina; EA: extrato alcalino = FAF + FAH.

ciclos de intransitividade não aparecem, o método de Condorcet deve ser preferido ao de Borda (Soares de Mello et al., 2004).

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. Quando os ciclos de intransitividade existem, o método de Copeland permite fazer a ordenação e mantém a classificação das alternativas que não pertencem a nenhum ciclo de intransitividade. Apesar de computacionalmente mais exigente que o Borda, esse método fornece sempre uma resposta. O método de Copeland pode ser considerado um compromisso entre as filosofias opostas de Borda e Condorcet, reunindo, dentro do possível, as vantagens dos dois.

Para ordenar/classificar segundo o risco de subsidência dos 19 perfis anteriormente mencionados, foram eleitos quatro atributos do solo: espessura do material orgânico (ocorrência de material mineral nas camadas superficiais do solo, até 100 cm de profundidade, entre 100 e 200 cm ou superior a 200 cm), teor de fibras esfregadas, densidade do solo e teor de C determinado por CHN. Os critérios

considerados foram os seguintes: quanto maior a espessura do material orgânico e maior a densidade do solo, menor o risco de subsidência; e quanto maior o teor de fibras esfregadas e o teor de C determinado por CHN, maior o risco de subsidência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Solos altimontanos

O PR3 é um solo raso, com boa drenagem e horizonte O hístico, assentado diretamente sobre a rocha. Por erosão, o material mineral é perdido à medida que a rocha é intemperizada, enquanto ocorre a acumulação de material orgânico, favorecida pelas condições de altitude e baixas temperaturas. Possui horizonte Oo de coloração bruno-acinzentada muito escuro, cor que pode refletir o teor de FAF, uma vez que, de todas as amostras, esta foi a que apresentou a menor relação FAH/FAF (1,47). A fração HUM predominou no perfil PR3, em relação às demais frações húmicas, o que é decorrente dos elevados teores de fibras. Com base no índice de pirofosfato nas fibras

esfregadas e na escala de von Post, o material foi classificado como fibrico, apresentando ainda muito material humificado, com a soma das frações FAH e FAF igual a $141,5 \text{ g kg}^{-1}$ de C no solo. A relação EA/HUM foi baixa no PR3, indicando baixa relação de materiais orgânicos alcalino-solúveis em relação àqueles insolúveis, sendo também reflexo do teor de fibras esfregadas. Os altos teores de C e de fibras esfregadas e a cobertura do solo com vegetação nativa favorecem a baixa densidade do solo do horizonte Oo, que foi de $0,14 \text{ kg dm}^{-3}$. A boa drenagem, a elevada declividade e a baixa proporção de material mineral (19 %) favorecem a perda de material orgânico mais solúvel do perfil, o que pode explicar o predomínio de HUM no Oo. O ambiente de ocorrência desse solo é o mais frágil de todos os perfis coletados. A vegetação é totalmente dependente do horizonte Oo, e este também é dependente da vegetação primária, indicando que a incidência de fogo na área ou desmatamentos podem comprometer totalmente o ecossistema, levando a uma rápida degradação ambiental.

O perfil RJ1 é composto por horizontes superficiais que apresentam grande volume de folhas, galhos e outras partes de vegetais, o que reflete em baixa densidade do solo ($0,54$ a $0,96 \text{ kg dm}^{-3}$). Entretanto, em relação à massa do solo, há predomínio de material mineral com textura média. Os horizontes superficiais podem ser considerados de material hêmico. Contudo, em toda a massa do horizonte é grande o volume de partes de vegetais. Este horizonte, pelo elevado teor de fibras esfregadas, possui predomínio de matéria orgânica pouco decomposta na fração HUM, tendo relação EA/HUM superior a 1. Isso indica o predomínio na TFSA de compostos orgânicos alcalino-solúveis. A relação FAH/FAF é baixa, em relação a outros solos.

