

ZONAS DE MANEJO APLICADAS À CULTURA DO MILHO

**OLZURA DA E. MIGUEL¹, CLAUDIO L. BAZZI², GABRIELA K. MICHELON³,
KELYN SCHENATTO⁴, DOUGLAS TAUBE⁵**

¹ Graduada em Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, UEM – Universidade Eduardo Mondlane (Moçambique), Fone: (0xx45) 3240-8000, zuramiguel@gmail.com.

² Professor, Doutor, Coordenador, Departamento de Computação, UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira - PR.

³ Graduada em Ciência da Computação, UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira - PR.

⁴ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Professora, Departamento de Computação, UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena – PR.

⁵ Graduando em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistema, UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira - PR.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015
13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: A definição de unidades de manejo visa a utilização adaptativa dos conceitos de agricultura de precisão (AP) e divisão das áreas de produção em unidades menores, com características similares, que permitem que mesmo pequenos produtores utilizem a tecnologia de AP, fazendo uso de suas máquinas tradicionais, alterando as dosagens e formulações de insumos em cada unidade de manejo identificada. O presente trabalho teve como objetivo, definir unidades de manejo em uma área agrícola utilizando dados físicos e químicos do solo e a produtividade do milho fazendo uso do software SDUM. Em uma área de 19,8 ha, foram definidos 58 pontos amostrais, onde foram coletados dados de produtividade do milho, parâmetros químicos do solo (C, pH, H + Al, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn) coletados de 0-20 cm de profundidade e a resistência mecânica à penetração nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m e 0,3-0,4 m de profundidade. A divisão da área em duas unidades de manejo foi considerada adequada, pois a maioria dos atributos do solo e a produtividade apresentaram diferenças estatísticas entre as zonas. A metodologia utilizada permitiu a geração de unidades de manejo que podem servir como fonte de recomendação e análise do solo.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, Fuzzy C-Means, SDUM.

MANAGEMENT ZONES APPLIED TO CORN

ABSTRACT: The definition of management zones aims adaptive use of precision agriculture (PA) concepts and Division of production areas into smaller zones with similar characteristics, that allow even small producers to use the PA technology, making use of their traditional machines, changing the dosages and formulations inputs in each management zones identified. This study aimed to define management zones in an agricultural area using physical data and soil chemical and grain yield by making use of SDUM. In an area of 19.8

ha, were defined 58 sampling points, which were collected corn yield data, chemical soil parameters (C, pH H + Al, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn) collected from 0-20 cm depth and resistance soil penetration (in layers 0-0.1 m, 0.1-0.2 m, 0.2-0.3 m and 0.3-0.4 m deep). The division of the area in two management zones was considered appropriate because most soil properties and yield corn showed statistical differences between zones. The methodology used, allowed the generation of management zones that can serve as a source of recommendation and soil analysis.

KEYWORDS: precision agriculture, Fuzzy C-Means, SDUM

INTRODUÇÃO

O crescente avanço da informática, geoprocessamento, sistemas de posicionamento global, entre outras tecnologias, estão proporcionando uma visão e gerenciamento diferenciado das áreas produtoras, considerando as características específicas de solo, relevo, clima e culturas exploradas. Esta nova forma de pensar sobre como deve ser realizado o gerenciamento das lavouras é que se insere o conceito de Agricultura de Precisão (AP) (SANTI, 2007).

A AP compreende um conjunto de técnicas e metodologias que visam otimizar o manejo das culturas e a utilização dos insumos, proporcionando máxima eficiência econômica, com vista a reduzir os impactos ambientais decorrentes da atividade agrícola (MAPA, 2011). Trata-se de uma filosofia de gerenciamento agrícola que parte do levantamento de dados em campo, dos mais variados aspectos, que a partir de técnicas e metodologias de análise tornam-se informações precisas para gerenciar a lavoura de forma localizada, levando em conta o fato de que cada local da área pode apresentar necessidades distintas (ROZA, 2000).

Apesar das inúmeras vantagens, a AP ainda é pouco viável do ponto de vista financeiro, por necessitar de recursos avançados de maquinaria e tecnologias a estes incorporada. Neste sentido, a definição de unidades de manejo (UM) visa a utilização adaptativa dos conceitos de AP e dividir as áreas de produção em unidades menores, com características similares, diferenciando-se umas das outras. Estas divisões permitem que mesmo pequenos produtores utilizem a tecnologia de AP, fazendo uso de suas máquinas tradicionais, alterando as dosagens e formulações de insumos em cada unidade de manejo identificada (BAZZI et al., 2013).

Para definição das UM, são normalmente utilizados dados de produtividade, dados físicos e químicos do solo, condutividade elétrica, topografia e a combinação destes, além do uso de modelagem estatística de tais atributos (RODRIGUES JR. et al. 2011).

