

DIVISÃO 1 - SOLO NO ESPAÇO E NO TEMPO

Comissão 1.2 - Levantamento e Classificação do solo

Nota

VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS PEDOLÓGICAS E CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DE ARGISSOLOS DERIVADOS DE ROCHAS SEDIMENTARES⁽¹⁾

Fabrizio de Araújo Pedron⁽²⁾, Alessandro Samuel-Rosa⁽³⁾ & Ricardo
Simão Diniz Dalmolin⁽²⁾

RESUMO

Trabalhos têm apontado demandas em relação ao conhecimento da variação pedológica de Argissolos. Essa variação pode ser analisada pela estatística multivariada – também responsável pela classificação numérica dos dados. A comparação entre a classificação numérica e a classificação hierárquica pode contribuir para a evolução do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Os objetivos deste trabalho foram analisar a variação pedológica de Argissolos derivados de materiais sedimentares na Depressão Central do Rio Grande do Sul e validar a estrutura da ordem dos Argissolos do SiBCS por meio da interpretação da classificação numérica. Foram considerados 42 perfis de Argissolos derivados da Formação Santa Maria e da Formação Caturrita, na região central do Rio Grande do Sul. O estudo foi realizado por meio da análise das componentes principais e da análise de agrupamento. Foram determinadas cinco componentes principais, com poder de explicação de 84,3 % da variância dos dados, representadas de um a cinco pelas variáveis: teor de areia, matiz (cor), saturação por bases, atividade da argila e teor de C orgânico total. A análise de agrupamento separou os perfis de Argissolos em três grupos principais. O grupo A apresentou perfis com drenagem deficiente, derivados das três rochas consideradas neste trabalho. O grupo B, derivado exclusivamente dos arenitos das Formações Santa Maria e Caturrita, mostrou perfis bem drenados, porém com menor teor de argila, maior gradiente textural e menor capacidade de troca de cátions potencial em relação ao grupo C. Este grupo apresentou perfis bem drenados, alíticos e com teores de argila superiores em relação aos demais grupos, derivados, predominantemente, do lamito da Formação Santa Maria. A classificação numérica validou a estrutura do SiBCS para a ordem dos Argissolos. Contudo, a análise de agrupamento evidenciou aspectos morfológicos importantes

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 20 de outubro de 2010 e aprovado em 15 de setembro de 2011.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Campus UFSM, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mails: fapedron@ufsm.br; dalmolin@ufsm.br

⁽³⁾ Pós-Graduando em Ciência do Solo, UFSM. Bolsista CNPq. E-mail: alessandrosamuel@yahoo.com.br

e ainda não considerados pelo SiBCS em nível categórico elevado (grande grupo), como a variação na espessura e textura do horizonte A ou A + E, o teor de argila no horizonte B e o gradiente textural nos perfis de Argissolos.

Termos de indexação: solos arenosos, morfologia, classificação numérica, análise multivariada, SiBCS.

SUMMARY: VARIATION IN PEDOLOGICAL CHARACTERISTICS AND THE TAXONOMIC CLASSIFICATION OF ARGISSOLOS (ULTISOOLS AND ALFISOOLS) DERIVED FROM SEDIMENTARY ROCKS

There is lack of research on Argissolos (Ultisols and Alfisols) in relation to the understanding of the pedologic variations. Variations can be analyzed by multivariate statistics and the data numerically classified. The comparison between the numeric classification and the hierarchical classification can contribute to the evolution of the Brazilian Soil Classification System (SiBCS). The aims of this research were to analyze the pedologic variation of Argissolos derived from sedimentary materials in the central region of Rio Grande do Sul and to validate the organization of the order of Argissolos in the SiBCS based on the interpretation of the numeric classification. Forty-two profiles of Argissolos in the central area of Rio Grande do Sul were considered, derived from the Formation Santa Maria and Caturrita. The study was based on principal component analysis and cluster analysis. The principal component analysis indicated five components that explained 84.3 % of the data variance. These components are represented, from one to five, by the following variables: sand content, hue (color), base saturation, clay activity and total organic C content. The cluster analysis separated the Argissolo profiles in three main groups. The drainage of the profiles in group A was deficient. The profiles in group B were well-drained, but contained less clay and had a higher texture gradient and lower cation exchange capacity than group C with well-drained profiles, high Al content and higher clay content than the other groups. The numeric classification validated the structure of the SiBCS for the order of Argissolos. However, the cluster analysis detected important morphologic aspects that are not considered by the SiBCS at a high categorical level (large group), e.g., variation in thickness and texture of the A or A + E horizon, clay content in the B horizon and the textural gradient in the Argissolo profiles.

Index terms: sandy soils, morphology, numerical classification, multivariate analysis, SiBCS.

