

ZONAS DE MANEJO QUÍMICO DO SOLO DELIMITADAS POR ANÁLISE MULTIVARIADA

VINÍCIUS BODANESE DEMARCH¹, PEDRO HENRIQUE WEIRICH NETO¹, NÁTALI MAIDL DE SOUZA¹, THIAGO MARTIN CHRISTENSON¹, HEVANDRO COLONHESE DELALIBERA²

¹ Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), UEPG - (42) 3220-3092, lama1@uepg.br

² Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR)

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2014
14 a 17 de setembro de 2014 - São Pedro - SP, Brasil

RESUMO:

Delimitar zonas de manejo, segmentando áreas que apresentem relativa homogeneidade, pode ser aproximação para o manejo da variabilidade espacial, considerando interações do sistema solo-planta-atmosfera. O objetivo foi avaliar método para determinação de zonas de manejo através de estatística multivariada, considerando a homogeneidade de atributos químicos do solo e componentes de rendimento da cultura da soja. Para verificar a significância das segmentações, compararam-se as médias das variáveis consideradas nas segmentações por contrastes ortogonais, sendo cada zona de manejo como um tratamento na análise. Houve diferenças significativas para as médias zonas de manejo, zonas diferindo significativamente para atributos do solo e componentes de rendimento da cultura da soja. Sendo assim, a utilização de análise multivariada pode ser ferramenta importante nas diferenciações de manejo químico do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Análise multivariada; Variabilidade espacial; Zonas de Manejo

CHEMICAL MANAGEMENT ZONES OF SOIL DESIGNED BY MULTIVARIATE ANALYSIS

ABSTRACT:

Delineate management zones, targeting areas with relative homogeneity, can be approach to the management of spatial variability, considering interactions of soil-plant-atmosphere system. The objective was to evaluate the method for determination of management zones using multivariate statistics, considering the homogeneity of soil chemical properties and yield components of soybean. To verify the significance of the segmentations, we compared the means of the variables considered in the segmentations by orthogonal contrasts, with each zone management as a treatment in the analysis. There were significant differences for the middle management zones, areas differing significantly to soil properties and yield components of soybean. Thus, the use of multivariate analysis can be an important tool in the chemical management of the soil.

KEYWORDS: Management Zones; Multivariate analysis; Spatial variability.

INTRODUÇÃO

Entender as interações entre componentes do ambiente e de manejo que influem sobre o rendimento das culturas agrícolas é a atual abordagem acadêmica em estudos de agricultura de precisão. O esclarecimento dessas interações para fundamentar propostas de manejo da variabilidade espacial de atributos do solo e culturas é hoje considerado por alguns autores como caso de segurança alimentar (Gebbers & Adamchuck, 2011; Laterra et al., 2012).

No entanto, existe uma infinidade de variáveis que podem interagir e assim gerar variabilidade no rendimento das culturas, incluindo o erro antrópico. Atualmente, as técnicas utilizadas para recomendação de manejo localizado são os modelos geomatemáticos. Estas recomendações por si só, não conseguem explicar as variações causadas no rendimento, por não permitirem a análise simultânea de um conjunto de variáveis. A definição de zonas de manejo e segmentos de paisagem, onde se segmentam áreas que apresentem relativa homogeneidade de acordo com a influência de grupo de variáveis sobre o rendimento das culturas pode servir de aproximação para entendimento do sistema solo-planta-atmosfera (Colet et al., 2007).

Com o intuito de analisar esse complexo sistema, considerando um grande número de atributos dos agroecossistemas, sugere-se o uso de análises computacionais mais robustas que possam *a priori*, indicar variáveis que possuam maior influência sobre a ocorrência de determinados fenômenos. Buscando contemplar maior número de variáveis, essa forma de análise pode ser realizada valendo-se de técnicas de estatística multivariada (Ortega & Santibáñez, 2007).

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é avaliar dois métodos distintos de determinação de zonas de manejo em área agrícola comercial, considerando a homogeneidade de atributos químicos do solo e componente de rendimento da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado pelo Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). A área experimental está localizada com coordenadas centrais aproximadas X – 602615 m e Y – 7196075 m (UTM, SAD 69, zona 22J), sendo manejada em Sistema Plantio Direto desde o final da década de 70, com cotas altimétricas variando de 795 m a 860 m.

A partir de informações matriciais compôs-se o mapeamento da propriedade, gerando vetores como os limites geográficos, estradas, áreas de remanescentes florestais, isocotas altimétricas (espaçamento vertical de 20 m), e pontos para observações a campo em grade regular de amostragem (*grid*), valendo-se do software *Environmental Systems Research Institute, ArcGIS® 10* (ESRI, 2010).