Solos da planície litorânea tiomórficos

No perfil AL1, os dois horizontes mais superficiais apresentam cores e estruturas comuns de horizontes hísticos em ambiente saturado por água, com pequena espessura de material orgânico. A área onde está o perfil AL1 tem efeito regulador na dinâmica de água superficial, por estar no entorno da lagoa, recebendo o excesso das águas quando ocorrem as cheias. A ausência de sistema de drenagem artificial e a pequena pressão de uso favorecem a formação de horizontes hísticos fibricos, com baixa densidade do solo, sendo um solo com alto potencial de subsidência. Apresenta elevados teores de fibras e predomínio da fração HUM em relação às demais frações húmicas. A relação FAH/FAF varia pouco nos horizontes, com valores entre 2,25 e 2,69. Já a relação EA/HUM apresenta valores inferiores a 1, sendo bastante homogênea entre os horizontes orgânicos.

Os perfis AL2, BA2, BA3, SC2 e RS4, por suas semelhanças, serão discutidos em conjunto. Todos foram coletados em planícies no litoral brasileiro. O mais distante da região costeira (RS4) localiza-se entre 8 e 10 km da Lagoa dos Patos, RS. Os demais foram

formados sob influência marinha, a qual favoreceu o tiomorfismo nesses solos, ocorrendo valores de pH inferiores a 2, com predomínio de valores de pH em torno de 3,5, dentro de uma profundidade de 100 cm. A maioria dos perfis apresenta horizontes hísticos com elevados teores de C, predominantemente hêmicos, com exceção do RS4, que é sáprico, provavelmente devido à drenagem excessiva e ao longo tempo de uso com pastagem. Apesar das diferenças de latitude dos perfis, desde AL até o RS, estes apresentam muitas semelhanças. Quanto às frações húmicas, os horizontes hísticos apresentam predomínio da HUM, a qual, em parte, é constituída de humina real e o restante, de matéria orgânica leve, com raras exceções. As relações FAH/FAF variam de médias a altas, com valores entre 2,41 e > 12 , indicando alta proporção da FAH e baixa da FAF nos perfis, e aumentam em profundidade. Talvez a relação FAH/FAF mais baixa nos horizontes superficiais deva-se à maior oxidação dessas camadas, favorecendo a formação de substâncias orgânicas da FAF. A relação EA/HUM tende a ser baixa nesses solos, com valores inferiores a 1 na maioria dos horizontes. Exceção ocorre em dois horizontes, um do BA2 e outro do BA3, com valores de 1,17 e 1,06, respectivamente. Os elevados teores de C, o material orgânico em estágio intermediário de decomposição e os baixos valores de RM conferem a esses solos alto potencial de subsidência.

O RS5 foi coletado em Viamão, RS, em uma bacia diferente da bacia do RS4, após o divisor de águas. Também apresenta caráter tiomórfico, caracterizado pelo pH 3,5 em um horizonte dentro da profundidade controle. As principais diferenças em relação aos Organossolos Tiomórficos discutidos anteriormente estão na Ds mais elevada ($0,26$ a $0,36 \text{ kg dm}^{-3}$), reflexo do menor teor de C e de fibras (4 %), o que caracteriza seus horizontes como sápricos. Outra particularidade é o predomínio da FAH em relação à HUM e à FAF, possuindo alta relação FAH/FAF (4,6 a 5,5) e EA/HUM entre 1 e 1,5. Apresenta alto potencial de subsidência, tendo em vista os baixos valores ($0,08$ a $0,09 \text{ m m}^{-1}$) de RM. O perfil RS5 possui uma camada mineral na profundidade entre 46 e 58 cm.

Solos da planície litorânea não-tiomórficos

O perfil RJ3 apresenta cores escuras características de Organossolos. O material, quando exposto ao ar, tende a escurecer ainda mais, sugerindo um processo oxidativo de compostos orgânicos. No campo, o material apresentava características de material fibrico, com muitos fragmentos de tecido vegetal de tifáceas pouco decompostos. Todavia, a pequena resistência desses tecidos à ação mecânica, na determinação das fibras esfregadas em laboratório, fez com que o perfil fosse classificado como hêmico. Isso também foi indicado pelos baixos valores do índice de pirofosfato, de 1 a 3. É um solo com altos teores de C ($288,5$ a $339,8 \text{ g kg}^{-1}$), baixa densidade do solo ($0,15$ a $0,17 \text{ kg dm}^{-3}$) e baixo RM ($0,02$ a $0,04 \text{ m m}^{-1}$). As

