

## **AVALIAÇÃO DO USO DAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS COMO PARTE DO CONJUNTO DE ATRIBUTOS PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE GERENCIAMENTO DIFERENCIADO**

RAUL T. DOS SANTOS<sup>1</sup>, ANTONIO M. SARAIVA<sup>2</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bacharel em Ciência da Computação, Prof. Assistente, Instituto de Ciência da Computação, UFMT e Doutorando da Escola Politécnica da USP, Cuiabá – MT, Fone: (65) 3615-8796, raul@ufmt.br.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Eletricista e Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Titular, Depto Eng. de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da USP, São Paulo – SP, saraiva@usp.br

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Associado, Depto de Eng. de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba – SP, jpmolin@usp.br

Apresentado no

**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2012**  
Ribeirão Preto - SP, Brasil, 24 a 26 de setembro de 2012

**RESUMO:** A agricultura de precisão tem sido possível graças ao desenvolvimento de ferramentas para coleta de dados de produtividade, atributos do solo e outros, sempre georreferenciados. As grandes quantidades de dados gerados requerem o uso de recursos de tecnologia da informação para a tomada de decisão. A definição de unidades de gerenciamento diferenciado dentro do talhão é uma etapa importante e é influenciada pelos algoritmos, pela seleção dos parâmetros e evidentemente pelos dados. Nosso objetivo foi avaliar o uso das próprias coordenadas geográficas como parte do conjunto de atributos utilizados para definição das unidades de gerenciamento diferenciado. A hipótese é que sua consideração pode servir para melhorar o agrupamento dos pontos vizinhos. Foram utilizados atributos físicos e químicos do solo com e sem as coordenadas para definição das unidades de gerenciamento diferenciado com o uso do algoritmo X-means. Os resultados mostraram que o uso das coordenadas no conjunto de atributos influenciou o número de unidades de gerenciamento diferenciado e a região de fronteira entre as mesmas.

**PALAVRAS-CHAVE:** variabilidade espacial, zonas de manejo, agrupamento

### **EVALUATION USE OF THE GEOGRAPHICAL COORDINATES WITH ATTRIBUTES FOR DELINEATING DIFFERENTIATED MANAGEMENT UNITS**

**ABSTRACT:** Precision agriculture has been made possible with the development of tools for acquisition of data such as productivity, soil properties and others, always georeferenced. The large amounts of data generated require the use of information technology resources for decision making. The definition of differentiated management units is an important phase and is influenced by the algorithms, by the parameters selected, and evidently by the data. Our objective was to evaluate the use of the very geographical coordinates as part of the set of attributes used for defining differentiated management units. The hypothesis is that considering them can improve grouping of spatially neighboring points. We used physical and chemical properties of soil with and without the coordinates for the definition of differentiated management units using the X-means algorithm. The results showed that the use of the coordinates in the set of attributes influences the number of differentiated management units and the boundary between them.

**KEYWORDS:** spatial variability, management zone, clustering

## INTRODUÇÃO

A principal meta da Agricultura de Precisão é permitir o gerenciamento do talhão considerando sua variabilidade espaço-temporal. A adequada definição das unidades de gerenciamento diferenciado, através do estudo das relações entre produtividade, atributos do solo, das culturas e do relevo, permite evitar a exaustão química e a degradação de seus atributos físicos, visando à máxima produtividade e lucratividade sustentáveis (MOLIN et al., 2006; MOLIN, 2004; TSCHIEDEL & FERREIRA, 2002).

Para se atingir esses objetivos normalmente são utilizados dados georreferenciados, que são analisados de forma a se determinar as intervenções mais adequadas para um determinado local.

Apesar da diversidade de ferramentas disponíveis, a correta definição de unidades de gerenciamento diferenciado é uma tarefa complexa, devido ao grande número de parâmetros inter-relacionados. Diversos métodos e atributos têm sido utilizados para definição de unidades de gerenciamento diferenciado (HUANG et al., 2010; GUASTAFERRO et al., 2010; FU et al., 2010; MORAL et al., 2011; PEDROSO et al., 2010), sendo cada um adequado a diferentes tipos de dados disponíveis.