As amostras de solo foram estratificadas em três profundidades P5 (0 – 0,05 m), P10 (0,05 – 0,10 m), P20 (0,10 – 0,20 m). Os atributos químicos considerados foram: pH (CaCl₂), H⁺+Al⁺³, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, carbono (C), fósforo (P), CTC pH7,0, CTC efetiva (CTCe), soma de bases (Sb), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%) e relações iônicas Ca⁺²/Mg⁺², Ca⁺²+Mg⁺²/K⁺. Os componentes de rendimento da soja foram: número de vagens na haste principal (NUVAGPRIN), número de vagens na haste lateral (NUVAGLAT), população de plantas, rendimento de grãos, massa de mil grãos (MMG). A variabilidade dos atributos de solo nas camadas consideradas foi discutida preliminarmente através de estatística descritiva.

O método aplicado, denominado análise matemática, valeu-se de estatística multivariada para segmentação das zonas de manejo sugeridas por Delalibera et al. (2012). Os pontos de amostragem foram agrupados conforme a variância total do conjunto de dados

empregando-se Análise Hierárquica de Agrupamentos (HCA) e Análise de Componentes Principais (PCA). A HCA possibilitou identificar quais pontos possuíam maior similaridade em relação à variância do conjunto total de dados (Hair Jr et al., 2005), sendo que na aplicação do modelo compensaram-se as magnitudes numéricas das variáveis e realizou-se pré-processamento dos dados (método do auto-escalamento), não permitindo que uma variável obtivesse maior importância na análise oriunda apenas da magnitude da mesma. A PCA permitiu identificar qual variável explicaria a variância dentro de cada zona de manejo (grupo) sugerida. As análises multivariadas foram realizadas utilizando o software computacional Pirouette® 4.5 (Infometrix, 2011).

Para conferência da significância das análises multivariadas, realizou-se nova análise descritiva cada grupo de pontos obtido, e ainda, teste de comparação de médias por contrastes ortogonais ($p < 0,05$), conforme: Contraste 1 – zona de manejo 1 x 2; Contraste 2 – zona de manejo 1 x 3; Contraste 3 – zona de manejo 1 x 4; Contraste 4 – zona de manejo 2 x 3; Contraste 5 – zona de manejo 2 x 4; Contraste 6 – zona de manejo 3 x 4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva (Tabela 1) das variáveis na camada superficial P5 (0 – 0,05 m) demonstra que, com exceção do pH, os valores de coeficientes de variação (C.V.) estão classificados entre altos a muito altos de acordo com os valores sugeridos por Pimentel-Gomes (2009), evidenciando a heterogeneidade para os atributos químicos de solo área em estudo.

Esses valores de C.V, para os atributos químicos, podem estar ligados à profundidade amostrada em áreas sob SPD, onde o aporte de corretivos e fertilizantes em muitas culturas é na linha de cultivo, sendo ambiente de intensa atividade biótica na ciclagem de nutrientes e suscetibilidade ao efeito erosivo. Valores semelhantes de C.V. são obtidos na bibliografia em trabalhos que investigam a variabilidade espacial (Teschfahugnegn et al., 2011; Zanão Jr. et al., 2010).

Os valores mensurados demonstram que o conteúdo do íon Al^{+3} em relação aos cátions Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} , em média ocupa quase 15% da rede de cargas negativas associada a capacidade de troca de cátions efetiva (CTCe). Também se observa alta variabilidade para Carbono, CTCe, CTC pH7,0, Sb, e V%, *a priori* demonstrando potenciais distintos de respostas a fertilizações, corretivos, armazenamento de água e produção de biomassa.

Em relação à Profundidade 10 (Tabela 1) é possível verificar que o C.V. da maioria dos atributos químicos do solo são considerados altos, com exceção do pH, que por sua vez apresenta valor de C.V baixo. Observa-se também um aumento considerável (57,8%) no conteúdo médio de Al^{+3} em relação à Profundidade 5.

Ainda de acordo com a Tabela 1, houve aumento do conteúdo de Al^{+3} em relação aos conteúdos de cátions básicos, onde o percentual de preenchimento da CTCe por alumínio é de 34%. É importante indicar que o conteúdo médio de alumínio nessa profundidade é superior ao conteúdo médio de Magnésio (Mg^{+2}).

Observa-se alta variabilidade para os valores mensurados na Profundidade 20 (Tabela 1). Na Profundidade 20 o conteúdo médio de alumínio continua ocupando aproximadamente 35 % da CTCe, entretanto nesse caso o valor já é superior ao somatório dos conteúdos de magnésio e potássio. Também, continuam observando-se valores muito baixo para V %, Sb, CTCe, CTC pH7,0, e carbono.