proporções de fibras esfregadas (12, 16, 28 e 80 %), que aumentam em profundidade, podem estar refletindo a drenagem e o manejo agrícola relativamente recente da área. É um solo com alto potencial de subsidência. Apresenta FAF acima da média (24,0 a 51,0 g kg⁻¹) e predomínio da fração HUM, que é uma mistura de humina real e de matéria orgânica leve. A relação FAH/FAF encontra-se entre 2 e 4. A relação EA/HUM varia entre 1,14 e 1,56 nos três horizontes superficiais mais decompostos, sendo inferior a 1 (0,65) em um horizonte de natureza fibrica. É um solo relativamente raso, com 90 cm de espessura de material orgânico e alto potencial de subsidência. Apresenta potencial de uso conflitante, pois, embora tenha alto potencial produtivo devido à alta fertilidade natural, também apresenta alto risco de degradação.

O perfil ES1 apresenta uma camada de material orgânico de espessura inferior a 200 cm, com valores intermediários de C (157,7 a 227,7 g kg⁻¹), sendo os 40 cm superficiais de material sáprico e 40 a 100 cm de material hêmico. Os dois primeiros horizontes apresentam alta Ds (0,65 e 0,70 kg dm⁻³) e alto RM (0,23 a 0,30 m m⁻¹). Já o terceiro horizonte apresenta Ds (0,34 kg dm⁻³) e RM (0,15 m m⁻¹) um pouco abaixo da média, sendo um horizonte com potencial moderado de subsidência, enquanto os superficiais Hdp1 e Hdp2 apresentam baixo potencial. A fração HUM é predominante no perfil, que possui baixos valores de relação EA/HUM, entre 0,75 e 1. A relação FAH/FAF encontra-se entre 2 e 3, pouco abaixo da média.

Solos de planícies e fundos de vales intercontinentais

A maioria dos horizontes do perfil RJ4 apresenta baixos teores de C, sendo esta a variável utilizada para separar os horizontes em H ou Cg. O material orgânico é predominantemente sáprico. Quanto às frações húmicas, os quatro primeiros horizontes superficiais do perfil Hdp1, Hdp2, Cg1 e Cg2 apresentam predomínio da fração FAH. As relações FAH/FAF são baixas, em torno de 2 ou menos, indicando baixa proporção da FAH sobre a FAF. A relação EA/HUM tende a ser alta, variando de 2,2 a 9,9, com presença de um pico característico de horizonte espódico no horizonte Cg1, coincidindo com o aumento do teor de material mineral. Dentre os perfis estudados, este é o único que apresentou valores da relação EA/HUM superiores aos da FAH/FAF. É um solo com baixíssimo potencial de subsidência, devido aos baixos teores de C (inferiores a 100 g kg⁻¹), alta Ds (0,80 a 0,97 kg dm⁻³) e altos valores de RM (0,43 a 0,57 m m⁻¹).

O perfil MG1 apresenta teores de C mais elevados do que o MG2 (213,7 a 366,7 para MG1 e 114,8 a 206,4 g kg⁻¹ para o MG2). O material orgânico é predominantemente hêmico. Quanto às frações húmicas, os horizontes hísticos, em sua maioria, apresentam predomínio da fração HUM, a qual, pelo fato de o material ser hêmico, é constituída tanto de

humina real como de matéria orgânica leve. A relação FAH/FAF varia entre 3,2 e 5,8 na maioria dos horizontes. A relação EA/HUM tende a ser baixa, variando de 0,7 a 1,5. São solos de moderado a alto potencial de subsidência, devido à Ds (0,18 a 0,41 kg dm⁻³) e aos valores de RM (0,05 a 0,22 m m⁻¹).