INTRODUÇÃO

A ordem dos Argissolos é predominante nas áreas bem a imperfeitamente drenadas da Depressão Central do Rio Grande do Sul. Esses solos apresentam horizonte superficial de textura média a arenosa, com espessura variável. Também possuem horizonte subsuperficial iluvial do tipo B textural, com ou sem mudança textural abrupta (Pedron et al., 2004; Streck et al., 2008; Michelon et al., 2010).

Conforme os levantamentos de solos na região têm mostrado, os Argissolos são desenvolvidos a partir de diferentes litologias, ocorrem em diferentes posições na paisagem e apresentam variação das características pedológicas (morfológica, física e química), que afeta seu potencial de uso agrícola e não agrícola (Klamt et al., 2001; Pedron et al., 2006). Além disso, esses solos têm sido utilizados

intensivamente, muitas vezes de forma inadequada, comprometendo a sua qualidade (Dalmolin & Pedron, 2009), sobretudo pela sua elevada suscetibilidade aos processos erosivos (Seganfredo et al., 1997).

Mesmo com a existência de alguns levantamentos semidetalhados de solos na região, ainda existem demandas por informações sobre a variação de variáveis pedológicas dos Argissolos e sua relação com a paisagem. Estudos desse tipo podem contribuir não somente para o manejo adequado dos recursos naturais, mas também para a evolução do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). O SiBCS, por apresentar um enfoque genético agrícola, considera informações de interesse essencialmente agrícola em níveis categóricos mais altos. No entanto, há tendência de democratização do sistema, com a sua ampliação de uso por outros profissionais, o que exigirá interpretação

diferenciada das informações diagnósticas utilizadas pelo sistema. Nesse sentido, trabalhos envolvendo a análise da estrutura do SiBCS são fundamentais ao subsídio da sua validação ou alteração.

Uma das maneiras de validar a estrutura do SiBCS para a ordem dos Argissolos é lançando mão de técnicas de classificação numérica. Em um sistema de classificação natural hierárquico como o SiBCS, as variáveis possuem diferentes pesos, sendo consideradas hierarquicamente nos diferentes níveis categóricos. Já nas técnicas de classificação numérica, todas as variáveis recebem o mesmo peso, sendo, portanto, consideradas independentemente ao mesmo tempo. Para que a estrutura de um sistema de classificação natural de solo seja validada numericamente, esperase que as variáveis destacadas pela análise estatística sejam as mesmas utilizadas na estrutura hierárquica do sistema natural.

Para isso, são utilizadas as ferramentas da análise estatística multivariada, como a análise de componentes principais e a análise de agrupamento (Webster & Oliver, 1990). A análise multivariada de dados de perfis de solos desenvolvidos sob diferentes condições ambientais pode evidenciar informações importantes, facilitando o entendimento dos processos pedológicos (Carvalho Junior et al., 2008) e a sua interpretação taxonômica. Portanto, os objetivos deste trabalho foram analisar a variação pedológica dos Argissolos derivados de materiais sedimentares na Depressão Central do Rio Grande do Sul e validar a estrutura da ordem dos Argissolos do SiBCS por meio da interpretação da classificação numérica.

As coletas dos perfis de Argissolos ocorreram na área, dentro de um raio de 50 km da sede do município de Santa Maria, abrangendo também os municípios de São Pedro do Sul, São João do Polêsine e Silveira Martins. A Depressão Central constitui a região fisiográfica localizada entre o Planalto (ao norte) e a Serra do Sudeste (ao sul), de origem estritamente sedimentar. O relevo é suave ondulado a ondulado, com predominância de amplas planícies aluviais e elevações sedimentares que variam de 90 a 250 m de altitude, regionalmente chamadas de coxilhas (Brasil, 1973). O clima é do tipo Cfa (clima subtropical úmido sem estiagem), segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 19,2 °C, e o regime pluviométrico Anual Médio é de 1.708 mm, bem distribuídos nos 12 meses (Maluf, 2000).

As principais formações geológicas da região são a Santa Maria e a Caturrita, originadas do Triássico médio e superior. A Formação Santa Maria refere-se a material sedimentar constituído por dois fácies: um inferior, chamado de Membro Passo das Tropas, de origem fluviolacustre, formado por arenitos feldspáticos grosseiros e siltitos arenosos; e outro superior, denominado Membro Alemoa, de origem controvertida (lacustre ou loess), constituído por lamitos (siltitos argilosos) maciços com concreções calcárias (Sartori, 2009). A Formação Caturrita refere-se a material sedimentar de origem fluvial, constituído por arenitos finos a médios de composição quartzosa e matriz argilosa, podendo conter considerável teor de feldspato e, ainda, fácies pelíticas. Apresenta comportamento predominante de aquífero, assim como o membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria (Pierini et al., 2002; Sartori, 2009).

Os dados de 27 perfis de Argissolos derivados de arenito (Formação Caturrita e Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria) e 15 perfis derivados de lamito (Membro Alemoa da Formação Santa Maria) (Quadro 1) foram submetidos à análise

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na região de Santa Maria, localizada na Depressão Central do RS (Figura 1).