Muitas destas técnicas realizam o agrupamento considerando-se apenas os atributos de entrada, calculando-se distâncias num espaço n-dimensional entre os valores numéricos dos pontos amostrados, diferentemente das técnicas de processamento de imagens em que a relação espacial entre os pontos amostrados é inerente. Em métodos que utilizam o agrupamento de amostras através da distância, tais como *K-means* e suas variações, a distribuição espacial das amostras é considerada apenas quando as coordenadas geográficas estão incluídas no conjunto de atributos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação da influência do uso das coordenadas geográficas como parte do conjunto de atributos para definição de unidades de gerenciamento diferenciado, embora esses conjuntos de atributos não sejam necessariamente os melhores indicadores para a sua definição, tendo sido aplicados focando a avaliação dos resultados quando são incluídas as coordenadas geográficas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado utilizando-se dados de um talhão de 134,2 ha contendo 62 amostras de solo georreferenciadas, obtendo-se os nutrientes do solo, pH, Ca, Mg, K, Soma de bases – SB, Capacidade de troca de cátions – CTC, P, C, Matéria Orgânica – MO e Saturação de bases – V. Destas 62 amostras, 13 foram escolhidas para obter os atributos físicos do solo, areia, silte e argila.

Os mapas dos atributos do solo foram interpolados utilizando krigagem ordinária e os modelos apropriados foram definidos utilizando os erros de predição, médio e *root-mean-square standardized*, obtidos utilizando validação cruzada. A partir da interpolação, foram gerados mapas com células de 10 x 10 m, resultando em 13.284 células.

Posteriormente os dados foram convertidos para o formato utilizado pelo software WEKA (HALL et al., 2009), onde os mesmos foram normalizados para o intervalo [0,1] de formar a evitar que a diferença numérica entre os atributos pudesse influenciar nos resultados.

As simulações foram realizadas com os seguintes conjuntos: apenas atributos químicos, apenas atributos físicos e o conjunto de todos os atributos físicos e químicos do solo. O intuito foi o de avaliar apenas o efeito da inclusão das coordenadas geográficas no conjunto de atributos de entrada, não sendo avaliado quais conjuntos de atributos de solo são mais relevantes na definição de unidades de gerenciamento diferenciado. Foi utilizado o algoritmo *X-means* disponível no software WEKA.

Os mapas obtidos foram analisados visualmente, verificando a existência de mais de uma zona de manejo pertencente ao mesmo grupo. O número de pontos em cada um dos grupos e os valores médios e desvio padrão de cada atributo permitem fazer uma breve análise quantitativa e qualitativa dos mapas gerados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é apresentada a descrição estatística dos atributos do solo. As características dos semivariogramas calculados para as variáveis utilizadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Descrição estatística dos atributos do solo

Atributos	n	Média	Mediana	Mín.	Máx.	Desvio Padrão	Skewness	Kurtoisis
pH	62	5,19	5,2	4,3	5,9	0,36	-0,27	2,61
Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	62	33,65	34,6	10,6	57,3	8,64	-0,244	3,58
Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	62	17,74	18,15	5,2	30,5	4,74	-0,287	3,54
K (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	62	4,18	3,9	1	8,4	1,82	0,52	2,56
SB (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	62	55,57	56,85	18,5	91,5	14,1	-0,25	3,46
CTC (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	62	106,33	105,55	78,29	134,29	12,05	0,12	2,73
P (mg/dm <sup>3</sup> )	62	42,92	36,5	9	119	25,92	0,92	3,29
C (g/dm <sup>3</sup> )	62	23,11	23,24	15,39	33,74	3,40	0,29	3,48
MO (mg/dm <sup>3</sup> )	62	39,85	40,06	26,53	58,17	5,87	0,29	3,48
V (%)	62	52,36	54,80	14,30	72,22	11,51	-1,18	4,72
Areia (%)	13	47,91	50,2	31,6	68,95	9,86	0,1	3,18
Silte (%)	13	18,96	18,45	16,35	23,1	1,71	0,9	3,77
Argila (%)	13	33,13	31,55	10,6	50,8	10,42	-0,13	3,29

Na Figura 1 são apresentados os mapas obtidos utilizando-se os atributos químicos e físicos sem as coordenadas (esquerda) e com o uso das coordenadas (direita). É possível observar que o uso das coordenadas resultou na eliminação de uma pequena unidade de gerenciamento diferenciado (12 pontos - < 0,2 ha), resultado da incorporação dos pontos desta em outras.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os valores médios dos grupos e o total de pontos em cada um. A variação destes quando comparamos as tabelas, indicam que as fronteiras entre os grupos foram sutilmente alteradas. Observando-se os valores para desvio padrão nas duas tabelas constatamos que na Tabela 4 eles são maiores, indicando que o uso das coordenadas em conjunto com os demais atributos resultou em grupos e/ou unidades de gerenciamento diferenciado ligeiramente menos homogêneas.