Tabela 1. Média, C.V. e coeficiente de normalidade Anderson-Darling dos conteúdos dos atributos químicos do solo nas Profundidades 5, 10 e 20

Variável	Prof. 5 (0 - 0,05 m)			Prof. 10 (0,05 – 0,1 m)			Prof. 20 (0,1 – 0,2 m)		
	Média	C.V.(%)	p-value	Média	C.V.(%)	p-value	Média	C.V.(%)	p-value
pH ¹	4,51	6,85	< 0,005	4,23	6,91	< 0,005	4,29	7,2	< 0,005
H + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	7,18	29,3	0,036	7,78	29,41	0,21	8,27	30,81	0,508
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,63	85,5	< 0,005	1,09	64,51	0,331	1,05	67,03	0,358
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	2,05	37,21	0,014	1,27	48,08	< 0,005	1,86	59,81	< 0,005
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,07	32,3	< 0,005	0,52	37,21	< 0,005	0,49	53,75	< 0,005
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,43	22,07	0,797	0,27	29,35	0,049	0,19	32,13	0,111
P ² (mg dm ⁻³)	43,22	59,9	< 0,005	24,23	102,7	< 0,000	4,83	137,8	< 0,005
C ³ (g kg ⁻¹)	22,43	26,34	< 0,005	15,91	34,16	< 0,005	12,63	39,54	0,084
Ca ⁺² + Mg ⁺²	3,12	34,64	0,01	1,98	79,04	< 0,005	1,7	55,01	< 0,005
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,73	21,93	< 0,005	9,84	23,52	0,036	10,15	24,81	0,407
CTCe(cmol _c dm ⁻³)	4,18	31,22	< 0,005	3,15	29,67	< 0,005	2,92	34,4	< 0,005
Sb (cmol _c dm ⁻³)	3,54	31,22	0,011	2,05	39,51	< 0,005	1,87	51,54	< 0,005
V %	33,59	28,13	0,011	24,75	42,71	< 0,005	19,34	54,68	< 0,005
m %	15,31	69	0,305	34,06	50,36	0,06	36,41	53,63	0,09
Ca ⁺² /Mg ⁺²	1,92	20,47	0,345	2,46	27,62	0,451	2,54	46,67	< 0,005
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	7,6	42,43	0,05	7,03	58,27	< 0,005	9,63	57,52	< 0,050

Segmentou-se o grupo de pontos de amostragens em similaridade de 60 %, e valendo-se do interpolador vizinho natural, espacializaram-se os grupos na área de trabalho (Figura 1). Esse número quantitativo de grupos ou zonas de manejo foi estabelecido com base em critério onde não se subdivide a área de forma a comprometer a viabilidade da realização de manejo motomecanizado. Matematicamente significa que os quatro grupos segmentados contêm 60 % da variância total.

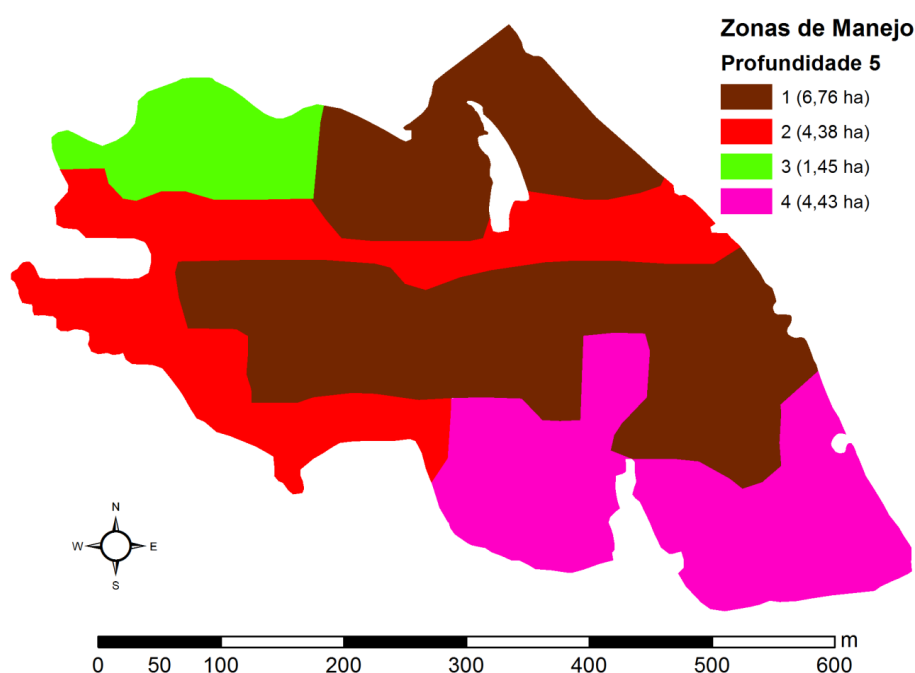


Figura 1. Distribuição espacial das zonas de manejo na área de trabalho

Correlacionando *scores* (variáveis) e *loadings* (amostragens), que para a Zona de Manejo 1 (marrom), as variáveis de maior importância seriam Fósforo e pH. Para a Zona de Manejo 2 (vermelho) as variáveis foram m%, o Al⁺³ e acidez potencial. Na Zona de Manejo 3 (verde) o K⁺, o C e a CTC pH7,0, e por fim para Zona de Manejo 4 (rosa), os valores de Ca⁺², V %, Ca⁺²+ Mg⁺², e Mg⁺².