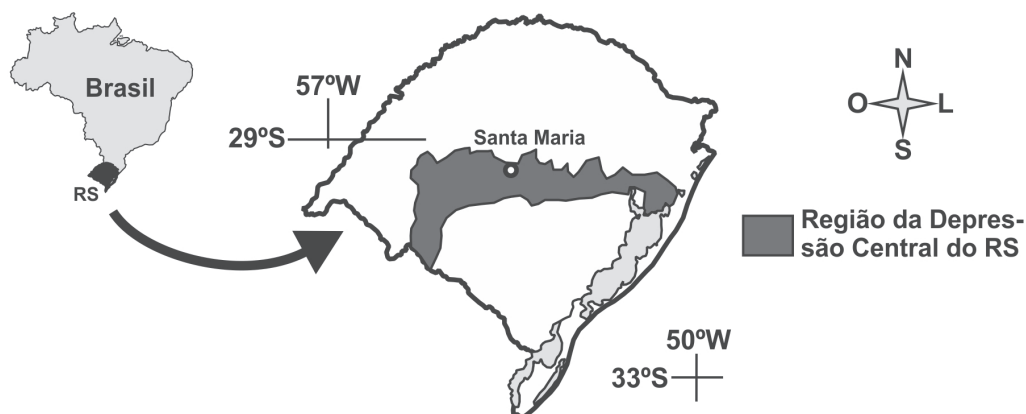


Figura 1. Localização da região de coleta dos perfis de Argissolos.

Quadro 1. Classificação e distribuição dos perfis de Argissolos em relação ao material de origem

Material de origem	Classe de solo e simbologia	Nº de perfis
Arenito Caturrita	Argissolo Acinzentado alítico ⁽¹⁾ (PACal ⁽¹⁾)	1
	Argissolo Bruno-Acinzentado alítico (PBACal)	3
	Argissolo Amarelo alítico (PAal)	1
	Argissolo Vermelho alítico (PVal)	1
	Argissolo Vermelho Ta distrófico (PVvd)	1
	Total	7
Arenito Santa Maria	Argissolo Bruno-Acinzentado alítico (PBACal)	1
	Argissolo Amarelo alítico (PAal)	1
	Argissolo Vermelho-Amarelo Ta distrófico (PVAvd)	4
	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico (PVAd)	2
	Argissolo Vermelho-Amarelo alítico (PVAal)	2
	Argissolo Vermelho alítico (PVal)	1
	Argissolo Vermelho Ta distrófico (PVvd)	3
	Total	20
Lamito Santa Maria	Argissolo Acinzentado alítico ⁽¹⁾ (PACal ⁽¹⁾)	1
	Argissolo Bruno-Acinzentado alítico (PBACal)	2
	Argissolo Bruno-Acinzentado Ta distrófico ⁽¹⁾ (PBACvd ⁽¹⁾)	1
	Argissolo Amarelo alítico (PAal)	4
	Argissolo Vermelho alítico (PVal)	7
	Total	15

⁽¹⁾ Classes não existentes no SiBCS (Embrapa, 2006).

estatística. A classificação dos perfis foi realizada conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).

Foram consideradas as informações apenas dos horizontes pedogenéticos (superficial – A e subsuperficial – Bt). O valor das variáveis em cada horizonte foi obtido pela média aritmética dos subhorizontes (exemplo: A1 e A2, ou B1, B2 e B3), incluindo os horizontes transicionais, quando presentes. As 29 variáveis consideradas foram as seguintes: espessura do solum (A + B), espessura do A + E, profundidade do B, espessura do B, drenagem, declividade, areia, silte, argila, relação silte/argila, gradiente textural (GT), cor (matiz, valor e croma), índice de vermelho (IV), pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, H + Al, capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva, CTC potencial, atividade da argila (T), soma de bases (S), saturação por bases (V %), saturação por Al (Al %) e C orgânico total (COT). As variáveis categóricas (drenagem e declividade) receberam valores discretos para a realização da análise estatística. A variável cor do solo foi decomposta em seus três membros (matiz - valor numérico, valor e croma), sendo ainda calculado o índice de vermelho (IV) por meio da seguinte equação: $IV = [(10-h) c/v]$, em que *c* e *v* são os valores numéricos do croma e do valor e *h* é o valor numérico que precede o YR no matiz. Para matiz 10R, o valor de *h* é igual a zero, e para o matiz 10YR, igual a 10 (Torrent et al., 1980).

As variáveis morfológicas e ambientais foram determinadas conforme indicação de Santos et

al. (2005). As variáveis químicas e físicas foram obtidas pelo método-padrão da Embrapa (1997), em que a granulometria foi determinada pelo método da pipeta; o Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺, extraídos com KCl 1,0 mol L⁻¹; o K⁺ e o Na⁺ trocável, extraídos com HCl 0,05 mol L⁻¹; o H + Al, determinado em extrato de Ca(OAc)² 1,0 mol L⁻¹ a pH 7,0; e o C orgânico, determinado por combustão úmida com dicromato de potássio 0,167 mol L⁻¹.