Tabela 2 – Características dos semivariogramas calculados para todas as variáveis.

Atributos do solo	Modelo	C <sub>0</sub>	C	Nugget (%)	Classe Espacial	Alcance
pH	Circular	0,019	0,125	13,38	S	491,64
Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Rational Quadratic	49,780	35,168	58,60	M	1271,47
Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Rational Quadratic	14,602	10,920	57,21	M	1224,95
K (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Rational Quadratic	1,344	2,252	37,39	M	808,40
SB (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Rational Quadratic	137,544	88,036	60,97	M	1349,54
CTC (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	Rational Quadratic	68,804	99,776	40,81	M	943,87
P (mg/dm <sup>3</sup> )	Exponential	608,547	19,531	96,89	W	272,41
C (g/dm <sup>3</sup> )	Gaussian	7,376	7,212	50,56	M	988,34
MO (mg/dm <sup>3</sup> )	Gaussian	21,922	21,437	50,56	M	988,34
V (%)	TetraSpherical	38,311	106,902	26,38	M	525,51
Areia (%)	Gaussian	35,547	117,432	23,24	S	1169,70
Silte (%)	Rational Quadratic	1,476	2,075	41,57	M	1750,15
Argila (%)	Gaussian	43,567	131,574	24,88	S	1237,34

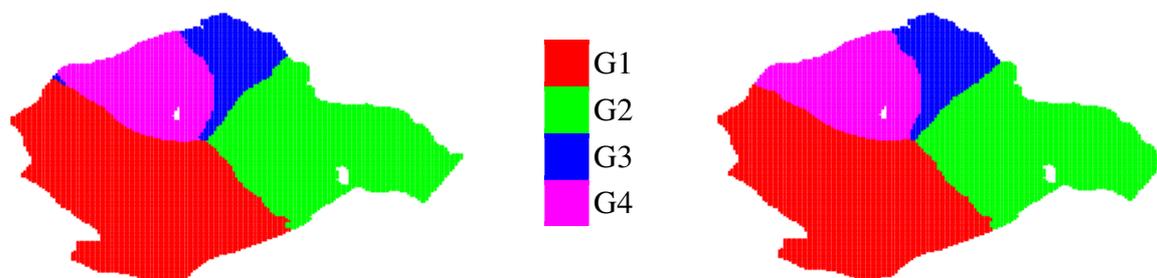


Figura 1. Unidades de gerenciamento diferenciado definidas usando apenas os atributos físicos e químicos (esquerda), e os atributos físicos, químicos e as coordenadas geográficas (direita).

Tabela 3. Descrição estatística dos grupos definidos utilizando os atributos físicos e químicos do solo.

Atributos	Grupo 1 (5753)		Grupo 2 (4325)		Grupo 3 (1144)		Grupo 4 (2062)	
	Média	Desvio Padrão						
Argila (%)	39,93	5,63	31,07	2,77	24,73	1,33	25,57	2,2
Silte (%)	19,04	0,495	20,70	0,966	20,78	0,330	19,42	0,554
Areia (%)	41,03	5,89	48,23	2,83	54,49	1,06	55,01	1,79
pH	4,96	0,18	4,87	0,33	4,29	0,45	4,23	0,42
Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	36,56	2,65	32,57	2,39	29,20	1,92	27,10	2,79
Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	19,15	1,53	16,90	1,41	15,03	1,07	13,87	1,55
K (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,77	1,046	3,64	1,2	4,93	1,02	3,11	0,83
SB (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	60,38	4,15	54,10	4,01	49,62	2,83	45,62	4,00
CTC (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	109,15	3,65	97,33	5,60	108,05	5,85	112,49	3,62
P (mg/dm <sup>3</sup> )	51,17	5,27	32,02	8,02	29,51	5,75	44,57	5,01
C (g/dm <sup>3</sup> )	24,14	0,91	19,94	0,79	22,23	0,72	23,97	0,66
MO (mg/dm <sup>3</sup> )	41,99	1,55	34,78	1,27	38,72	1,17	41,68	1,07
V (%)	55,48	4,80	55,16	4,39	46,93	4,75	38,45	6,79

Tabela 4. Descrição estatística dos grupos definidos utilizando os atributos físicos e químicos do solo e as coordenadas.