O objetivo deste trabalho foi definir UM em uma área agrícola utilizando dados físicos e químicos do solo e a produtividade do milho fazendo uso do software SDUM (Software para Definição de Unidades de Manejo). Após geradas, as UM foram avaliadas utilizando métodos estatísticos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área agrícola comercial de 19,8 ha, em Serranópolis do Iguaçu / PR / Brasil, com coordenadas geográficas 25 ° 26'49 " S e 54 ° 04'59 " e 280 m de altitude média. A delimitação da área e amostragem dos pontos foi realizada com o aparelho

GPS Trimble Geo Explorador XT 2005 e o software PathFinder.

Foram definidos cinquenta e oito pontos de amostragem (2,93 pontos ha⁻¹, equivalente a cerca de 2,2 pontos ha⁻¹ sugeridos por FRANZEN e PECK (1995), utilizando uma grade irregular, de 30 m de distância mínima e 497 m de distância máxima, onde foram coletadas amostras de solo em uma profundidade de 0-20 cm para avaliação de seus parâmetros químicos (C, pH, H+Al, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn), dados de produtividade do milho e a resistência mecânica à penetração (RMP) nas camadas 0-0,1 m, 0,1-0,2 m, 0,2-0,3 m e de 0,3-0,4 m de profundidade, utilizando um penetrômetro Falker. A grade irregular foi criada considerando as linhas de plantio.

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise exploratória, considerando as medidas de posição, distribuição e forma. Após avaliação estatística exploratória, os dados foram importados para o software SDUM, sendo construída a matriz de correlação espacial visando a identificação da correlação espacial entre os atributos (BONHAM et al., 1995) e também a auto correlação (Equação 1).

$$I_{YZ} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} * Y_i * Z_j}{W \sqrt{m_Y^2 * m_Z^2}} \quad (1)$$

Em que:

I_{YZ} - Corresponde ao nível de associação entre a variável Y e Z, variando de -1 a 1, sendo: correlação positiva $I_{YZ} > 0$ e correlação negativa $I_{YZ} < 0$; W_{ij} - corresponde ao elemento ij matriz de associação espacial, sendo calculado por $W_{ij} = (1/(1 + D_{ij}))$, sendo D_{ij} a distância entre os pontos i e j ; Y_i - Corresponde ao valor da variável Y transformada no ponto i . A transformação se dá para se ter uma média zero, pela fórmula: $Y_i = (Y_i - \bar{Y})$, em que \bar{Y} é a média amostral da variável Y; Z_j - Corresponde ao valor da variável Z transformada no ponto j . A transformação se dá para se ter uma média zero, pela fórmula: $Z_j = (Z_j - \bar{Z})$, em que \bar{Z} é a média amostral da variável Z. W - Corresponde a soma dos graus de associação espacial, obtidos através da Matriz W_{ij} , para $i \neq j$. m_Y^2 - Corresponde a variância amostral da variável Y. m_Z^2 - Corresponde a variância amostral da variável Z.

Considerando a matriz de correlação espacial, foram definidos os atributos utilizados para geração das unidades de manejo, seguindo o seguinte procedimento:

1. Eliminou-se todas as layers que não apresentaram auto correlação espacial;
2. Eliminou-se todas as layers que não apresentaram correlação espacial com a produtividade;
3. Ordenou-se os atributos em relação ao valor absoluto do nível de correlação apresentado com a produtividade em ordem decrescente para as variáveis correlacionadas;
4. Em caso onde dois atributos apresentaram correlação espacial, aquele com menor nível de correlação espacial com a produtividade foi eliminado.

Selecionados os atributos, foram gerados seus respectivos mapas temáticos utilizando o software SDUM com o interpolador inverso da distância, com parâmetros de pixel com 5x5 m e 8 vizinhos próximos para estimação dos valores em locais não amostrados. Visando avaliar se a layer produtividade é influente para a geração de UM, foram também geradas UM considerando esta layer.

Dividiu-se a área em duas, três e em quatro zonas de manejo, como não foi obtido resultados satisfatórios entre as quatro zonas de manejo com os atributos estudados, foram apresentados os resultados obtidos apenas da divisão da área em duas e três zonas de manejo.

Para geração das unidades de manejo foram utilizados os mapas temáticos das layers selecionadas, sendo utilizado o método de agrupamento Fuzzy C-Means. Para avaliação das unidades de manejo foram utilizados todos os conjuntos de dados amostrais, sendo avaliadas as estatísticas de eficiência relativa (ER – Equação 2) e os testes de comparação de médias (ANOVA).

$$ER = \frac{S_{AREA}^2}{S_{MZ}^2} \quad (2)$$

Em que: S_{MZ}^2 é a soma da variância da produtividade de cada unidade de manejo, calculada separadamente, considerando a proporção do total da área que a unidade de manejo representa; S_{AREA}^2 - variância da produtividade referente a toda a área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da estatística descritiva dos atributos do solo e da produtividade do milho. Observa-se que o CV variou de baixo a muito alto, sendo que o único atributo que apresentou CV considerado baixo foi o pH, revelando uma homogeneidade nos dados. O Fe e a resistência à penetração de 0-0,1m apresentaram CV alto, o P, K e o Zn apresentaram CV muito alto, relevando uma heterogeneidade dos dados. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos por BAZZI (2011), para os atributos P, K e Zn.