Tabela 2. Média e C.V. (%) de atributos químicos do solo na Profundidade 5 e componentes de rendimento da cultura da soja, considerando agrupamento de pontos amostrais por zona de manejo

Variável	Zonas de Manejo							
	1		2		3		4	
	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V	Média	C.V
pH	4,85	4,40	4,33	4,31	4,25	2,43	4,80	7,14
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	5,99	19,00	7,96	14,98	9,58	18,77	5,99	23,67
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,39	59,03	0,74	40,36	1,23	56,93	0,29	97,05
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,74	29,12	1,64	39,77	2,00	25,60	2,97	31,76
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,90	23,36	0,91	25,41	1,08	18,86	1,44	0,49
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,48	19,64	0,44	25,32	0,44	20,53	0,48	19,12
P (mg dm ⁻³)	54,63	60,78	36,43	45,81	29,74	41,65	40,59	68,23
C (g.kg ⁻¹)	18,40	17,76	22,22	21,08	28,73	19,32	24,56	23,14
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	2,64	21,79	2,56	34,18	3,08	22,79	4,41	31,75
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	9,05	16,42	10,96	15,11	13,10	18,10	10,89	15,34
CTCe(cmol _c dm ⁻³)	3,44	19,46	3,74	22,90	4,75	24,24	5,18	24,61
Sb (cmol _c dm ⁻³)	3,05	18,88	2,99	32,02	3,53	20,02	4,89	29,28
V %	33,86	14,79	27,08	24,45	26,97	14,84	44,76	23,76
m %	11,25	49,20	21,12	45,27	24,95	34,48	6,64	119,49
Ca ⁺² /Mg ⁺²	1,98	23,57	1,76	17,95	1,83	14,07	2,06	16,80
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	6,74	30,71	5,75	21,07	7,24	31,65	9,45	35,14
NVAGPRIN	17,96	17,42	19,73	11,23	19,17	12,11	20,28	12,08
NVAGLAT	5,21	22,86	4,15	23,29	4,04	25,40	4,47	25,13
População	333.888	10,68	377.623	6,02	357.688	6,06	340.823	8,21
Rendimento	4109,50	8,40	3711,84	6,02	3962,13	8,26	4273,19	6,86
MMG	18,70	8,63	17,94	9,15	17,40	4,86	17,79	9,06

Mesmo considerando agrupamento por similaridade, os coeficientes de variação continuam considerados médios e altos (Tabela 2) para a maioria das variáveis (Pimentel-Gomes, 2009).

A Tabela 3 demonstra o p-valor do teste de comparação de médias por contrastes ortogonais, a partir da segmentação por zonas de manejo baseada em análise multivariada (Delalibera et al., 2012), para a Profundidade 5.

Tabela 3. Comparação de médias por contrastes ortogonais (p < 0,05) para atributos químicos do solo na Profundidade 5 e componentes de rendimento da cultura da soja, após segmentação em zonas de manejo

Variável	Contrastes (p - valor)					
	1	2	3	4	5	6
pH	0,0094	0,0009	0,0251 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	<0,0001
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0016	<0,0001	0,9983 ^{ns}	0,0086	0,0016	<0,0001
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0443	<0,0001	0,5579 ^{ns}	0,0071	0,0108	<0,0001
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,7129 ^{ns}	0,3191 ^{ns}	<0,001	0,1751 ^{ns}	<0,0001	0,0005
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,9266 ^{ns}	0,1366 ^{ns}	<0,001	0,1671 ^{ns}	0,0001	0,0041
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,3672 ^{ns}	0,3754 ^{ns}	0,0700 ^{ns}	0,9876 ^{ns}	0,3496 ^{ns}	0,3418 ^{ns}
P (mg dm ⁻³)	0,1099 ^{ns}	0,0308	0,2148 ^{ns}	0,5518 ^{ns}	0,7112 ^{ns}	0,3362 ^{ns}
C (g.kg ⁻¹)	0,0565 ^{ns}	<0,0010	0,0029	0,0017	0,2313 ^{ns}	0,0381
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,8181 ^{ns}	0,2324 ^{ns}	<0,0001	0,1563 ^{ns}	<0,0001	0,0007
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	0,0126	<0,0010	0,0162	0,0057	0,9200 ^{ns}	0,0043
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	0,4548 ^{ns}	0,0022	0,0001	0,0165	0,009	0,2961 ^{ns}
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,8967 ^{ns}	0,2116 ^{ns}	<0,0001	0,1690 ^{ns}	<0,001	0,0007
V %	0,0182	0,0164	0,0003	0,9666 ^{ns}	<0,001	<0,0001
m %	0,0036	<0,0001	0,1583 ^{ns}	0,2398 ^{ns}	<0,001	<0,0001
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,1796 ^{ns}	0,3574 ^{ns}	0,6524 ^{ns}	0,6662 ^{ns}	0,0759 ^{ns}	0,1734 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	0,3104 ^{ns}	0,6054 ^{ns}	0,0073	0,1290 ^{ns}	0,0004	0,0267
NVAGPRIN	0,1417 ^{ns}	0,3167 ^{ns}	0,0560 ^{ns}	0,6311 ^{ns}	0,6431 ^{ns}	0,3472 ^{ns}
NVAGLAT	0,0326	0,0193	0,1306 ^{ns}	0,8248 ^{ns}	0,5090 ^{ns}	0,3791 ^{ns}
População	0,0014	0,0694 ^{ns}	0,5904 ^{ns}	0,1262 ^{ns}	0,0062	0,1940 ^{ns}
Rendimento	0,0057	0,2876 ^{ns}	0,2361 ^{ns}	0,0743 ^{ns}	0,0002	0,0277
MMG	0,2777	0,0481	0,1633	0,4077	0,8264	0,5415