Atributos	Grupo 1 (5607)		Grupo 2 (4233)		Grupo 3 (1224)		Grupo 4 (2220)	
	Média	Desvio Padrão						
Argila (%)	40,17	5,47	31,26	2,73	24,87	1,31	25,74	2,28
Silte (%)	19,04	0,49	20,70	0,97	20,76	0,35	19,40	0,60
Areia (%)	40,79	5,73	48,04	2,76	54,37	1,08	54,86	1,85
pH	4,96	0,19	4,87	0,33	4,35	0,48	4,27	0,44
Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	36,65	2,62	32,62	2,40	29,45	1,91	27,41	2,99
Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	19,21	1,50	16,93	1,42	15,15	1,06	14,04	1,66
K (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,78	1,05	3,63	1,21	4,84	1,04	3,18	0,85
SB (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	60,53	4,09	54,17	4,03	49,92	2,79	46,12	4,36
CTC (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	109,18	3,68	97,36	5,71	107,05	6,26	112,23	3,73
P (mg/dm <sup>3</sup> )	51,21	5,31	32,24	8,13	29,12	5,64	44,71	5,17
C (g/dm <sup>3</sup> )	24,15	0,90	19,92	0,80	22,06	0,74	23,98	0,67
MO (mg/dm <sup>3</sup> )	42,02	1,52	34,76	1,27	38,42	1,27	41,67	1,07
V (%)	55,57	4,82	55,22	4,43	47,64	4,70	39,22	7,26

Na Figura 2 são apresentados os mapas obtidos utilizando-se os atributos físicos sem as coordenadas (esquerda) e com o uso das coordenadas (direita). Nesse caso é possível observar que para este conjunto de atributos o uso das coordenadas resultou em uma maior divisão do talhão, sendo criadas duas novas unidades de gerenciamento diferenciado com fronteiras bem definidas, ou seja, com pouco entrelaçamento entre os pontos de unidade de gerenciamento diferenciado vizinhas.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores médios e o total de pontos em cada um dos grupos obtidos usando os atributos físicos. Para este conjunto de atributos os valores de desvio padrão foram menores quando utilizou-se as coordenadas, consequência do aumento no número de unidades de gerenciamento diferenciado. Neste caso o uso das coordenadas geográficas resultou na divisão dos percentuais de argila, silte e areia em 4 intervalos.

Este resultado pode ser atribuído à proporção entre o número de atributos físicos (3) e o número de coordenadas (2), resultando em uma maior influência das coordenadas para este conjunto de atributos. Isto se deve ao funcionamento do algoritmo *X-means* que calcula a distância entre as amostras considerando um espaço n-dimensional onde cada atributo é uma dimensão, o mesmo gera um mapa com mais grupos/unidades de gerenciamento diferenciado buscando a maior homogeneidade dentro dos grupos e maior heterogeneidade entre os grupos.

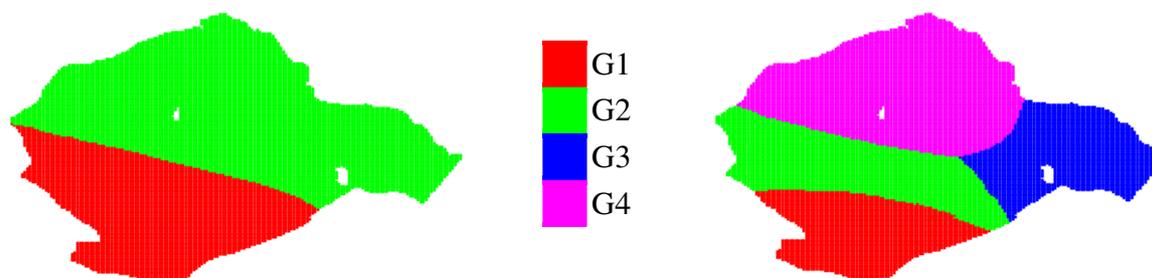


Figura 2. Unidades de gerenciamento diferenciado definidas usando apenas os atributos físicos (esquerda), e os atributos físicos e as coordenadas geográficas (direita).

