



# XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas  
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

## ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS PARA AVALIAÇÃO DO USO E MANEJO DE SOLOS DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS

**Paulo Ivonir Gubiani<sup>(1)</sup>; José Miguel Reichert<sup>(2)</sup>; Dalvan José Reinert<sup>(2)</sup>**

<sup>(1)</sup> Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, nº 1000, Camobi, Santa Maria, 97105-900, [paulogubiani@gmail.com](mailto:paulogubiani@gmail.com); <sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima, nº 1000, Camobi, Santa Maria, 97105-900

**Resumo** – Ambientes agrícolas de microbacias hidrográficas rurais são diversificados naturalmente e pelo uso antrópico, fato que aumenta a variabilidade e dificulta a avaliação do efeito do uso e manejo sobre atributos do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do uso e do manejo em atributos físicos, químicos e biológicos do solo das microbacias hidrográficas rurais de Agudo, Cristal, Maximiliano de Almeida e Arvorezinha, no Rio Grande do Sul. Em 17 áreas selecionadas, variáveis físicas químicas e biológicas foram medidas, e a análise multivariada de componentes principais foi utilizada para ordenar áreas com padrões de qualidade do solo semelhantes. As três primeiras componentes explicaram 76% da variância dos dados. A primeira componente (contendo 35,76% da variância) foi um índice da fertilidade do solo (pesos positivos para K, Ca, Mg, CTC efetiva e respiração basal, e negativos para Al trocável). A segunda componente (contendo 27,89% da variância) foi um índice da fragilidade física do solo (pesos positivos para argila e silte, e negativos para areia). As microbacias de Agudo e Cristal são mais frágeis fisicamente, e o uso do solo com culturas anuais aumentou a fragilidade física e diminuiu a fertilidade química do solo. Nas microbacias de Maximiliano e Arvorezinha, o uso do solo com culturas anuais aumentou a fragilidade física, mas aumentou a fertilidade química do solo. Assim, a análise de componentes principais foi útil para identificar que usos e manejos semelhantes podem alterar a qualidade física, química ou biológica do solo em sentidos diferentes se os ambientes agrícolas forem distintos.

**Palavras-Chave:** fertilidade físico-química-biológica, produção de fumo; variabilidade.

### INTRODUÇÃO

A qualidade da estrutura do solo é um indicador de sustentabilidade de sistemas agrícolas, e deve ser avaliada por inúmeros indicadores, pois processos biológicos, químicos e físicos são conjuntamente responsáveis pela definição de um nível de organização e funcionalidade do solo (Doran e Parkin, 1994, Karlen et al., 1997). Grande parte dessa funcionalidade foi definida pela pedogênese e é controlada pelos mesmos fatores que governaram a formação do solo como relevo, vegetação e clima. Contudo, o manejo

normalmente modifica negativamente a funcionalidade do solo, sobretudo em solos estruturalmente frágeis como os arenosos (Reichert et al, 2003). Como consequência, ocorre erosão e redução de produtividade (Bertol et al., 2007).

Detectar o efeito do manejo sobre a estrutura do solo é importante para a avaliação da adequação das técnicas de cultivo ao tipo de solo e ambiente. Em áreas experimentais homogêneas e controladas, o efeito das práticas de manejo é facilmente detectado. Contudo, quando a análise envolve vários locais com solos e práticas de manejo típico de cada região, muitos fatores não controlados afetam a expressão de uma dada resposta. Nessas situações, a análise multivariada pode auxiliar a explicar a relação geral de um conjunto de variáveis e descrever melhor as tendências e o reconhecimento de padrões do sistema ou ambiente de análise (Sena et al., 2000). Dentre várias técnicas disponíveis, a Análise de Componentes Principal (ACP) tem sido usada em alguns estudos de solo para descrever estruturas de análises com maior complexidade que as utilizadas em delineamentos controlados (Sena et al. 2002; Gomes et al, 2004).