As Zonas de Manejo 2 e 4 diferiram-se estatisticamente em relação a população de plantas e rendimento de grãos, onde o valor de população de plantas é superior para Zona de Manejo 2, e o rendimento de grãos superior para a Zona de Manejo 4.

Semelhante a esse caso, observa-se o contraste 1, onde a população de plantas superior para a Zona de Manejo 2, não compensou o rendimento de grãos em relação a Zona de Manejo 1. Nesse estudo de caso, as médias das populações de plantas abaixo de 340.000 plantas por hectare apresentaram médias de rendimento de grãos superiores a 4.000 kg ha⁻¹.

Para os valores da Profundidade 10, obteve-se a também formação de quatro grupos com similaridade de 58,5 % (Figura 2), valor muito próximo ao considerado na formação de grupos na Profundidade 5. Para essa análise valeu-se de 50 pontos amostrais, portanto foram identificados durante processamento dez pontos de amostragem com valores discrepantes, e posteriormente retirados da análise.

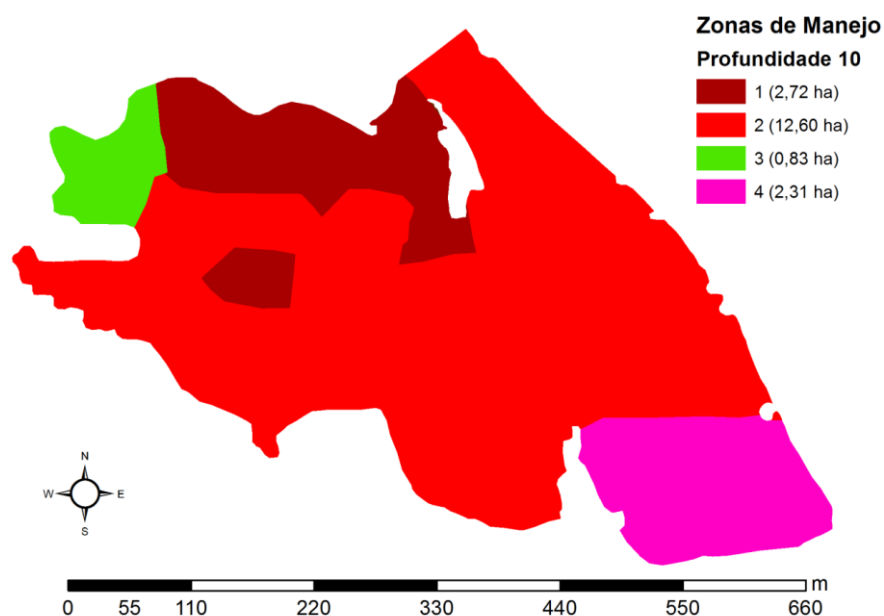


Figura 2. Posicionamento das zonas de manejo para Profundidade 10

Na Análise de Componentes Principais, explicou-se 87,7% da variância até o terceiro componente da análise. Correlacionando os *scores* e *loadings*, obteve-se como variáveis de maior importância nas Zonas de Manejo 1, a variável fósforo, para a Zona de Manejo 2 destacou-se o conteúdo de Al⁺³, acidez potencial e saturação por alumínio, na Zona de Manejo 3, o Carbono e a capacidade de troca de cátions efetiva e a pH 7,0, e por fim para a Zona de Manejo 4 os cátions básicos (Ca⁺², Mg⁺² e K⁺).

Verifica-se a partir da média e C.V. (Tabela 5), as magnitudes de variação das variáveis em análise para a Profundidade 10.

Tabela 5. Média e coeficiente de variação de atributos químicos do solo na Profundidade 10 e componentes de rendimento da cultura da soja, conforme amostras pertencentes a cada zona de manejo

Variável	Zonas de Manejo							
	1		2		3		4	
	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.	Média	C.V.
pH	4,08	3,01	4,16	3,12	4,07	1,86	4,64	4,79
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	8,94	13,28	6,94	14,42	10,93	7,22	4,95	20,47
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	1,4	26,27	0,89	32,86	1,93	21,32	0,26	70,29
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,02	25,23	0,89	29,24	1,63	17,26	1,72	20,10
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,51	21,13	0,36	16,45	0,71	24,82	0,59	14,84