A análise estatística multivariada foi realizada com os dados do horizonte Bt, além da espessura do A + E e variáveis ambientais (drenagem e declividade). Inicialmente, as 29 variáveis foram submetidas à análise de correlação linear de Pearson. Sempre que observados coeficientes de correlação significativos entre variáveis, uma delas foi descartada, por conter informação redundante. O teste de suficiência amostral de Kaiser-Meyer-Olkin (Kaiser, 1981) foi utilizado para verificar a adequabilidade das variáveis à análise de componentes principais. As variáveis com valor inferior a 0,50 foram eliminadas. As demais foram padronizadas ($x=0$; $s^2=1$) e utilizadas na análise de componentes principais, sendo retidas apenas as componentes com autovalores superiores a 1,0. Após a rotação das componentes pelo método Varimax (Kaiser, 1958), foram identificadas as variáveis com maiores pesos em cada componente e calculada a proporção da variância total explicada em cada uma delas.

A variável com maior peso em cada uma das componentes foi retida e utilizada para a análise de

agrupamento hierárquico dos 42 perfis de Argissolos. A distância estatística e o método de agrupamento foram escolhidos pela comparação das soluções fornecidas por diversos algoritmos, sendo escolhido aquele que forneceu a melhor solução. Nesse caso, foram utilizados a Distância Euclidiana Quadrática e o método de Ward. Esse método forma grupos de maneira que se atinja sempre o menor erro interno entre os vetores que compõem cada grupo e o vetor médio do grupo (Hair et al., 1998), o que equivale a buscar o mínimo desvio padrão entre os dados de cada grupo. Em cada grupo, foram determinados a média, o erro padrão e o coeficiente de variação de algumas variáveis dos horizontes A e Bt.

RESULTADOS

A análise de correlação e o teste de suficiência amostral levaram à exclusão de 11 variáveis: espessura do A + E, relação silte/argila, CTC efetiva, H + Al, Al³⁺, Na⁺, K⁺, declividade, espessura, valor e silte. Assim, apenas 18 das 29 variáveis originais foram utilizadas nas análises subsequentes.

Na determinação das componentes principais, apenas cinco autovalores foram superiores a 1,0, os quais contêm 84 % da variância total observada nos dados (Quadro 2). A partir das variáveis com maiores pesos em cada uma das cinco componentes, é possível atribuir denominações a estas. Assim, a primeira representa a granulometria do solo; a segunda, a condição de drenagem do perfil; a terceira, a condição de saturação do complexo de troca, relacionado à fertilidade do solo; a quarta, as características químico-mineralógicas do solo; e a quinta, o COT.

A utilização das variáveis com maior peso em cada uma das componentes principais (areia, matiz, V %, T e COT) resultou numa solução de agrupamentos formada por três grupos principais (A, B e C) (Figura 2). Em A e B, foram ainda identificados dois subgrupos (A1 e A2; B1 e B2). O subgrupo A1 reuniu 10 perfis de solo, sendo dois originados do arenito Caturrita, dois do arenito Santa Maria e seis do lamito Santa Maria. Já o subgrupo A2 reuniu sete perfis de solo, sendo três originados do arenito Caturrita, um do arenito Santa Maria e três do lamito Santa Maria. No subgrupo A1 predominam as classes de Argissolo Amarelo (PAal) e Argissolo Bruno-Acinzentado (PBACal), ambas com caráter alítico, enquanto no subgrupo A2 ocorreram somente classes de Argissolo Vermelho (PVal) e Argissolo Bruno-Acinzentado (PBACal), ambas também com caráter alítico.

O subgrupo B1 reuniu 10 perfis de solo, todos originados do arenito Santa Maria e classificados, predominantemente, como Argissolos Vermelhos distróficos (PVd) e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos (PVAd). Já o subgrupo B2 reuniu oito perfis de solo, sendo dois originados do arenito Caturrita e seis originados do arenito Santa Maria. Esses perfis são classificados como Argissolos Vermelhos (PV) e Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA) com caráter variando entre distrófico, Ta distrófico e alítico. O grupo C reuniu apenas sete perfis de solo, sendo apenas um originado do arenito Santa Maria, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo alítico (PVAal). Os demais são originados do lamito Santa Maria – todos classificados como Argissolos Vermelhos alíticos (PVal).