Dos vários atributos, apenas Cu, P, K, Zn e a produtividade do milho não seguiram uma distribuição normal segundo o teste de normalidade de Ryan-Joiner à 5% de significância, tendo apresentado assimetria positiva e curtose platicúrtica, com exceção do P que apresentou uma assimetria negativa.

Tabela 1. Estatística descritiva dos atributos do solo e produtividade do milho.

Variável	Min.	Média	Me.	Max.	D. P.	C.V.	AS	Curtose	N*
Ca (cmolc dm ⁻³)	4,71	6,21	6,19	8,02	0,70	11,22 (m)	0,02 (a)	-0,13 (L)	
C (g dm ⁻³)	13,36	16,67	16,70	20,78	1,86	11,15 (m)	0,17 (b)	-0,93 (L)	
Cu (mg dm ⁻³)	7,20	9,37	9,30	16,50	1,51	16,14(m)	1,96 (a)	7,74 (P)	**
Fe (mg dm ⁻³)	14,00	25,33	25,00	43,00	6,12	24,14 (a)	0,60 (a)	0,14 (L)	
P (mg dm ⁻³)	6,70	20,48	17,70	57,30	10,41	50,80 (ma)	1,18 (b)	1,75 (P)	**
H + Al (cmolc dm ⁻³)	2,95	3,65	3,69	4,96	0,52	14,12 (m)	0,55 (a)	-0,07 (L)	
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,56	2,76	2,69	3,99	0,49	17,76 (m)	0,41 (b)	0,09 (L)	
Mn (mg dm ⁻³)	83,00	117,33	116,00	167,00	20,38	17,37 (m)	0,28 (b)	-0,67 (L)	
RPM média	3841,04	4874,11	4894,45	6114,97	538,82	11,05 (m)	0,20 (b)	-0,80 (L)	
RMP 0,0-0,10 m	2261,43	3987,58	3879,06	6171,68	922,66	23,14 (a)	0,58(b)	-0,09 (L)	
RMP 0,10-0,20 m	3566,55	5115,28	5217,74	6508,98	727,07	14,21 (m)	-0,1 (b)	-0,63 (L)	
RMP 0,20-0,30 m	3451,90	4752,63	4757,56	6089,07	636,43	13,39 (m)	0,21 (b)	-0,45 (L)	
RMP 0,30-0,40 m	4277,38	5640,94	5715,04	7491,50	675,23	11,97 (m)	0,50 (b)	0,57 (L)	
Ph	4,90	5,65	5,70	6,20	0,29	5,06 (b)	-0,2 (b)	-0,01 (L)	
K (cmolc dm ⁻³)	0,18	0,39	0,35	1,14	0,18	46,29 (ma)	2,32 (a)	6,34 (P)	**
Prod. (ton ha ⁻¹)	2,91	4,44	4,20	6,97	0,92	20,69 (a)	0,77 (a)	0,60 (P)	**
Umidade	10,18	13,22	12,93	17,58	1,81	13,69 (m)	0,40 (a)	-0,40 (L)	
Zn (mg dm ⁻³)	3,10	5,59	5,20	11,70	1,91	34,23 (ma)	1,32 (a)	1,71 (P)	**

Nota: Coeficiente de variação: baixo (b); médio (m); alto (a); muito alto (ma); assimétrica positiva (a); * Assimétrica negativa (b); simétrica (s); Curtose: Leptocúrtica (L); Mesocúrtica (M); Platicúrtica (P); **: não seguem uma distribuição normal com base no teste de normalidade de Ryan -Joiner (similar ao Shapiro Wilk).

Analisando a classificação dos atributos químicos do solo sugerida por COSTA & OLIVEIRA (2001) e as percentagens de cada atributo encontradas em cada faixa observa-se que 1,75% dos pontos amostrais foram classificados como baixo tanto para o C como para o Fe. Obtiveram classificação média o K, C, Zn, e o Fe com 1,75%, 92,98%, 84,21% e 96,45%

dos pontos amostrais respectivamente. O Ca, Mg, Cu e o Mn, obtiveram uma classificação alta em todos os pontos amostrais, o que pode ser justificado pelo pH do solo (média 5,65), que segundo MALAVOLTA (1981) favorece a disponibilidade destes. Os únicos atributos classificados como muito alto foram P e K, com percentagens de 92,98% e 57,89% respectivamente nesta faixa.

Na matriz de correlação espacial dos atributos do solo e da produtividade do milho (Figura 1) é possível observar que os atributos Cu, Ca, C, P, H+Al, Mg, Mn, RMP 0,2-0,3 m, RMP 0,3-0,4 m, média da RMP, K, pH, Umidade e Zn apresentaram-se correlacionados com a produtividade do milho. Já os atributos Fe e a RMP 0-0,1m e RMP 0,1-0,2 m não apresentaram correlação com a produtividade. Deve-se verificar que a correlação espacial ocorrida com Cu, Ca, P, H+Al, K e Umidade foi negativa em relação à produtividade do milho.