K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,26	27,10	0,25	22,40	0,30	18,41	0,27	40,43
P ² (mg dm ⁻³)	14,16	99,91	24,42	87,83	25,57	108,8	24,12	85,93
C ³ (g.kg ⁻¹)	16,79	11,73	12,59	17,84	20,43	6,84	12,60	19,87
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	1,53	22,14	1,25	22,48	2,34	19,54	2,31	15,73
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	10,72	10,39	7,44	10,66	13,57	4,26	7,53	17,08
CTCe(cmol _c dm ⁻³)	3,19	11,67	2,39	10,97	4,57	5,89	2,85	17,86
Sb (cmol _c dm ⁻³)	1,79	17,98	1,50	20,91	2,64	19,00	2,58	16,13
V %	16,86	21,31	18,03	24,58	19,52	19,70	34,57	12,47
m %	43,64	22,61	37,16	30,18	42,31	21,75	8,82	62,86
Ca ⁺² /Mg ⁺²	2,05	21,36	2,48	27,68	2,32	7,98	2,97	23,62
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	6,39	38,30	5,10	60,68	7,82	13,29	10,84	70,10
NVAGPRIN	19,02	13,96	19,55	11,75	19,17	11,26	17,97	22,52
NVAGLAT	4,48	27,43	5,04	22,76	3,89	18,00	5,17	33,40
População	356.349	7,15	345.354	11,80	352.910	8,41	331.259	6,24
Rendimento	3963,40	5,96	4037,60	9,96	3825,76	5,52	4271,60	6,24
MMG	17,56	7,24	18,86	9,37	17,36	4,35	17,93	7,38

A tabela 6 demonstra o p-valor do teste de comparação de médias por por contrastes ortogonais, a partir da segmentação por zonas de manejo baseada em análise multivariada (Delalibera et al., 2012), para a Profundidade 10.

Tabela 6. Comparação de médias por contrastes ortogonais (p<0,05) para atributos químicos do solo na Profundidade 10 e componentes de rendimento da cultura da soja, após segmentação em zonas de manejo

Variável	Contrastes (p – valor)					
	1	2	3	4	5	6
pH	0,2216 ^{ns}	0,8202 ^{ns}	<0,0001	0,1490 ^{ns}	<0,0001	<0,0001
H ⁺ + Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Al ⁺³ (cmol _c dm ⁻³)	0,0005	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,2796 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,4513 ^{ns}
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,0018	<0,0001	0,0622 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	0,0062
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,8040 ^{ns}	0,1731 ^{ns}	0,6106 ^{ns}	0,1092 ^{ns}	0,4498 ^{ns}	0,3882 ^{ns}
P (mg dm ⁻³)	0,1310 ^{ns}	0,3155 ^{ns}	0,2884 ^{ns}	0,6036 ^{ns}	0,6451 ^{ns}	0,9531 ^{ns}
C (g kg ⁻¹)	<0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001	0,9817 ^{ns}	<0,0001
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,0655 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,8232 ^{ns}
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0426	<0,0001
CTCe(cmol _c dm ⁻³)	<0,0001	<0,0001	0,0296	<0,0001	0,0046	<0,0001
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,0775 ^{ns}	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,7031 ^{ns}
V %	0,5074 ^{ns}	0,1374 ^{ns}	<0,0001	0,4032 ^{ns}	<0,0001	<0,0001
m %	0,1247 ^{ns}	0,7491 ^{ns}	<0,0001	0,2205 ^{ns}	<0,0001	<0,0001
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,0934 ^{ns}	0,2898 ^{ns}	0,0006	0,5239 ^{ns}	0,0543 ^{ns}	0,0120
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	0,4175 ^{ns}	0,3698 ^{ns}	0,0071	0,0914 ^{ns}	0,0007	0,0621 ^{ns}
NVAGPRIN	0,6597 ^{ns}	0,9002 ^{ns}	0,3842 ^{ns}	0,7527 ^{ns}	0,1928 ^{ns}	0,3203 ^{ns}
NVAGLAT	0,2996 ^{ns}	0,2803 ^{ns}	0,2046 ^{ns}	0,0375	0,8132 ^{ns}	0,0215
População	0,4318 ^{ns}	0,8052 ^{ns}	0,0769 ^{ns}	0,5884 ^{ns}	0,3146 ^{ns}	0,1252 ^{ns}
Rendimento	0,5841 ^{ns}	0,3113 ^{ns}	0,0267	0,1221 ^{ns}	0,0888 ^{ns}	0,0018
MMG	0,0426	0,7460 ^{ns}	0,5612 ^{ns}	0,0200	0,1404 ^{ns}	0,3670 ^{ns}

Para a Zona de Manejo 3, evidencia diferença significativa para os maiores valores para a contéudo de carbono e CTC em relação as demais zonas de manejo. Observa-se ainda pelo teste de comparação de médias que as variáveis destacadas pela PCA, em geral diferiram-se pelo teste de contrastes, com exceção da Zona de Manejo 1, a qual verifica-se efeito não significativo para o valor médio de fósforo.