Os perfis DF1, MS2, SP1, PR2 e RS3 têm em comum teores medianos de C na maioria dos horizontes (valores entre 100 e 300 g kg⁻¹ de C) e são predominantemente sápricos, com exceção de alguns horizontes, que possuem maior quantidade de raízes. A Ds, na maioria dos horizontes, varia de média a alta, entre 0,39 e 0,80 kg dm⁻³. O RM varia de médio a alto (0,14 a 0,43 m m⁻¹), e o conjunto dessas características faz com que esses solos tenham potencial de subsidência de moderado a baixo. Outra característica marcante nesses solos é o predomínio da fração FAH sobre a HUM e a FAF, o que resulta em elevados valores da relação EA/HUM – na maioria das amostras acima de 2, podendo chegar a 6,1. Os horizontes com menores valores dessa relação, numericamente, estão entre 1 e 2. Isso mostra o predomínio dos compostos alcalino-solúveis em relação à humina, insolúvel nesses solos sápricos do interior brasileiro. O teor mais elevado de material mineral nesses solos (> 51 %) pode favorecer o predomínio da FAH, haja vista a afinidade entre os constituintes orgânicos e a fração mineral, principalmente argila. A relação FAH/FAF também é elevada na grande maioria das amostras, normalmente superior a 4.

Análise de componentes principais

A análise de componentes principais considerou os dois primeiros fatores, que tiveram *Eigenvalue* acumulado de 73,1 %. O quadro 3 apresenta os escores de cada variável para os fatores de ordem 1 e 2. Na figura 1a,b é mostrado o agrupamento dos solos com base em sua classificação no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). Para produzir esta figura, os valores normalizados de cada variável de cada perfil foram multiplicados pelo seu escore equivalente e foi efetuada a soma de todos esses produtos.

Na figura 1(a), observa-se bom agrupamento dos solos, pela sua classificação no segundo nível categórico. Para os solos altimontanos, que no SiBCS são classificados como Neossolo Litólico (PR3) e Cambissolo Húmico (RJ1), observa-se a posição de destaque em relação aos demais solos, bem como a distância gráfica considerável entre eles, o que é coerente diante das particularidades dos perfis PR3 e RJ1.

Os Organossolos Tiomórficos (AL1, AL2, BA2, BA3, SC2, RS4 e RS5) apresentaram o melhor agrupamento, com exceção do perfil AL1, que possui características diferenciadas quando comparado aos demais solos, como elevados teores de fibras esfregadas e pequena espessura de horizontes orgânicos.

Quadro 3. Escores dos fatores 1 e 2 da análise dos componentes principais para os perfis de Organossolos estudados

Variável	Fator 1	Fator 2
Hor. Min.	-0,35415	-0,55880
Fib_esfr	-0,47110	0,75329
Ds	0,87947	-0,25993
C_CHN	-0,94071	-0,07353
pH água	0,73842	0,45721
FAF	-0,45345	0,64404
FAH	-0,78350	-0,48649
HUM	-0,93573	0,09316
FAH/FAF	-0,39960	-0,80069
EA/HUM	0,71864	-0,37911
FAH/HUM	0,67426	-0,47135
Local	0,65118	0,37954

Hor. Min.: profundidade de ocorrência de horizonte mineral, Fib_esfr: fibras esfregadas, Ds: densidade do solo, C_CHN: carbono determinado por CHN, FAF: fração ácido fúlvico, FAH: fração ácido húmico, HUM: humina, EA: extrato alcalino = FAF + FAH, Local: ambiente de ocorrência do solo.

Os Organossolos Mésicos ocupam outra posição no gráfico, também apresentando bom agrupamento. O Organossolo Háptico ficou entre os Mésicos e os Tiomórficos, mais próximo dos Mésicos, o que fundamenta uma proposta de reunir as subordens Mésicos e Hápticos.

A figura 1(b) é semelhante à 1(a), porém os solos foram classificados até o nível hierárquico de subgrupo. Para os Organossolos Tiomórficos, a separação mais eficiente deu-se para o AL1, que é fibrífico e ficou isolado dos demais. Foi verificada boa separação dos Mésicos hêmicos dos Mésicos sápricos, com os primeiros ficando mais próximos do Háptico hêmico, o que se deve à natureza hêmica do material orgânico destes perfis. De maneira geral, pode-se afirmar que a análise dos componentes principais foi útil no agrupamento dos perfis de solos.