Foram selecionadas as layers Mg e RMP na camada 0,20-0,30 m para geração das unidades de manejo, considerando que foram atributos que se apresentaram auto correlacionados, correlacionados com a produtividade e não se correlacionaram entre si, seguindo-se o seguinte processo:

1. Retirou-se as layers Ca, C, Fe, P, H_AL, RMP nas camadas de 0-0,1 m e 0,3-0,4 m, pH e K, por não se apresentarem auto correlacionadas (Figura 1 - diagonal principal);
2. Retiraram-se as layers Fe e RMP na camada 0-0,1 m, devido à falta de correlação destas com a produtividade do milho;
3. Restaram então, como candidatas à geração das unidades de manejo as layers Cu, Mg, Mn, RMP na camada 0,3-0,4 m, Umidade e Zn, sendo estas ordenadas em ordem decrescente pelo valor absoluto do grau de correlação com a produtividade do milho;
4. Eliminaram-se as layers Cu, Mn, Umidade e Zn, as quais se apresentavam menos correlacionadas com a produtividade, mas se correlacionaram com Mg e RMP na camada 0,3-0,4 m.

Selecionadas as layers, foram gerados os mapas temáticos para Mg e RMP na camada 0,3-0,4 m e também referente a produtividade do milho. Utilizando o software SDUM, o algoritmo Fuzzy C-Means e os mapas temáticos gerados foram gerados as unidades de manejo, considerando 2, 3 e 4 classes, com e sem a adição da layer produtividade (Figuras 2 e 3).

Na avaliação das unidades de manejo, foi possível perceber que quando adicionada a layer produtividade, estas apresentaram melhores resultados, sendo que quando geradas 2 e 3 UM (Tabela 2), verificou-se diferença estatística significativa (ANOVA) quanto a produtividade do milho entre unidades de manejo e também redução da variância. Apesar de verificada a importância da layer produtividade para geração das UM, verificou-se que em todos os casos (com ou sem esta layer) houve redução da variância, indicando que a divisão foi válida, mas considerando a ANOVA, esta divisão apresentou pelo menos duas unidades de manejo com produtividade do milho igual nas divisões realizadas.

Na avaliação dos atributos físicos do solo em relação às divisões efetuadas (Tabela 3), verificou-se que diferente do que ocorreu na análise da produtividade do milho, quando houve a adição da layer produtividade, a eficiência relativa diminuiu para a média RMP, RMP 0,1-0,2 m, RMP 0,2-0,3 m e RMP 0,30-0,40 m. As divisões em duas e três zonas foram consideradas diferentes estatisticamente para a RMP 0,2-0,3 m, e a divisão em duas zonas foi considerada também significativa para RMP 0,3-0,4 m.