Tabela 5. Descrição estatística dos grupos definidos utilizando os atributos físicos do solo.

Atributos	Grupo 1 (4831)		Grupo 2 (8453)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Argila (%)	41,78	4,22	28,78	3,49
Silte (%)	19,17	0,51	20,15	0,97
Areia (%)	39,05	4,39	51,07	3,64

Na Figura 3 são apresentados os mapas obtidos utilizando-se os atributos químicos sem as coordenadas (esquerda) e com o uso das coordenadas (direita). É possível observar que o uso das coordenadas praticamente eliminou a unidade de gerenciamento diferenciado localizada na região centro-sul do talhão, restando apenas alguns pontos que na prática deverão ser incorporados à unidade de gerenciamento diferenciado que os circundam.

Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os valores médios e o total de pontos em cada um dos grupos obtidos usando os atributos químicos. Semelhante ao caso para o conjunto total de atributos, utilizando-se apenas os atributos químicos, o desvio padrão para os mesmos aumentou, indicando uma redução na homogeneidade dos grupos, mas por outro lado eliminando unidades de gerenciamento diferenciado pequenas em comparação com as outras, através do uso das coordenadas que permitem considerar a proximidade entre os pontos amostrados no talhão.

Tabela 6. Descrição estatística dos grupos definidos utilizando os atributos físicos solo e as coordenadas.

Atributos	Grupo 1 (2486)		Grupo 2 (3146)		Grupo 3 (2631)		Grupo 4 (5021)	
	Média	Desvio Padrão						
Argila (%)	45,30	2,28	36,78	2,80	31,76	1,68	26,54	2,55
Silte (%)	19,33	0,39	18,93	0,52	21,17	0,91	19,83	0,65
Areia (%)	35,37	2,25	44,29	2,93	47,07	1,56	53,63	2,19

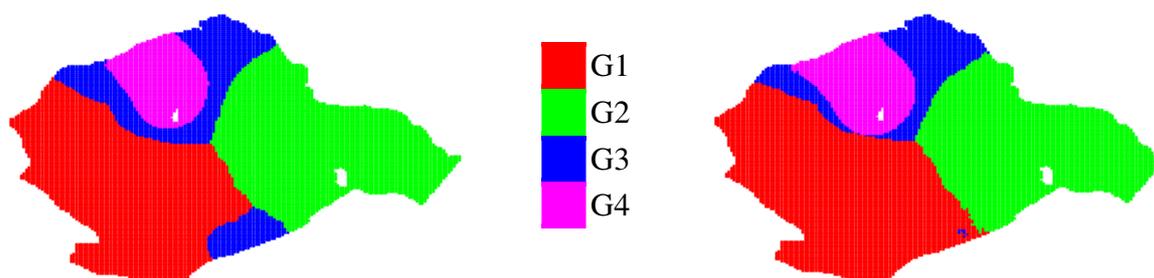


Figura 3 – Unidades de gerenciamento diferenciado definidas usando apenas os atributos químicos (esquerda), e os atributos químicos e as coordenadas geográficas (direita).

Tabela 7. Descrição estatística dos grupos definidos utilizando os atributos químicos do solo.

Atributos	Grupo 1 (5294)		Grupo 2 (4669)		Grupo 3 (2072)		Grupo 4 (1249)	
	Média	Desvio Padrão						
pH	5,00	0	4,87	0,34	4,38	0,49	4,00	0,04
Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	36,86	2,54	32,47	2,39	30,05	2,2	25,21	1,43
Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	19,34	1,44	16,85	1,41	15,46	1,21	12,83	0,78
K (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,86	1,04	3,68	1,18	3,95	1,29	2,98	0,86
SB (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	60,88	3,92	53,95	3,97	50,37	3,06	42,9	1,92
CTC (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	108,93	3,69	97,73	5,70	110,59	3,66	113,96	3,23
P (mg/dm <sup>3</sup> )	51,17	5,25	31,88	8,07	41,36	10,60	42,51	4,64
C (g/dm <sup>3</sup> )	24,28	0,8	20,05	0,87	23,15	0,99	23,89	0,54
MO (mg/dm <sup>3</sup> )	42,24	1,33	34,97	1,40	40,26	1,62	41,57	0,89
V (%)	56,41	3,54	54,93	4,32	45,08	3,85	33,78	3,66

Tabela 8. Descrição estatística dos grupos definidos utilizando os atributos químicos do solo e as coordenadas.