Modelagem multicritério

Para ordenar/classificar segundo o risco de subsidência os 19 perfis anteriormente mencionados, foram escolhidos apenas quatro dentre 13 potenciais atributos utilizados na análise dos componentes principais. Os atributos considerados mais importantes foram: espessura do material orgânico (ocorrência ou não de material mineral nas camadas superficiais do solo), teor de fibras esfregadas, densidade do solo e teor de C determinado por CHN.

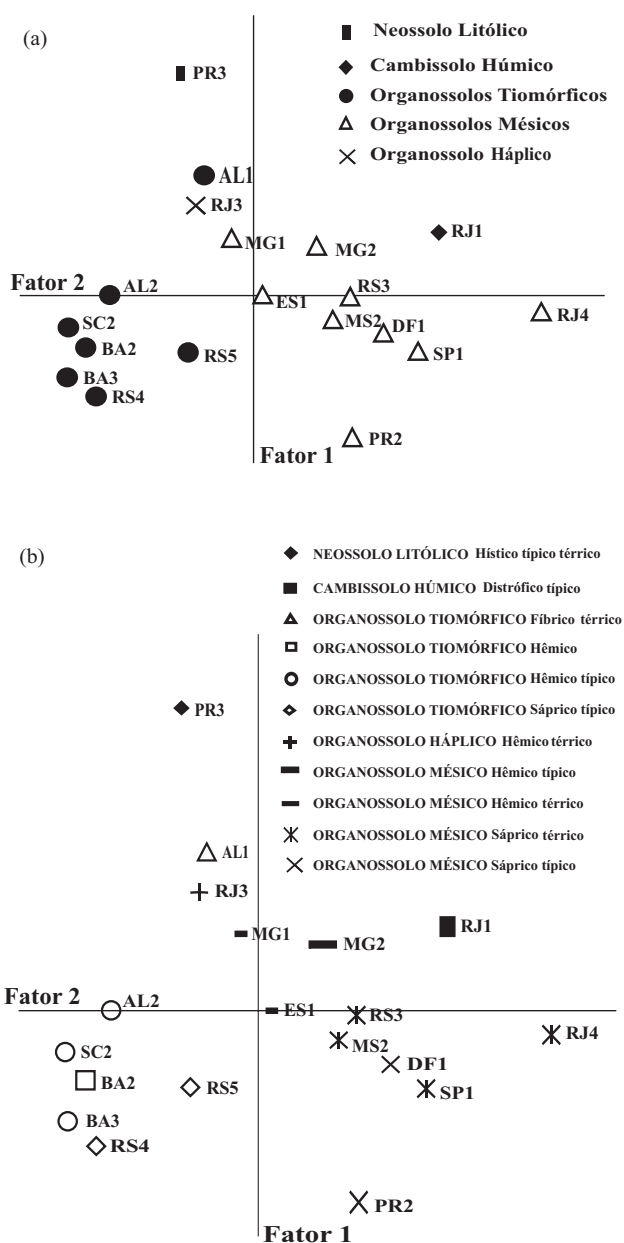


Figura 1. Agrupamento dos perfis coletados no estudo, com base na análise dos componentes principais.

No quadro 4 é apresentada a ordenação dos perfis estudados segundo os métodos de Borda e Copeland. Na aplicação do método de Condorcet não foi possível gerar uma ordenação dos solos; 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, coerente com os resultados do método de Copeland. No quadro 4, 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.