Correlação - Significância:0.05 ✕

PRODUTIVIDA...	0,01591 (NS)																		
COBRE	-0,06148 (*)	0,08454 (*)																	
CALCIO	0,03496 (*)	-0,03704 (NS)	-0,02418 (NS)																
CARBONO	0,02843 (*)	-0,05024 (*)	-0,00542 (NS)	0,00059 (NS)															
FERRO	-0,02112 (NS)	0,00892 (NS)	0,01192 (NS)	-0,006 (NS)	-0,01164 (NS)														
FÓSFORO	-0,02848 (*)	0,02093 (NS)	-0,0348 (*)	-0,0243 (*)	-0,0024 (NS)	-0,01346 (NS)													
H_AL	-0,04418 (*)	0,0453 (*)	0,0003 (NS)	-0,01403 (NS)	0,00611 (NS)	0,02257 (NS)	0,0101 (NS)												
MAGNESIO	0,09037 (*)	-0,15173 (*)	0,05284 (*)	0,07116 (*)	-0,02157 (NS)	-0,02604 (NS)	-0,06884 (*)	0,18754 (*)											
MANGANES	0,05331 (*)	-0,07281 (*)	0,01362 (NS)	0,01615 (NS)	-0,00334 (NS)	-0,0366 (*)	-0,0252 (NS)	0,08756 (*)	0,03784 (*)										
MÉDIA_PENETR...	0,03076 (*)	-0,00571 (NS)	-0,002 (NS)	-0,00294 (NS)	0,0068 (NS)	0,00023 (NS)	-0,00091 (NS)	-0,00027 (NS)	0,0072 (NS)	-0,0499 (*)									
PENETRAÇÃO_1_	0,01841 (NS)	0,0059 (NS)	-0,00802 (NS)	0,006 (NS)	-0,0079 (NS)	0,02175 (*)	0,00411 (NS)	-0,01491 (NS)	-0,00322 (NS)	-0,0296 (*)	-0,00937 (NS)								
PENETRAÇÃO_2_	0,00415 (NS)	0,0364 (*)	-0,0121 (NS)	-0,00864 (NS)	0,00229 (NS)	0,00658 (NS)	0,02603 (*)	-0,05156 (*)	-0,02401 (NS)	-0,04344 (*)	-0,02532 (*)	-0,02729 (*)							
PENETRAÇÃO_3_	0,027 (*)	-0,02175 (NS)	0,00167 (NS)	-0,00564 (NS)	0,01747 (NS)	-0,01336 (NS)	-0,00619 (NS)	0,02094 (NS)	0,01715 (NS)	-0,04314 (*)	-0,03159 (*)	-0,03582 (*)	-0,04066 (*)						
PENETRAÇÃO_4_	0,04185 (*)	-0,04388 (*)	0,01579 (NS)	-0,00304 (NS)	0,01334 (NS)	-0,02329 (*)	-0,03001 (*)	0,05407 (*)	0,03617 (*)	-0,03025 (*)	-0,02161 (*)	-0,04339 (*)	-0,01965 (*)	-0,0015 (NS)					
POTÁSSIO	-0,03663 (*)	0,07858 (*)	-0,05855 (*)	-0,06053 (*)	0,01414 (NS)	-0,01727 (NS)	0,04366 (*)	-0,09354 (*)	-0,05146 (*)	0,0116 (NS)	0,02466 (NS)	0,02773 (*)	-0,00762 (NS)	-0,01919 (NS)	0,00946 (NS)				
PH	0,05584 (*)	-0,07319 (*)	0,01131 (NS)	0,029 (NS)	-0,01066 (NS)	-0,02454 (NS)	-0,01853 (NS)	0,09846 (*)	0,03617 (*)	-0,00061 (NS)	-0,00671 (NS)	-0,0293 (*)	0,00525 (NS)	0,03313 (*)	-0,05602 (*)	0,03058 (NS)			
ZINCO	0,04999 (*)	-0,085 (*)	0,01652 (NS)	0,02585 (NS)	-0,02082 (NS)	-0,03297 (*)	-0,04021 (*)	0,1137 (*)	0,04153 (*)	0,00045 (NS)	0,00569 (NS)	-0,02537 (NS)	0,00104 (NS)	0,01936 (NS)	-0,07605 (*)	0,05844 (*)	0,03559 (*)		
UMIDADE	-0,04945 (*)	0,10954 (*)	-0,02989 (NS)	-0,03595 (*)	-0,00556 (NS)	0,01474 (NS)	0,05042 (*)	-0,14005 (*)	-0,05926 (*)	-0,00677 (NS)	0,00116 (NS)	0,04752 (*)	-0,02228 (NS)	-0,05195 (*)	0,0736 (*)	-0,0716 (*)	-0,07854 (*)	0,12355 (*)	
	PRODUTIVIDA...	COBRE	CALCIO	CARBONO	FERRO	FÓSFORO	H_AL	MAGNESIO	MANGANES	MÉDIA_PENETR...	PENETRAÇÃO_1_	PENETRAÇÃO_2_	PENETRAÇÃO_3_	PENETRAÇÃO_4_	POTÁSSIO	PH	ZINCO	UMIDADE	

(*) Significativo (NS) Não Significativo

Figura 1. Matriz de correlação cruzada dos atributos do solo e produtividade do milho.

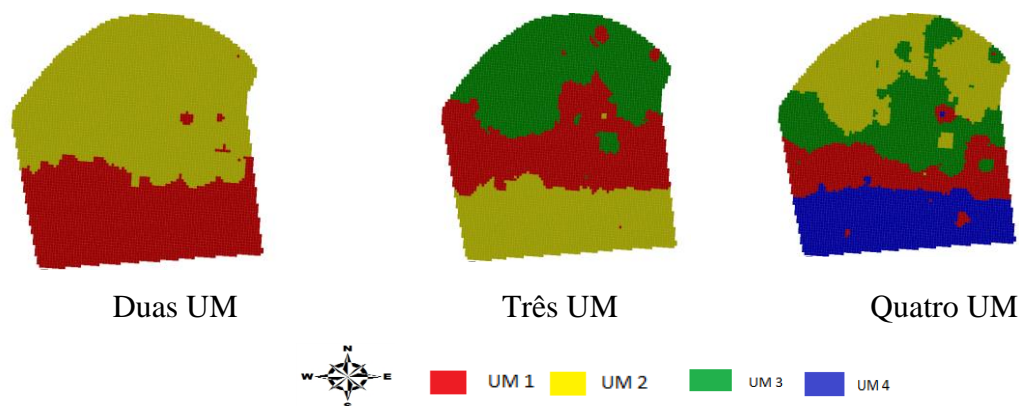


Figura 2. Unidades de manejo geradas usando os atributos Mg, RMP 0,2-0,3 m e Produtividade do milho.