Para a Zona de Manejo 2, evidencia-se os menores valores relativos as demais zonas, com exceção do m% onde seu valor é alto e constante para os três primeiros grupos. Na Zona de Manejo 3, observa-se que as médias de CTCe, CTCpH7,0 e carbono, diferiram-se significativamente dos valores médios para essas variáveis nas demais zonas.

Quando contrastados os valores médios de rendimento de grãos, a média da Zona de Manejo 4 foi superior a média das Zonas 1 e 3.

Na segmentação de pontos amostrais em zonas de manejo por HCA, para a Profundidade 20, obteve-se a formação de três grupos (Figura 3) com similaridade de 52,3 %, em distância euclidiana.

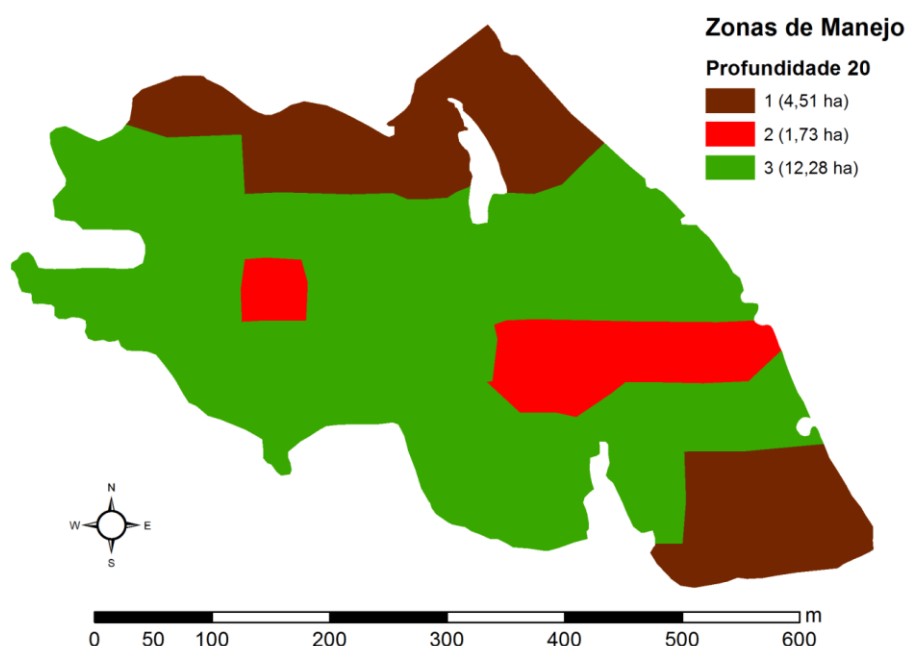


Figura 3. Posicionamento das zonas de manejo para Profundidade 20

Aplicou-se a análise de componentes principais, onde se explicou 80,2% da variância até o terceiro componente, e destacaram-se como variáveis de maior importância dentro de cada grupo a CTCe e carbono, para Zona de Manejo 1, para a Zona de Manejo 2, o pH e V%, e por fim, para a Zona de Manejo 3, o m%.

As Zonas de Manejo 1 e 2, apresentam coeficientes de variação de baixo a médio. Por sua vez, na Zona de Manejo 3, observa-se valor considerado alto para a maioria das variáveis em análise (Tabela 7).

Tabela 7. Média e coeficiente de variação de atributos químicos do solo na Profundidade 20 e componentes de rendimento da cultura da soja, conforme amostras pertencentes a cada zona de manejo

Variável	Zonas de Manejo					
	1		2		3	
	Média	CV	Média	CV	Média	CV
pH	4,19	2,48	4,67	4,29	4,13	2,50
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	10,53	17,73	5,13	23,08	8,56	21,11
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,62	43,98	0,24	60,64	1,14	43,25
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,52	23,62	1,44	27,56	0,72	29,03
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,62	18,58	0,59	30,70	0,32	47,38
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,20	20,63	0,19	50,12	0,18	32,49
P ² (mg dm ⁻³)	7,58	167,69	3,54	67,41	4,07	58,17
C ³ (g.kg ⁻¹)	16,54	26,43	9,09	30,11	11,33	41,62
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	2,13	18,52	2,04	21,77	1,08	37,07
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	12,83	12,54	7,35	19,43	9,78	17,74
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	3,94	12,46	2,46	20,08	2,36	21,11
Sb (cmol _c dm ⁻³)	2,33	16,98	2,22	23,72	1,22	22,78
V %	18,63	28,18	30,52	19,73	12,92	30,36
m %	39,91	33,35	10,09	63,00	46,98	28,12
Ca ⁺² /Mg ⁺²	2,54	32,05	2,77	55,64	2,52	49,57
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	11,30	32,21	13,68	51,98	6,12	42,17
NVAGPRIN	19,88	13,38	19,61	16,47	18,53	16,16

NVAGLAT	4,21	17,49	5,83	24,83	4,88	25,53
População	342.355	8,30	323.621	8,04	354.814	9,65
Rendimento	3864,83	5,13	4245,81	6,37	4031,34	7,83
MMG	17,48	5,68	18,42	9,63	18,21	8,64

Pelos valores de p descritos na Tabela 8, os conteúdos de fósforo e potássio não diferiram estatisticamente considerando uma zona de manejo em oposição a outra, como nos casos constatados para camadas superiores do solo. Assim, é considerável imaginar que os conteúdos de fósforo e potássio apresentem distribuições espaciais de maior homogeneidade nas três profundidades analisadas.