Ambientes como os de microbacias hidrográficas rurais são diversificados naturalmente e pelo uso antrópico, fato que aumenta a variabilidade e dificulta a avaliação do efeito do uso e manejo sobre atributos do solo. Os solos são naturalmente diferentes, inclusive em uma mesma microbacia. Os diferentes usos do solo, como florestas (naturais ou implantadas), áreas de pastejo, áreas de transição (capoeiras), culturas perenes como frutíferas, áreas cultivadas com ou sem mobilização do solo imprimem grande variação das propriedades biológicas, físicas e químicas. Do ponto de vista químico, áreas cultivadas podem sofrer aumento ou diminuição da fertilidade, que pode acontecer, inclusive, apenas para alguns nutrientes, dependendo da aplicação repetida excessiva ou deficiente de um dado fertilizante. Num ambiente com essa diversidade, no qual são avaliadas inúmeras propriedades do solo, a análise multivariada pode contribuir para tornar mais claras as inúmeras inter-relações que ocorrem (Manly, 2008).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto do uso e do manejo em atributos físicos, químicos e biológicos do solo em quatro microbacias hidrográficas rurais, nas quais a produção de fumo é o uso predominante.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados usados neste trabalho foram obtidos de um conjunto de análises efetuadas em quatro microbacias hidrográficas rurais do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A produção de fumo, em pequenas unidades de produção é o sistema dominante nas quatro microbacias. Problemas como erosão do solo, degradação dos recursos naturais, poluição das fontes de abastecimento de água e dos mananciais hídricos, além da baixa produtividade resultante da degradação do solo são comuns nessas áreas. Os solos predominantes nas microbacias são Neossolos e Chernossolos (Dalmolin et al., 2004).

Microbacias e uso do solo	n
AGD_CA	20
AGD_PT	1
AGD_CP	3
AGD_FL	1
AGD_MT	1
AVZ_FL	4
AVZ_CA	20
AVZ_CP	4
AVZ_MT	1
CRT_CA	11
CRT_MT	2
CRT_FL	1
CRT_CP	1
MXL_CA	17
MXL_MT	4
MXL_PT	3
MXL_FL	1

**Figura 1.** Localização, caracterização das microbacias e usos do solo. n=tamanho da amostra; Microbacias: AGD = Agudo, AVZ = Arvorezinha, CRT = Cristal, MXL = Maximiliano de Almeida. Usos do solo: CA = culturas anuais, PT = potreiro, CP = capoeira, FL = florestamento, MT = mata.

As coletas de solo foram realizadas na camada de 0-5 cm, num total de 96 glebas representativas dos usos

e manejos (cultivo convencional e mínimo de fumo associado a outras culturas como milho, feijão, aveia, azevém, ervilhaca, batatinha, etc.) das microbacias. Nas áreas ocupadas com culturas anuais havia maior diversidade de cultivos que nos demais usos, por isso elas foram amostradas com maior intensidade.

As variáveis medidas e respectivas técnicas usadas foram: [areia, silte e argila; método da pipeta (Embrapa, 1997)], [carbono na biomassa microbiana (CBMS); metodologia proposta por Islam e Weil (1998)], [respiração basal (RespBasal); método estático de medição de CO<sub>2</sub> (sem injeção de ar)], [pH em água, P e K disponíveis, Al, Ca e Mg trocáveis; conforme Tedesco et al. (1995)] e [solo descoberto (SoloDesc); método descrito por Spedding e Large (1957)]. A partir de dados medidos foram calculados outros atributos como acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCef) e argila dispersa em água (ArgDA).

Os dados foram agrupados por microbacia e uso do solo para aplicação da análise de componentes principais (ACP). Os usos do solo associados a sua respectiva microbacia (Figura 1) foram dispostos nas linhas (n=17) e as variáveis (representadas pelo valor médio) nas colunas (p=16) da matriz de dados X<sub>(17x16)</sub>. Os dados da matriz X<sub>(17x16)</sub> foram autoescalados, isto é, normalizados (escores z), de modo que cada variável ficasse com média igual a zero e variância igual à unidade. O autoescalamento dos dados se justifica pelo fato de que as variáveis apresentam escalas diferentes (unidades de medida) e, portanto, diferem em ordem de grandeza, o que causaria influência demasiada de algumas poucas variáveis no modelo da ACP (Sena, et al. 2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três primeiras componentes principais explicaram 76% da variância dos dados (a soma dos três primeiros autovalores) e representam o padrão geral do ambiente. Todas as outras 13 componentes explicaram juntas 34 % da variância, e apresentam pequena capacidade para descrever a estrutura principal dos dados. Por isso, a interpretação dos resultados foi feita considerando a variabilidade contida nas três primeiras componentes (76%), simbolizadas por CP1, CP2 e CP3.