Analisando algumas variáveis no horizonte A dos perfis dentro dos grupos formados (Quadro 3), verificou-se que os perfis do grupo B possuem maior

Quadro 2. Variáveis com maiores pesos nas cinco componentes retidas

Variável	Componente principal				
	1	2	3	4	5
Areia	-0,931				
Argila	0,889				
Matiz (YR)		0,959			
Índice de vermelho (IV)		-0,920			
Drenagem		0,898			
Saturação por bases (V%)			0,960		
Saturação por alumínio (Al%)			-0,943		
Atividade da argila (T)				0,872	
CTC potencial				0,635	
Carbono orgânico total (COT)					0,912
Autovalor	5,430	3,625	2,470	1,667	1,128
Proporção da variância (%)	31,939	21,323	14,529	9,808	6,638
Proporção da variância acumulada (%)	31,939	53,262	67,791	77,599	84,237

espessura, maiores teores de areia e menores teores de Al^{3+} e CTC potencial nesse horizonte. O grupo A apresentou valores intermediários, e o grupo C, valores inversos aos do grupo B. Nos subgrupos A1 e A2, as maiores diferenças ocorreram nas variáveis V %, T, e Al^{3+} , enquanto nos subgrupos B1 e B2 destacaram-se as variáveis espessura, argila e COT.

No horizonte pedogenético subsuperficial (Quadro 4), verificou-se que o grupo B possui maior teor de areia e gradiente textural, associado ao menor teor de Al^{3+} , CTC potencial, T e COT. O grupo C apresenta valores opostos aos do grupo B, ao passo que o grupo A apresenta valores intermediários, com exceção do matiz, mais brunado neste grupo. Os subgrupos A1 e A2 diferem quanto a V %, teor

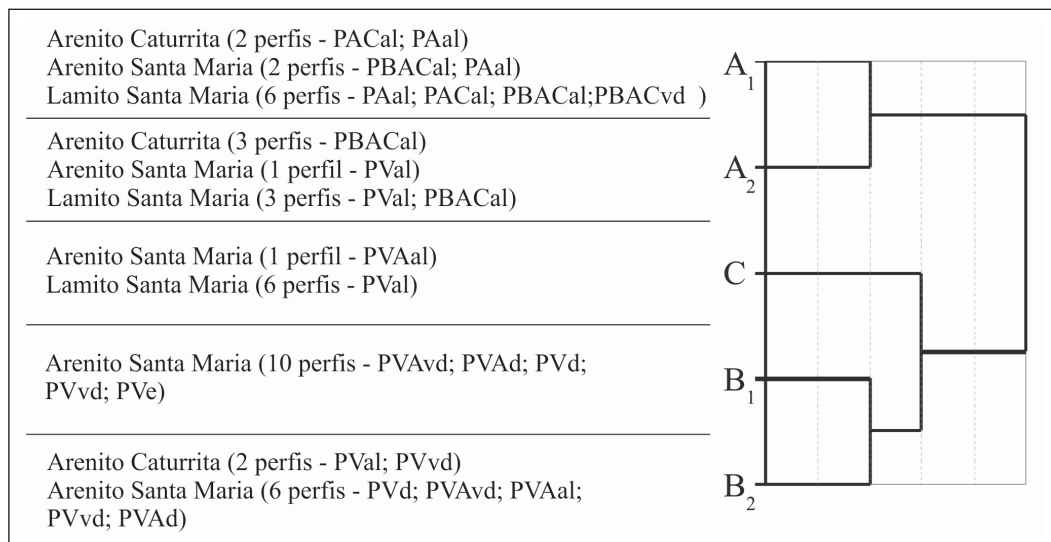


Figura 2. Solução de agrupamentos dos perfis de Argissolos derivados de materiais sedimentares da Depressão Central do Rio Grande do Sul.

Quadro 3. Atributos do horizonte A dos perfis de Argissolos em cada grupo gerado pela análise de agrupamento

	Espessura	Areia	Argila	Matiz	Al^{3+}	CTC	T	V	COT
	cm	g kg ⁻¹			cmolc kg ⁻¹			%	g kg ⁻¹
Grupo A1 (N = 9)									
Média	47,78 (±5,1)	517 (±51,8)	180 (±25,8)	10,0 (±0,0)	1,49 (±0,4)	10,99 (±0,9)	69,50 (±9,3)	43,52 (±7,5)	9,87 (±2,4)
CV (%)	32	30	43	0	73	25	40	52	74
Grupo A2 (N = 8)									
Média	60,00 (±7,8)	534 (±42,9)	131 (±17,2)	9,1 (±0,6)	3,46 (±0,4)	12,49 (±0,6)	103,55 (±10,2)	26,05 (±5,9)	6,12 (±1,0)
CV (%)	37	23	37	21	36	14	28	64	45
Grupo B1 (N = 10)									
Média	66,50 (±7)	710 (±22,4)	115 (±16,4)	8,3 (±0,7)	1,14 (±0,2)	6,17 (±0,5)	59,32 (±5,2)	32,55 (±4,9)	3,78 (±1,4)
CV (%)	33	10	45	25	52	26	28	48	116
Grupo B2 (N = 8)									
Média	48,88 (±5,1)	750 (±19,5)	87 (±13,5)	6,9 (±0,9)	1,06 (±0,3)	5,34 (±0,4)	67,48 (±7,6)	33,68 (±4,7)	6,96 (±1,1)
CV (%)	30	7	44	38	73	23	32	40	47
Grupo C (N = 7)									
Média	38,0 (±7,0)	382 (±44)	250 (±39)	7,5 (±0,8)	3,9 (±0,4)	16,25 (±1,5)	77,3 (±14,9)	42,9 (±4,4)	9,9 (±1,7)
CV (%)	49	30	41	27	26	25	51	27	46