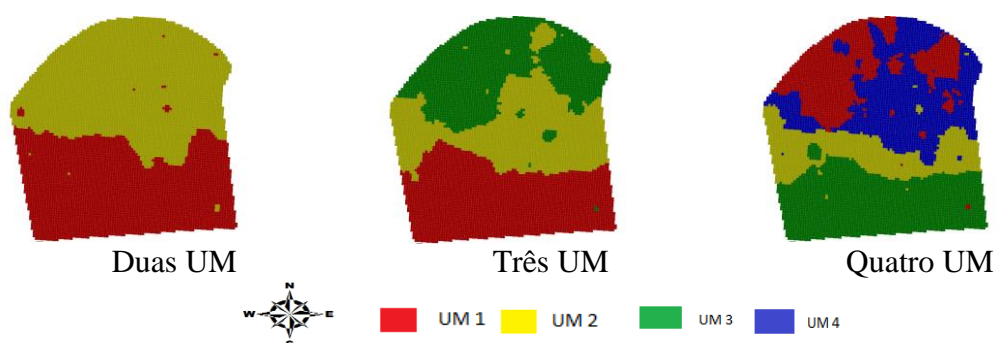


Figura 3. Unidades de manejo geradas usando os atributos Mg, e RMP 0,2-0,3 m.

Tabela 2. Estatísticas descritivas dos dados de produtividade do milho separados por unidades de manejo geradas pelo algoritmo Fuzzy.

Atributo	Magnésio + RMP (0,20-0,30 m)						Magnésio + RMP (0,20-0,30 m) + Prod. Milho						
	Min	Média	Max	DP	CV	ER	Min	Média	Max	DP	CV	ER	
Produtividade do milho	1	3,01	4,61 a	6,97	1,05	23	1,02	3,56	4,93 a	6,97	0,1	20	1,23
	2	2,91	4,29 a	6,212	0,78	18		2,91	4,10 b	5,39	0,70	17	
	1	3,56	4,99 a	6,97	1,04	21	1,11	3,01	3,86 a	4,62	0,48	23	
2	3,012	4,03 b	5,88	0,73	18	3,56		5,33 b	6,97	0,99	98	1,55	
3	2,91	4,40 ab	6,21	0,81	18	2,91		4,29 c	5,39	0,71	50		

Quanto aos atributos químicos (macro nutrientes) do solo (Tabela 4), a eficiência relativa foi menor na divisão com adição da layer produtividade para P e K e maior para o Ca e C. Pela ANOVA, as divisões em duas e três zonas foram consideradas diferentes para Mg e em duas zonas somente para o Ca, C e K.

Na avaliação dos micronutrientes do solo (Tabela 5), por meio da ANOVA, as divisões em duas zonas foram consideradas diferentes para o Cu, Zn e Mn, sendo que para este último a divisão em três zonas também mostrou diferenças significativas.

Tabela 3. Estatística descritiva (geradas pelo alg. Fuzzy) dos atributos físicos do solo por UM

Atributo	Min	Magnésio + RMP (0,20-0,30 m)					Magnésio + RMP (0,20-0,30 m) + Prod. do milho						
		Média	Max	DP	CV	ER	Min	Média	Max	DP	CV	ER	
Média RMP	1	4178,78	5012,33 a	6114,97	548,01	11	0,98	3841,04	4851,21 a	6114,97	579,83	12	0,98
	2	3841,04	4753,72 a	5647,86	509,10	11		4111,33	4889,15 a	6033,54	518,26	11	
	3	3841,04	4605,04 b	5455,03	460,37	10		4111,33	4743,34 b	5516,59	472,70	10	
RMP 0,0-0,1 m	1	2261,43	3981,72 b	6171,68	1016,76	26	0,98	2261,425	3922,37 b	6171,68	1106,58	28	0,98
	2	2753,13	3992,69 b	5963,18	849,37	21		2753,13	4030,43 b	5963,18	793,77	20	
	3	2753,13	3981,1 a	4989,78	689,74	17	0,88	2261,43	3892,8 a	6171,68	1146,35	29	0,94
RMP 0,1-0,2 m	1	3629,46	5093,90 a	6508,98	708,89	14	0,98	3629,46	4957,43 a	6508,98	761,90	15	1,01
	2	3566,55	5133,90 a	6388,70	153,73	15		3566,55	5219,01 a	6388,7	694,76	13	
	3	3566,55	4952,78 a	6102,55	742,14	15	1,11	3629,46	5303,23 a	6508,98	602,43	11	1,02
RMP 0,2-0,3 m	1	4038,08	5079,04 a	6089,07	576,70	11	1,28	3451,9	4769,88 b	6,89,07	586,19	12	0,98
	2	3451,9	4468,34 b	5419,38	549,49	12		3524,55	4741,29 b	6086,88	675,55	14	
	3	3451,9	42010,70 c	5111,48	421,72	10	2,04	3451,9	4707,56 b	6089,07	621,37	13	1,47
RPM 0,3-0,4 m	1	4820,13	5894,65 a	7491,5	714,27	12	1,12	4820,13	5755,17 a	7377,53	635,52	11	1,00
	2	4277,38	5419,96 b	6379,23	561,90	10		4277,38	5565,86 a	7491,50	698,85	13	
	3	4277,38	5243,71 b	6266,63	556,32	11	1,17	4820,13	5814,12 a	7377,53	752,83	13	1,07
Umidade	1	10,18	12,60 a	17,38	1,68	13	1,10	10,18	12,24 a	15,7	1,35	11	1,22
	2	10,58	13,77 b	17,58	1,77	13		10,58	13,87 b	17,58	1,80	13	
	3	10,18	12,07 a	15,7	1,53	13	1,18	10,78	13,37 a	17,38	1,61	12	1,18

Tabela 4. Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo (macro nutrientes) separados por unidades de manejo geradas pelo algoritmo Fuzzy.