O posicionamento das áreas em relação à CP1 e CP2 (Figura 2 B) reflete a contribuição individual de cada variável para a definição do valor de cada componente. Áreas que ocupam uma dada posição no plano CP1xCP2 (Figura 2B) são influenciadas principalmente pelas variáveis que ocupam estas mesmas posições ou posições opostas no plano do círculo das correlações (Figura 2A).

Assim, verifica-se que a CP1 é basicamente um contraste entre variáveis descritoras da fertilidade do solo (Figura 2A). As áreas foram afetadas positivamente, principalmente pelas variáveis K, Ca, Mg, CTCef e RespBasal, e negativamente pela variável Al. Assim, áreas nas quais a baixa fertilidade do solo foi a característica preponderante (valores mais altos para Al) foram posicionadas à esquerda, e áreas com boa fertilidade do solo foram posicionadas à direita da origem da CP1 (Figura 2B).

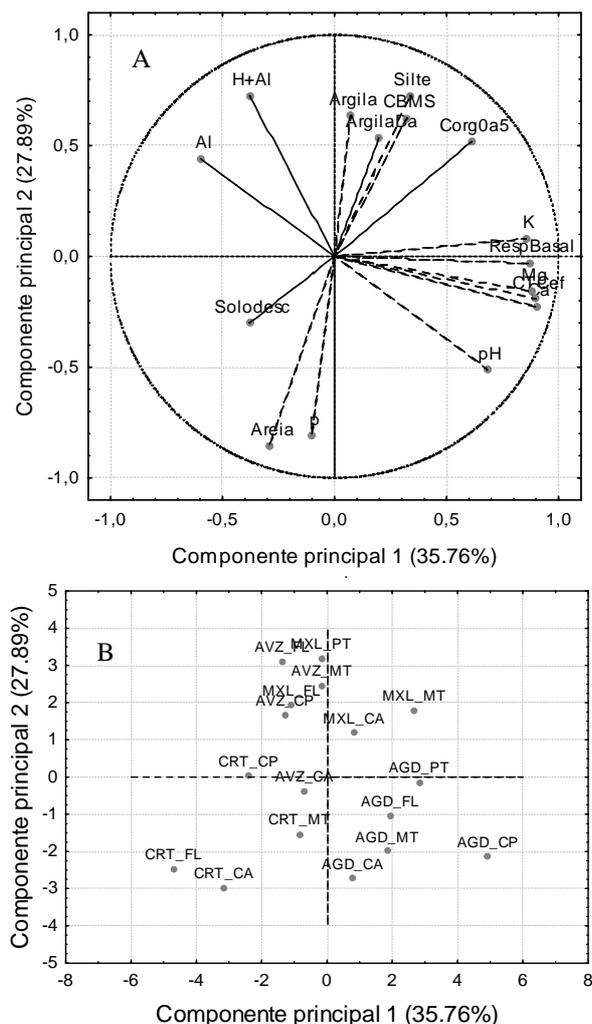


Figura 2. Correlação entre as variáveis e as componentes principais (A) e escores das áreas para a primeira e segunda componentes (B).

A CP2 é um contraste entre variáveis descritoras da fragilidade física do solo (Figura 2A). As áreas foram afetadas positivamente principalmente pelas variáveis Argila e Silte, e negativamente pela variável Areia (o posicionamento das variáveis CBMS, H+A, ArgilaDA e P será tratado a seguir). Assim, áreas nas quais a fragilidade física foi a característica preponderante (valores mais altos para Areia) foram posicionadas abaixo, e áreas com menor fragilidade física foram posicionadas acima da origem da CP2 (Figura 2B).