Atributos	Grupo 1 (5760)		Grupo 2 (4587)		Grupo 3 (1441)		Grupo 4 (1496)	
	Média	Desvio Padrão						
pH	4,97	0,17	4,87	0,34	4,33	0,47	4,06	0,25
Ca (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	36,52	2,70	32,51	2,37	29,34	1,96	25,85	1,97
Mg (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	19,13	1,55	16,87	1,40	15,11	1,12	13,18	1,08
K (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,79	1,03	3,64	1,19	4,60	1,13	2,93	0,78
SB (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	60,33	4,21	53,00	3,96	49,61	2,78	43,76	2,66
CTC (mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	109,15	3,64	97,68	5,77	109,66	4,51	113,40	3,46
P (mg/dm <sup>3</sup> )	51,19	5,25	32,20	8,27	35,33	9,73	43,45	4,52
C (g/dm <sup>3</sup> )	24,18	0,87	20,02	0,85	22,92	1,00	23,94	0,58
MO (mg/dm <sup>3</sup> )	42,07	1,46	34,93	1,37	39,87	1,63	41,64	0,97
V (%)	55,46	4,82	54,93	4,37	46,19	4,27	35,24	4,69

## CONCLUSÕES

Para o conjunto de dados utilizados, o uso das coordenadas geográficas em conjunto com os demais atributos permitiu a eliminação de unidades de gerenciamento diferenciado pequenas por considerar a posição geográfica das amostras durante o agrupamento, ao custo de uma redução na homogeneidade dos grupos.

Desta forma o estudo sugere que deva ser considerado o uso das coordenadas geográficas quando se utilizam algoritmos de agrupamento que não consideram as relações de proximidade entre os pontos, permitindo desta forma, considerar a localização de cada amostra, na tentativa de obter unidades de gerenciamento diferenciado mais adequadas para as práticas de agricultura de precisão, devido às limitações da tecnologia.

É importante enfatizar que não foi objetivo deste estudo avaliar quais conjuntos de atributos são mais adequados para a definição de unidades de gerenciamento diferenciado.

**AGRADECIMENTOS** – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)

## REFERÊNCIAS

- GUASTAFERRO, F.; CASTRIGNANÒ, A.; BENEDETTO, D.; SOLLITTO, D.; TROCCOLI, A.; CAFARELLI B. A comparison of different algorithms for the delineation of management zones. **Precision Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 600-620, Dec 2010. ISSN 1385-2256.
- FU, Q.; WANG, Z.; JIANG, Q. Delineating soil nutrient management zones based on fuzzy clustering optimized by PSO. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 51, n. 11-12, p. 1299-1305, Jun 2010. ISSN 0895-7177.
- HALL, M.; FRANK, E.; HOLMES, G.; PFAHRINGER, B.; REUTEMANN, P.; IAN, H. **The WEKA Data Mining Software: An Update**; SIGKDD Explorations, Volume 11, Issue 1, 2009.
- HUANG, Y.; LAN, Y.; THOMSON, S. J.; FANG, A.; HOFFMAN, W. C.; LACEY, R. E. Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering. **Computers and Electronics in Agriculture** [S.I.], v. 71, n. 2, p. 107-127, 2010.
- MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão** - Piracicaba, SP - ESALQ/USP. [S.l.: s.n.], 2004.
- MOLIN, J. P. et al. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 759-767, 2006.
- MORAL, F. J.; TERRON, J. M.; REBOLLO, F. J. Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 75, n. 2, p. 223-230, 2011. ISSN 0168-1699.
- PEDROSO, M.; TAYLOR, J.; TISSEYRE, B.; CHARNOMORDIC, B.; GUILLAUME, S. A segmentation algorithm for the delineation of agricultural management zones. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 70, n. 1, p. 199-208, 2010. ISSN 0168-1699.
- TSCHIEDEL M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: Conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 159-163, 2002.