Atributo	Min	Magnésio + RMP (0,20-0,30 m)					Magnésio + RMP (0,20-0,30 m) + Prod. Milho						
		Média	Max	DP	CV	ER	Min	Média	Max	DP	CV	ER	
Fósforo	1	6,7	18,29 a	36,6	7,66	42	1,02	8,1	20,47 a	57,3	11,03	54	0,98
	2	6,7	22,46 a	57,3	12,17	54		6,7	20,49 a	46,2	10,13	49	
	3	6,7	23,48 a	57,3	12,98	55	1,07	6,7	22,32 a	46,2	10,84	49	1,02
Potássio	1	0,18	0,34 a	0,71	0,13	39	1,05	0,18	0,35 a	0,91	0,18	50	1,00
	2	0,24	0,43 b	1,14	0,20	47		0,24	0,41 a	1,14	0,18	44	
	3	0,18	0,31 a	0,71	0,13	41	1,11	0,25	0,38 a	0,87	0,16	43	0,97
Magnésio	1	2,43	3,12 a	3,99	0,43	14	1,86	2,73	3,23 a	3,99	0,36	11	2,64
	2	1,56	2,45 b	2,94	0,29	12		1,56	2,45 b	2,83	0,26	11	
	3	1,59	2,43 c	2,94	0,32	13	2,67	2,73	3,35 b	3,99	0,37	11	2,44
Cálcio	1	5,32	6,44 a	8,02	0,61	10	1,09	5,94	6,63 a	8,02	0,53	08	1,31
	2	4,71	6,00 b	7,38	0,71	12		4,71	5,92 b	7,28	0,66	11	
	3	5,94	6,57 a	7,24	0,46	07	1,22	5,32	6,24 a	8,02	0,67	11	1,27
Carbono	1	14,1	16,99 a	20,04	1,69	10	1,01	14,1	17,29 a	20,04	1,58	09	1,06
	2	13,36	16,39 a	20,78	1,98	12		13,36	16,25 b	20,78	1,94	12	
	3	14,1	16,61 ab	20,04	1,81	11	1,10	14,1	16,59 ab	20,04	1,91	12	1,10

Tabela 5. Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo (micronutrientes) separados por unidades de manejo geradas pelo algoritmo Fuzzy.

Atributo	Magnésio + RMP (0,20-0,30 m)						Magnésio + RMP (0,20-0,30 m)+ Prod. Milho						
	Min	Média	Max	DP	CV	ER	Min	Média	Max	DP	CV	ER	
Cobre	1	7,2	8,94 a	16,5	1,91	21	1,07	7,2	8,56 a	10,5	0,99	12	1,22
	2	8,3	9,75 b	11,5	0,92	09		8,3	9,9 b	16,5	1,57	16	
	1	7,2	8,35 a	9,8	0,83	10	7,3	9,41 ab	16,5	2,09	22		
Ferro	2	7,3	9,69 b	16,5	2,03	21	1,25	7,2	8,36 a	10,5	0,94	11	1,12
	3	8,3	9,85 b	11,5	0,89	09	8,3	9,97 b	11,5	0,87	09		
	1	14	23,93 a	37	5,38	22	1,03	14	24,83 a	43	6,47	26	0,99
2	17	26,60 a	43	6,54	24	17		25,68 a	39	5,94	23		
Zinco	1	18	23,63 a	32	4,77	20	1,09	14	25,22 a	37	6,26	25	1,05
	2	14	24,3 ab	39	6,90	28		18	23,2 a	33	4,72	20	
	3	19	27,62 b	43	5,79	21	17	26,75 a	43	6,59	25		
Manganês	1	3,6	6,22 a	11,7	1,92	31	1,09	3,6	6,64 a	11,70	2,13	32	1,25
	2	3,1	5,02 b	10,6	1,75	35		3,1	4,87 b	9,8	1,37	28	
	1	5,1	6,99 a	11,7	1,99	28	4	5,45 a	8,1	1,15	21		
Manganês	2	3,6	5,14 b	7,2	1,03	20	1,20	3,6	7,11 b	11,7	2,36	33	1,25
	3	3,1	4,95 b	10,6	2,02	10	3,1	4,74 a	9,8	1,50	32		
	1	88	127,96 a	167	19,07	15	1,31	106	132,74 a	167	15,22	11	1,62
2	83	107,77 b	145	16,03	15	83		106,91 b	145	16,53	15		
Manganês	1	106	134,5 a	167	16,39	12	88	119,06 a	151	19,11	16		
	2	88	115 b	151	18,85	16	1,41	106	133,93 b	167	16,96	13	1,39
	3	83	106,48 b	145	16,10	15	83	105,67 c	145	15,57	15		

Na Tabela 6 é apresentada as estatísticas descritivas dos dados de H+Al e do pH. A eficiência relativa foi satisfatória (ER>1) para os dois atributos, em todas as divisões efetuadas, mas quando se comparam os dados de H+Al e do pH por meio ANOVA, somente as divisões em duas zonas foram consideradas diferentes para ambos atributos.