Al^{3+} : alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions potencial; T: atividade da argila; V: saturação por bases; COT: carbono orgânico total; CV%: coeficiente de variação; valores entre parênteses após a média representam o erro padrão.

Quadro 4. Atributos do horizonte B dos perfis de Argissolos em cada grupo gerado pela análise de agrupamento

	GT	Areia	Argila	Matiz	Al ³⁺	CTC	T	V	COT
		g kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹			%	g kg ⁻¹
		Grupo A1 (N = 9)							
Média	2,20 (±0,3)	407 (±40)	348 (±32)	10,0 (±0,0)	4,89 (±0,9)	15,50 (±0,7)	46,86 (±3,5)	33,47 (±5)	3,07 (±0,9)
CV (%)	38	29	28	0	55	13	22	45	90
		Grupo A2 (N = 8)							
Média	2,40 (±0,3)	367 (±46)	310 (±30)	8,8 (±0,8)	8,61 (±1,4)	22,89 (±2,3)	78,64 (±9,4)	17,92 (±4,2)	4,27 (±0,7)
CV (%)	38	34	27	26	45	28	34	66	44
		Grupo B1 (N = 10)							
Média	3,36 (±0,6)	457 (±32,2)	356 (±17,7)	4,3 (±0,4)	2,22 (±0,2)	9,65 (±0,6)	27,52 (±2)	42,06 (±2,3)	1,72 (±0,7)
CV (%)	51	22	16	28	31	21	23	18	120
		Grupo B2 (N = 8)							
Média	3,80 (±0,7)	545 (±30,1)	285 (±30,4)	3,9 (±0,4)	4,06 (±1)	10,48 (±1,5)	37,27 (±3,3)	20,27 (±2,5)	4,36 (±1,1)
CV (%)	53	16	30	31	67	41	25	35	69
		Grupo C (N = 7)							
Média	2,01 (±0,2)	183 (±37)	520 (±63)	3,9 (±0,5)	12,5 (±1,7)	27,8 (±1,8)	58,7 (±8,2)	30 (±3,2)	5,7 (±1,5)
CV (%)	22	53	32	34	36	17	37	28	68

GT: gradiente textural; Al³⁺: alumínio; CTC: capacidade de troca de cátions potencial; T: atividade da argila; V: saturação por bases; COT: carbono orgânico total; CV%: coeficiente de variação; valores entre parênteses após a média representam o erro padrão.

de Al³⁺, CTC potencial e T, e os subgrupos B1 e B2, quanto a V %, teor de Al³⁺, T e COT.

DISCUSSÃO

A técnica das componentes principais evidenciou cinco componentes com poder de explicação de 84,3 % da variância observada, permitindo redução significativa do número de variáveis para a análise de agrupamento. A percentagem dos autovalores acumulados neste trabalho foi superior à dos encontrados por Carvalho Junior et al. (2008), analisando Argissolos da faixa atlântica brasileira, onde as cinco primeiras componentes responderam por 71,7 % da variância.

Considerando as cinco componentes retidas, verificase a relação, mesmo que indireta, das duas primeiras com os fatores relevo e material de origem, explicando até 53,262 % da variância entre os perfis. Os teores de areia e argila apresentados pelos perfis são alterados pela textura do material de origem, assim como a variação da cor dos solos é alterada pela umidade impressa pela configuração do relevo (Pedron et al., 2006).

Uma análise do teste de agrupamento mostrou que ele não distribuiu os perfis exatamente conforme os materiais de origem; entretanto, observa-se a existência de relações, como o agrupamento de perfis distróficos derivados somente de arenitos no grupo B e o agrupamento de perfis alíticos

derivados predominantemente do lamito no grupo C. Fica evidente, a partir do grupo A, onde foram alocados perfis alíticos derivados das três rochas consideradas neste trabalho, a formação de perfis com características semelhantes entre os três materiais de origem. Esse fato encontra suporte na ocorrência de variabilidade dentro das rochas sedimentares da região (Sartori, 2009).