Tabela 8. Comparação de médias por contrastes ortogonais ($p < 0,05$) de para atributos químicos do solo na Profundidade 20 e componentes de rendimento da cultura da soja, após a segmentação em zonas de manejo

Variável	Contrastes (p – valor)		
	1	2	3
pH	< 0,0001	0,1999 ^{ns}	< 0,0001
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	0,0038	< 0,0001
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	0,0186	< 0,0001
Ca ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,5482 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,6230 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,6429 ^{ns}	0,5617 ^{ns}	0,9267 ^{ns}
P ² (mg dm ⁻³)	0,1160 ^{ns}	0,1900 ^{ns}	0,7862 ^{ns}
C ³ (g kg ⁻¹)	< 0,0001	0,0022	0,1685 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² (cmol _c dm ⁻³)	0,5134 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
CTC pH7,0 (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	< 0,0001	0,0003
CTCe (cmol _c dm ⁻³)	< 0,0001	< 0,0001	0,6036 ^{ns}
Sb (cmol _c dm ⁻³)	0,4939 ^{ns}	< 0,0001	< 0,0001
V %	< 0,0001	0,0033	< 0,0001
m %	< 0,0001	0,1259	< 0,0001
Ca ⁺² /Mg ⁺²	0,6203 ^{ns}	0,9614 ^{ns}	0,5867 ^{ns}
Ca ⁺² + Mg ⁺² / K ⁺	0,1521 ^{ns}	0,0028	< 0,0001
NVAGPRIN	0,8197 ^{ns}	0,2544 ^{ns}	0,3596 ^{ns}
NVAGLAT	0,0011	0,1511 ^{ns}	0,0472
População	0,1349 ^{ns}	0,3163 ^{ns}	0,0150
Rendimento	0,0012	0,1353 ^{ns}	0,0567 ^{ns}
MMG ³	0,1047 ^{ns}	0,2025 ^{ns}	0,7177 ^{ns}

Observa-se pelos valores de p, descritos na Tabela 8, que os conteúdos de fósforo e potássio não se diferiram estatisticamente, considerando uma zona de manejo em oposição a outra, como nos casos constatados para camadas superiores do solo. Assim, é considerável imaginar que os conteúdos de fósforo e potássio apresentem distribuições espaciais de maior homogeneidade nas três profundidades analisadas.

Pela Tabela 8 é possível verificar que grande parte dos contrastes não apresentaram diferenças significativas para os componentes de rendimento avaliados. O rendimento de grãos foi superior na Zona de Manejo 2 em relação a Zona de Manejo 1.

CONCLUSÕES

O modelo a partir de estatística multivariada se mostrou eficiente em agrupar áreas homogêneas quanto às variáveis químicas do solo. Na Profundidade 5 (0 – 0,05 m), verificou-se efeito significativo para diferenças nas médias de população de plantas e rendimento de grãos. Para as Profundidades 10 e 20 não observou-se o mesmo.

REFERÊNCIAS

COLET, M. J.; WEIRICH NETO, P. H.; GARBUIO, P. W.; SCHIMANDEIRO, A. Processo de semeadura e o rendimento do milho na região dos Campos Gerais do Paraná. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p. 994-999, 2007.

DELALIBERA, H. C.; WEIRICH NETO, P. H.; NAGATA, N. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 6, p. 1197-1204, 2012.

ESRI. **ARCGIS 10, Environmental Systems Research Institute**. ESRI, 2010.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I. Precision agriculture & food security. **Science**, v. 327, p. 828-831, 2010.

HAIR JR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5ª edição, São Paulo: BOOKMAN, 2005.

INFOMETRIX. **Pirouette, Multivariate data analysis software**. INFOMETRIX, 2011.

LATERRA, P.; ORÚE, M. E.; BOOMAN, G. C. Spatial complexity and ecosystem services in rural landscape. **Agricultural, Ecosystems and Environment**, v. 154, p. 56-67, 2012.

ORTEGA, R. A.; SANTIBÀÑEZ, O. A. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 58, p. 49-59, 2007.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 15. ed. Piracicaba: Fealq, 2009. 451p.

TESFAHUNEGN, G. B.; TAMENE, L.; VLEK, P. L. G. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. **Soil & Tillage Research**, v. 117, p. 124-139, 2011.

ZANÃO JUNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; ARAÚJO PEREIRA, J. M. A. Variabilidade Espacial dos teores de macronutrientes em Latossolos sob Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 389-400, 2010.