Tabela 6. Estatísticas descritivas dos atributos químicos do solo separados por unidades de manejo geradas pelo algoritmo Fuzzy.

Atributo	Magnésio + RMP (0,20-0,30 m)						Magnésio + RMP (0,20-0,30 m)+ Prod. Milho						
	Min	Média	Max	DP	CV	ER	Min	Média	Max	DP	CV	ER	
H+Al	1	2,95	3,37 a	3,97	0,36	11	1,35	2,95	3,30 a	3,97	0,33	10	1,44
	2	3,18	3,91 b	4,96	0,50	13		3,18	3,89 b	4,96	0,48	18	
	1	2,95	3,22 a	3,97	0,34	10	2,95	3,72 a	4,28	0,37	10		
pH	2	2,95	3,69 b	4,28	0,39	11	1,48	2,95	3,17 b	3,69	0,28	09	1,55
	3	3,18	3,93 b	4,96	0,53	13	3,18	3,90 a	4,96	0,53	14		
	1	5,4	5,82 a	6,2	0,23	04	1,45	5,6	5,87 a	6,2	0,20	03	1,66
2	4,9	5,50 b	5,9	0,24	04	4,9		5,5 b	5,5	0,24	04		
pH	1	5,6	5,93 a	6,2	0,20	03	5,3	5,6	6,0 a	0,19	03		
	2	5,3	5,63 b	6	0,20	04	1,73	5,7	5,94	6,2 b	0,20	04	1,73
	3	4,9	5,46 c	5,8	0,25	05	4,9	5,49	5,9 a	0,26	07		

Observa-se que quando houve a inclusão da layer produtividade na definição das unidades de manejo usando os atributos Mg e RMP 0,20-0,30 m a divisão em duas zonas de manejo foram consideradas estatisticamente diferentes para os atributos Mg, Ca, H + Al, Cu, Mn, RMP 0,20-0,30 m, RMP 0,30-0,40 m, K, pH e umidade. A divisão em três zonas de manejo mostrou diferenças estatísticas somente para o Mg, RMP 0,30- 0,40 m e pH. O único atributo que mostrou diferenças estatísticas ao dividir a área em 4 zonas de manejo foi o Mg.

Com adição da layer produtividade do milho, a divisão em duas zonas de manejo apresentou diferenças estatísticas para a produtividade e para os atributos Mg, Ca, C, H+Al, Cu, Mn, RMP média, pH, Zn e umidade. A divisão em três zonas de manejo mostrou diferenças estatísticas para a produtividade, Mg e Mn. Fazendo a divisão em quatro zonas de

manejo, não foi possível obter diferenças entre as quatro zonas com os atributos estudados, não sendo, portanto satisfatória para recomendação neste caso.

CONCLUSÕES

A metodologia utilizada permitiu a geração de unidades de manejo que podem servir como fonte de recomendação e análise do solo;

O SDUM (Software para Definição das Unidades de Manejo) permitiu a geração e avaliação das zonas de manejos de forma rápida e simples.

A inclusão da layer produtividade na geração de unidades de manejo mostrou bons resultados, pois foi possível identificar zonas com potencial produtivo diferentes, o que não ocorreu na geração das unidades sem esta layer.

A eficiência relativa mostrou redução da variância para vários atributos, apesar da ANOVA não ter mostrado diferenças significativas em alguns casos. Houveram algumas exceções em que para os atributos P, K, Fe e RMP (0-0,1 m) não houve redução da variância quando incluída a layer produtividade.

A divisão da área em duas unidades de manejo foi considerada adequada pois a maioria dos atributos do solo e a produtividade apresentaram diferenças estatísticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Ministério da Ciência e Tecnologia de Moçambique, à Universidade Eduardo Mondlane, à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

REFERÊNCIAS

- BAZZI, C. L. **Software para definição e avaliação de unidades de manejo em agricultura de precisão**. Cascavel-Paraná, 2011.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; NÓBREGA, L. H.; ROCHA, D.M. Management zones definition using soil chemical and physical attributes in a soybean area. **Revista Engenharia Agrícola**, v.34, n.5, p.952-964, set-out, 2013.
- BONHAM, C. D.; REICH, R. M.; LEADER, K. K. Spatial cross-correlation of *Bouteloua gracilis* with site factor, **Grassland Science**, v.41, n.3, p.196-201, 1995.
- COSTA, J. M.; OLIVEIRA, E. F. **Fertilidade do solo e nutrição de plantas: culturas: soja-milho-rigo-algodão-feijão**. 2 ed. Campo Mourão: COAMO, Cascavel: COODETEC, 2001.
- MALAVOLTA E. **Manual da química agrícola adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo: Ceres. 1981.
- RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.778-787, 2011.
- ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n.11, jan-fev, 2000.
- SANTI, A.L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. Santa Maria, 2007.