Neste trabalho, as primeiras cinco componentes principais apresentaram relações, mesmo que indiretamente, com os atributos utilizados pela atual edição do SiBCS (Embrapa, 2006), validando estatisticamente a sua estrutura para a ordem dos Argissolos. Na primeira componente, a granulometria relaciona-se com o incremento de argila no horizonte B textural (Bt) – prerrogativa para a ordem dos Argissolos. Na segunda componente, a própria cor é usada como atributo para a subordem. Na terceira componente, V % é a variável que define os caracteres eutrófico/distrófico considerados no grande grupo. Na quarta componente, a T também é utilizada pelo SiBCS para definição da classe “Ta distrófico” no grande grupo. Na quinta componente, o COT, mesmo sendo considerado no horizonte B, apresenta relação com o teor de COT no horizonte superficial, o qual é utilizado para determinação dos horizontes diagnósticos A chernozêmico e A proeminente, constituindo classes como “chernossólico” e “úmbrico” em nível de subgrupo no SiBCS.

A análise das componentes principais e a análise de agrupamento mostraram-se úteis também para

a indicação de atributos diagnósticos potenciais para o desenvolvimento da classificação taxonômica dos Argissolos. A diferença de textura e espessura do horizonte A é característica marcante entre os grupos formados, principalmente entre os grupos B e C. Essas informações são importantes porque se referem a variáveis que alteram o crescimento de raízes e infiltração de água no perfil.

De fato, a maior profundidade e o teor de areia no horizonte A, como nos perfis alocados no grupo B, associados ao maior gradiente textural, são características que ressaltam a maior fragilidade ambiental desses solos, sobretudo pela suscetibilidade à erosão (Seganfredo et al., 1997). Além disso, a variação na espessura do horizonte A ou A + E arenosos altera significativamente a produção vegetal, de modo que, quanto menor a profundidade e maior o gradiente textural, maiores serão as limitações de uso e menor será a produtividade agrícola (Albuquerque et al., 1996; Fiorin et al., 1997). Nesse caso, as limitações são causadas pela drenagem deficiente e, ou, pelos elevados teores de Al trocáveis (Echart & Cavalli- Molina, 2001), como ocorre nos perfis alocados no grupo C. Essas variações na espessura do horizonte superficial de Argissolos derivados de rochas sedimentares são resultado, em alguns casos, do efeito da pedogênese e, em outros, do uso agrícola inadequado do solo (Pedron et al., 2004).

Apesar disso, a atual edição do SiBCS considera a informação da espessura do horizonte A ou A + E arenoso apenas no quarto nível categórico para caracterizar os perfis “arênicos”, “espessarênicos” e “abrupticos” (Embrapa, 2006). Entende-se que a arquitetura do SiBCS visa dar maior compreensão dos solos a partir de atributos morfogenéticos que revelam sua natureza constitutiva (Embrapa, 2006). No terceiro nível categórico (grande grupo), as classes são separadas, entre outras características, pelo tipo e arranjo dos horizontes e pela presença de horizontes ou propriedades que alteram o livre movimento da água no solo (Embrapa, 2006). Assim, por se tratar de uma característica morfológica de fácil identificação no campo, correlacionar-se com as variáveis que apresentaram maiores pesos na separação dos perfis de Argissolos e ter grande influência sobre o uso agrícola e não agrícola do solo, a espessura do horizonte A ou A + E arenoso poderia ser considerada em nível de grande grupo. Essa variável, por ser superficial, apresenta certa instabilidade aos processos erosivos, porém essa instabilidade não é diferente das apresentadas pelos horizontes diagnósticos superficiais considerados no SiBCS, inclusive para enquadramento taxonômico no nível de ordem, como o caso dos Chernossolos.

Os dados de granulometria – conforme evidência fornecida pela análise estatística – também podem contribuir para a evolução do SiBCS. A seleção da

granulometria como primeira componente indica que nos perfis avaliados há ampla variação entre os teores de areia e argila, o que pode ser verificado, principalmente, entre os grupos B e C. Essa variação altera o GT e poderia ser mais bem explorada pelo SiBCS, permitindo a separação de perfis com teores de argila nos horizontes Bt e GT diferenciados. Essa informação também poderia ser agregada ao terceiro nível categórico (grande grupo). Entretanto, a incorporação de fato desses critérios diagnósticos no SiBCS deve ocorrer com a sua validação em outras regiões do Brasil.

Alguns dos perfis analisados neste trabalho não encontraram classificação equivalente na atual edição do SiBCS. A ausência de algumas classes para a ordem dos Argissolos é normal, visto que o sistema encontra-se em constante evolução. Nesse caso, foram encontrados Argissolos Acinzentados com caráter alítico, o qual não é considerado em nível de grande grupo. Também, foi identificado um perfil de Argissolo Bruno-Acinzentado Ta distrófico abruptico, sendo a única opção para o grande grupo a classe “alítico”.