A CP3 representou o efeito do aporte de carbono no solo, sendo as variáveis SoloDesc e Corg0a5 as que tiveram maior peso de posicionamento das áreas (figura não apresentada).

O modo de representação dos dados pela ACP permite comparar as microbacias bem como o manejo do solo dentro das microbacias. O posicionamento das áreas na CP2 mostra que os solos das microbacias de Agudo e Cristal são fisicamente mais frágeis, e que a fragilidade é mais acentuada nas áreas utilizadas com culturas anuais (CRT\_CA e AGD\_CA), pois estas estão mais próximas do extremo negativo da CP2. Essa

condição é determinada não só pelas características granulométricas (pouco silte e argila e muita areia), mas também pela baixa quantidade de carbono presente nessas áreas, pois o Corg0a5 está negativamente correlacionado com o teor de areia do solo (Figura 2A). Cabe salientar que as variáveis Corg0a5, CBMS e H+A normalmente estão positivamente associadas a solos com maior teor de argila, e a relação positiva da ArgilaDA com a argila total do solo está associada à fragilidade natural dos solos predominantes nas microbacias. Solos com maior teor de argila, porém frágeis fisicamente, apresentarão grande quantidade de ArgilaDA. Outro fator agravante são as adubações excessivas de fertilizantes contendo sódio (elemento dispersante de argilas), como o nitrato de sódio usado na cultura do fumo em doses elevadas (Kaiser et al., 2010).

A correlação positiva do fósforo (P) com a condição de degradação física se deve a dois fatores principais. Um deles é que adubações fosfatadas aumentam o teor de P em relação às concentrações presentes no solo no seu estado natural (Santos et al, 2008), sobretudo quando forem elevadas, como nas áreas de cultivo de fumo. O outro é que o P do solo é extraído com mais facilidade em solos com menor teor de argila (Novais e Smyth, 1999).

Nas microbacias de Arvorezinha e Maximiliano, embora o solo seja menos frágil do ponto de vista físico, o uso com culturas anuais também está aumentando a fragilidade, pois as áreas com esses usos (AVZ\_CA e MXL\_CA) ficaram deslocadas para baixo na CP2, em relação às demais áreas dessas microbacias.

O manejo do solo praticado pelos agricultores nas microbacias de Agudo e Cristal está degradando a fertilidade natural do solo, pois as áreas de uso com culturas anuais estão deslocadas à esquerda na CP1 em relação às áreas com usos conservacionistas (mata, capoeira e potreiro). Contudo a área com florestamento em Cristal (CRT\_FL), localizada no extremo negativo da CP1, contraria essa lógica. Possivelmente essa é uma área antes utilizada com cultivos anuais e que foi destinada ao plantio de eucalipto devido ao decaimento da fertilidade do solo.

Situações de degradação da fertilidade do solo como as anteriores são bem menos evidentes na microbacia de Arvorezinha, na qual as áreas de uso com culturas anuais (AVZ\_CA) estão localizadas na CP1 em posição semelhante a das demais áreas dessa microbacia. Na microbacia de Maximiliano, o cultivo do solo (MXL\_CA) inclusive melhorou as condições de fertilidade química. Contudo, o posicionamento das áreas na CP3 (figura não apresentada) indicou as áreas cultivadas de Arvorezinha e Maximiliano (AVZ\_CA e MXL\_CA) como as de menor índice de cobertura do solo.

De acordo com a situação descrita pela ACP, nas microbacias de Cristal e Agudo o manejo do solo deve ser reorientado para evitar o avanço da degradação e promover a recuperação da qualidade física, química e biológica do solo. Aumentar os níveis de carbono é uma das formas mais de promover a restauração da produtividade dos solos. O cultivo sem ou com mínima mobilização do solo também tem reduzido a erosão e aumentado a concentração de carbono microbiano, matéria orgânica e nutrientes (Dufranc et al., 2004).