Quadro 4. Ordem do risco de subsidência dos perfis de Organossolos estudados, segundo cada método

Perfil	Método de Borda	Perfil	Método de Copeland	Perfis	Valores de RM
					m m ⁻¹
	DF1	DF1	16	RJ4	0,490
	PR2	RJ4	14	RJ1	0,480
	RJ4	RJ1	12	DF1	0,290
	RJ1	SP1	11	RS3	0,260
	ES1	PR2	10	SP1	0,240
	SP1	ES1	7	ES1	0,227
	RS3	RS3	5	PR2	0,220
	MS2	RS5	5	MG2	0,153
	RS5	MS2	3	MS2	0,120
	RS4	RS4	2	MG1	0,100
	MG2	MG2	-2	RS5	0,085
	MG1	MG1	-5	AL2	0,046
	BA3	BA2	-7	RS4	0,036
	SC2	BA3	-7	BA3	0,030
	AL2	RJ3	-8	RJ3	0,030
	BA2	AL2	-11	AL1	0,025
	RJ3	SC2	-12	PR3	0,020
	AL1	PR3	-15	BA2	0,016
	PR3	AL1	-18	SC2	0,010

Ordem crescente do risco de subsidência

Pode-se verificar 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, descrito em Embrapa (1999), 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, porém é maior seu potencial de emissão de gases de efeito estufa. 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. Desse modo, pode-se afirmar que os métodos aqui propostos refletiram melhor o potencial de subsidência do que o atributo RM, comumente o único usado nesse tipo de avaliação.

CONCLUSÕES

1. A análise multivariada de componentes principais mostrou-se adequada no agrupamento dos

solos estudados com base nos atributos dos perfis, comparando-se com a sua classificação taxonômica.

2. Os métodos multicritério ordinais de Borda e Copeland foram eficientes para ordenar/classificar os perfis de Organossolos e solos afins estudados quanto ao risco de subsidência. A aplicação do algoritmo do método de Condorcet conduziu a um grande ciclo de intransitividade, o qual impossibilitou gerar, para este caso, uma ordenação das alternativas. Entretanto, esse fato não compromete a aplicabilidade dos métodos ordinais, já que esta é uma característica conhecida e inerente ao método de Condorcet.

3. A consideração de outros critérios, além do comumente usado para classificar os solos quanto à subsidência (qual seja, resíduo mínimo), mostrou-se vantajosa, com melhor identificação dos solos com maior potencial de subsidência.

4. Os métodos propostos apresentam-se promissores para estudos em Ciência do Solo, no auxílio aos estudos taxonômicos, na determinação de potenciais produtivos de solos, aptidões e riscos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo apoio financeiro (processo n° 472838/2004-0); à CAPES e à FAPERJ, pelas bolsas concedidas.