Em relação à presença de mudança textural abrupta associada à espessura e textura arenosa do horizonte superficial, também houve dificuldade de enquadramento de alguns perfis. Nesse caso, foram identificados perfis de Argissolo Vermelho-Amarelo Ta distrófico arênico abruptico e Argissolo Amarelo alítico arênico abruptico, em que a classe “arênico abruptico” não existe para os subgrupos dos Argissolos supracidados. Mais uma vez, embora registrada a ocorrência de classes não existentes no SiBCS, a sua incorporação deve contar com a prévia validação em outras regiões do País, de forma a verificar a sua representatividade e evitar a regionalização do sistema.

CONCLUSÕES

1. A análise de agrupamento separou os perfis de Argissolos em três grupos principais. O grupo A apresentou perfis com drenagem deficiente, derivados das três rochas consideradas neste trabalho. O grupo B, derivado exclusivamente dos arenitos das Formações Santa Maria e Caturrita, apresentou perfis bem drenados, mas com menor teor de argila, maior gradiente textural e menor valor de CTC potencial em relação ao grupo C. Este grupo apresentou perfis bem drenados, alíticos e com teores de argila superiores em relação aos demais grupos, derivados, predominantemente, do lamito da Formação Santa Maria.

2. A classificação numérica validou a estrutura do SiBCS para a ordem dos Argissolos, visto que as cinco componentes principais retidas neste

trabalho apresentaram relação estreita com os quatro níveis categóricos da ordem dos Argissolos no SiBCS. Contudo, a análise de agrupamento evidenciou aspectos morfológicos importantes e ainda não considerados pelo sistema em nível categórico elevado (grande grupo), como a variação na espessura e textura do horizonte A ou A + E, o teor de argila no horizonte B e o gradiente textural nos perfis de Argissolos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao FIPE (Fundo de incentivo à Pesquisa) da UFSM e ao CNPq, pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho; e aos revisores e editor assistente, pelas contribuições, que melhoraram a qualidade do texto.

LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho- Amarelo. R. Bras. Ci. Solo, 20:151-157, 1996. BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- CARVALHO JUNIOR, W.; SCHAEFER, C.E.G. R.; CHAGAS, C.S. & FERNANDES FILHO, E.I. Análise multivariada de Argissolos da faixa atlântica brasileira. R. Bras. Ci. Solo, 32:2081-2090, 2008.
- DALMOLIN, R.S.D. & PEDRON, F.A. Solos do município de Santa Maria. Ci. Amb., 38:59-78, 2009. ECHART, C.L. & CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: Efeitos, mecanismos de tolerância e seu controle genético. Ci. Rural, 31:531-541, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FIORIN, J.E.; REINERT, D.J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção de milho. R. Bras. Ci. Solo, 21:249-255, 1997.
- HAIR, J.; ANDERSON, R.; TATHAM, R. & BLACK, W. Multivariate data analysis. 5.ed. Upper Saddle River, Prentice-Hall, 1998. 730p.
- KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika, 23:187-200, 1958. KAISER, H.F. A revised measure of sampling adequacy for factor-analytic data matrices. Educ. Psychol. Measur., 41:379-381, 1981.
- KLAMT, E.; FLORES, C.A. & CABRAL, D.R. Solos do Município de São Pedro do Sul: Características, classificação, distribuição geográfica e aptidão de uso agrícola. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 96p.
- MALUF, J.R.T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. R. Bras. Agrometeorol., 8:141-150, 2000.
- MICHELON, C.R.; AZEVEDO, A.C.; PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, J.L. & JESUS, S.L. Causes of morphological discontinuities in soils of Depressão Central, Rio Grande do Sul State, Brazil. Sci. Agric., 67:319-326, 2010.
- PEDRON, F.A.; ZAGO, A. & DALMOLIN, R.S.D. Análise pedológica e caracterização paisagística do jardim botânico da Universidade Federal de Santa Maria através do sistema de informações geográficas. R. Bras. Agroci., 10:219-225, 2004.
- PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R.S.D.; AZEVEDO, A.C.; POELKING, E.L. & MIGUEL, P. Utilização do sistema de avaliação do potencial de uso urbano das terras no diagnóstico ambiental do município de Santa Maria - RS. Ci. Rural, 36:468-477, 2006.
- PIERINI, C.; MIZUSAKI, A.P.; SCHERER, C.M.S. & ALVES, D.B. Integrated stratigraphic and geochemical study of the Santa Maria and Caturrita formations (Triassic of the Paraná Basin), southern Brazil. J. South Am. Earth Sci., 15:669-681, 2002.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; DOS SANTOS, H.G.; KER, J.C. & DOS ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SARTORI, P.L.P. Geologia e geomorfologia de Santa Maria. Ci. Amb., 38:19-42, 2009.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 21:287-291, 1997.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p.
- TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U. & SCHULZE, D.G. Iron oxide mineralogy of some soils of two river terrace sequences in Spain. Geoderma, 23:191-208, 1980.
- WEBSTER, R. & OLIVER, M.A. Statistical methods in soil and land resource survey. Oxford, Oxford University Press, 1990. 316p.