O aumento da estabilidade de agregados melhora a qualidade física do solo, o que é um aspecto importante, principalmente para os solos de Cristal e Agudo, que contêm maior teor de areia. Cultivos permanentes ou solo permanentemente coberto são estratégias que introduzem material orgânico no sistema de forma mais contínua, potencializando o efeito benéfico da ação direta das raízes (Silva e Mielniczuk, 1997), dos produtos da decomposição e metabolismo microbiano para a agregação (Franzluebbbers, et al, 2000). Pastagens anuais, na medida do possível, devem ser substituídas por pastagens perenes, de preferência por gramíneas com grande densidade de raízes, pois, nestas, as periódicas renovações do sistema radicular e a uniforme distribuição dos exudatos no solo estimulam a atividade microbiana e propiciam maior formação e estabilização de agregados (Silva e Mielniczuk, 1997).

### CONCLUSÕES

1. A análise multivariada de componentes principais foi útil para (i) identificar variáveis que melhor descreveram o efeito do uso e manejo do solo e (ii) identificar as áreas nas quais o manejo está modificando a fragilidade física e fertilidade química do solo.

2. Pela avaliação de todas as microbacias em conjunto, nas microbacias de Cristal e Agudo, o manejo do solo nas áreas com cultivos anuais deve ser reorientado para evitar o avanço da degradação e promover a recuperação da qualidade física, química e biológica do solo.

### AGRADECIMENTOS

Aos professores Celso Aita e Danilo Rheinheimer dos Santos e a inúmeros estudantes de graduação e pós-graduação do Departamento de Solos, da UFSM, que contribuíram na coleta de amostras e análises laboratoriais.

### REFERÊNCIAS

- BERTOL, I.; COGO, N. P.; SCHICK, J.; GUDAGNIN, J.C. e AMARAL, A.J. Aspectos financeiros relacionados às perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 31:133-142, 2007.
- DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A. AZEVEDO, A.C.; ZAGO, A. Levantamento semidetalhado de solos da Microbacia do Arroio Lino-Município de Agudo-RS. Santa Maria, 2004. 86p.
- DORAN, J.W. e PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. e STEWART, B.A. (eds.) Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. n.º.35. Madison, WI: ASA, CCSA e SSSA, 1994. p.3-21
- DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. R. Bras. Ci. Solo, 28:505-517, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- FRANZLUEBBERS, A.J.; WRIGHT, S.F. e STUEDEMANN, J.A. Soil Aggregation and Glomalin under Pastures in the Southern Piedmont USA. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:1018-1026, 2000.
- GOMES, J.B.V.; CURTI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M. e SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. R. Bras. Ci. Solo, 28:137-153, 2004.
- ISLAM, K.R. e WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. Biol. Fertil. Soils, 27:408-416, 1998.
- KAISER, D.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; STRECK, C.A. e PELLEGRINI, A. Nitrate and ammonium in soil solution in tobacco management systems. R. Bras. Ci. Solo, 34:379-388, 2010.
- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J. DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. e SCHUMAN, G.M. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Sci. Soc. Am. J., 61:4-10, 1997.
- MANLY, B.J.F. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2008. 230p.
- NOVAIS, R.F. e SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, DPS, 1999. 399p.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. e BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Revista Ciência e Ambiente, 27:29-48, 2003.
- SANTOS, D.R. DOS, GATIBONI, L.C. e KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Ci. Rural, 38:576-586, 2008.
- SENA, M.M. de.; FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J.; TOKESHI, H. e POPP R.J. Discrimination of management effects on soil parameters by using principal component analysis: a multivariate analysis case study. Soil Tillage Res., 67:171-181, 2002.
- SILVA, I.F. e MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 21:313-319, 1997.
- SPEDDING, C.R.W.; LARGE, R.V. A point-quadrat method for the description of pasture in terms of height and density. Grass and Forage Science, 12:229-234, 1957.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. e BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: UFRGS/FA/DS. 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5).
- WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. e BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. R. Bras. Ci. Solo, 28:891-900, 2004.