LITERATURA CITADA

- ANDRIESSE, J.P. Nature and management of tropical peat soils. Rome, FAO, 1988. 59p. (FAO Soils Bulletin)
- ANDRIESSE, J.P. Uso de solos orgânicos em condições tropicais e subtropicais aliado às possibilidades brasileiras. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SOLOS ORGÂNICOS, Curitiba, 1984. Anais. Curitiba, 1984. p.11-34.
- BARBA-ROMERO, S. & POMEROL, J.C. Decisiones multicriterio: Fundamentos teóricos e utilización práctica. Madri, Universidad de Alcalá, 1997. 420p.
- BENITES, V.M. Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 71p. (Tese de Doutorado)
- BENITES, V.M. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 125p. (Tese de Mestrado)
- BOAVENTURA NETO, P.O. Grafos: Teoria, modelos, algoritmos. 3.ed. São Paulo, Edgard Blücher, 2003. 328p.
- BORUVKA, L.; VACEK, O. & JEHLICKA, J. Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, v. 128, p. 289-300, 2005.
- CARVALHO JÚNIOR, W.; CHAGAS, C.S.; PEREIRA, N.R. & STRAUCH, J.C.M. Elaboração de zoneamentos agropedoclimáticos por geoprocessamento: Soja em municípios do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:379-387, 2003.
- CONCEIÇÃO, M. Natureza do húmus e caracterização de solos com elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí - Santa Cruz, RJ. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro 1989. 169p. (Tese de Mestrado)
- CONCEIÇÃO, M.; MANZATTO, C.V.; ARAÚJO, W.S.; MARTIN NETO, L.; SAAB, S.C.; CUNHA, T.J.F. & FREIXO, A.A. Caracterização de solos orgânicos do Estado do Rio de Janeiro, propriedades físicas e morfológicas como subsídios à classificação. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 6p. (Pesquisa Andamento - Embrapa Solos, 4)
- DIAS, L.M.C.; ALMEIDA, L.M.A.T. & CLÍMACO, J. Apoio multicritério à decisão. Coimbra, Universidade de Coimbra, 1996. 175p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- ESTADOS UNIDOS. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2.ed. Washington, Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff, 1999. 869p. (USDA. Agriculture Handbook, 436)
- FACCHINELLI, A.; SACCHI, E. & MALLEEN, L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ. Poll.*, 114:313-324, 2001.
- FAO. Soil map of the world – revised legend. Wageningen, 1988. 143p. (World Soil Resources Report, 60; Technical paper, 20 – ISRIC)
- HILBERT, D.W.; ROULET, N. & MOORE, T. Modelling and analysis of peatlands as dynamical system. *J. Ecol.*, 88:230-242, 2000.
- INCORA. Mapificación caracterización y clasificación de los suelos orgánicos del Valle de Sibundoy. Bogotá. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria – INCORA, 1974. 148p.
- JOLLIFFE, I.T. Principal component analysis. 2.ed. New York, Springer-Verlag, 2002. 502p.
- KAMPF, N. & SCHNEIDER, P. Caracterização de solos orgânicos do Rio Grande do Sul: Propriedades morfológicas e físicas como subsídios à classificação. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:227-236, 1989.
- KANGAS, A.; LAUKKANEN, S. & KANGAS, J. Social choice theory and its applications in sustainable forest management-a review. *For. Policy Econ.*, 9:77-92, 2006.
- LAUKKANEN, S.; PALANDER, T. & KANGAS, J. Applying voting theory in participatory decision support for sustainable timber harvesting. *Can. J. For. Res.*, 34:1511-1524, 2004.
- LEPSCH, I.F.; QUAGGIO, J.A.; SAKAI, E.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Caracterização, classificação e manejo agrícola de solos orgânicos do vale do Rio Ribeira de Iguape, SP. Campinas, Instituto Agrônomo, 1990. 58p. (Boletim Técnico, 131)
- LYNN, W.C.; MCKINZIE, W.E. & GROSSMAN, R.B. 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. Madison, Soil Science Society of America, 1974.136p.
- MENDONÇA, M.M. Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999. 195p. (Tese de Mestrado)
- OLIVEIRA, J.B. Pedologia aplicada. 2.ed. Piracicaba, FEALQ, 2005. 574p.
- PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & VALLADARES, G.S. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: TORRADO, P.V.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. & CARDOSO, E.J., eds Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4. p.233-276.
- RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.ed. Rio de Janeiro, Embrapa/CNPQ, 1994. 65p.
- ROY, B. & BOUYSSOU, D. Aide multicritère à la décision: Méthods et cas. *Econômica*, 1993. 695p.

- SOARES DE MELLO, J.C.C.B.; GOMES, E.G.; GOMES, L.F.A.M.; BIONDI NETO, L. & ANGULO MEZA, L. Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação. *Pesq. Operac.*, 25:313-330, 2005.
- SOARES DE MELLO, M.H.C.; QUINTELLA, H.L.M.M. & SOARES DE MELLO, J.C.C.B. Avaliação do desempenho de alunos considerando classificações obtidas e opiniões dos docentes. *Invest.Operac.*, 24:187-196, 2004.
- SOUZA JÚNIOR, V.S.; RIBEIRO, M.R. & OLIVEIRA, L.B. Propriedades químicas e manejo de solos tiomórficos da várzea do Rio Coruripe, Estado de Alagoas. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:811-822, 2001.
- VALLADARES, G.S. Formas de ferro como índices de pedogênese e adsorção de fósforo. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2000. 165p. (Dissertação de Mestrado)
- VALLADARES, G.S. Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2003. 142p. (Tese de Doutorado)
- VALLADARES, G.S. & FARIA, A.L.L. SIG na análise do risco de salinização na Bacia do Rio Coruripe, AL. *Engevista*, 6:86-98, 2004.