

## DETERMINAÇÃO DE ZONAS DE MANEJO PARA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM LAVOURA DE TOMATE INDUSTRIAL \*

Jacqueline de Souza Reis<sup>1</sup>, Sueli Martins de Freitas Alves<sup>2</sup>, João Asmar Junior<sup>3</sup>, Alan Amorin  
Pessoa<sup>3</sup>, Rafael Rabelo Silva<sup>3</sup>

**Resumo:** A cultura de tomate para processamento industrial é muito exigente ao teor de nitrogênio em relação a outras hortaliças e a avaliação periódica do estado nutricional do tomateiro pode auxiliar no manejo da adubação nitrogenada. Este trabalho teve por objetivo definir zonas de manejo para adubação nitrogenada na cultura de tomate industrial com base na variabilidade espacial do índice foliar SPAD obtido por meio de medidores portáteis. O experimento foi realizado em uma área cultivada com tomate industrial e irrigada por pivô central, no município de Morrinhos (GO). Os dados foram coletados em uma área de 23 ha e em uma grade amostral com espaçamento de 50 x 50 m, totalizando 120 pontos amostrais, os quais foram georreferenciados. As variáveis analisadas para cada ponto amostral foram: índice SPAD (obtido a partir de medidor portátil), N foliar, K foliar, P foliar e produtividade. Os dados foram submetidos à análise descritiva e para caracterizar a variabilidade espacial utilizaram-se métodos geoestatísticos. Para delimitação das zonas de manejo a partir dos mapas de variabilidade interpolados foi utilizado o algoritmo *fuzzy K-means* e para definição do número ótimo de classes foi determinado o índice de performance fuzzy e entropia da partição modificada. As variáveis utilizadas para a definição das zonas de manejo foram os índices SPAD 1 e SPAD 4, que representam a leitura foliar aos 43 dias e aos 56 dias após o transplante, respectivamente. Os resultados na classificação permitiram definir duas zonas de manejo, as quais apresentaram um valor médio para o índice SPAD 1 de 58,9 e 56,2 para as zonas de manejo um e dois, respectivamente. Foram detectadas diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) para as médias da produtividade do tomate industrial entre as zonas de manejo adotadas.

---

\* Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor.

<sup>1</sup>Engenheira Agrônoma, Mestre em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Goiás – UEG Anápolis.

<sup>2</sup>Engenheira Agrônoma, Prof<sup>a</sup> Doutora, Universidade Estadual de Goiás – UnUCET - Anápolis-GO – EMAIL – Suelifreitas@ueg.br

<sup>3</sup>Discente do curso de Graduação em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Goiás - UEG

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatística; Agricultura de precisão; Teste de kappa; Algoritmo fuzzy k-means.

## **DETERMINATION OF MANAGEMENT ZONES FOR NITROGEN FERTILIZER IN THE INDUSTRY TOMATO CROP**

**Abstract:** The crop of processing tomatoes is very demanding in nitrogen and periodic assessment of the nutritional status of tomato can help in fertilization practices. This study aimed to define management zones for nitrogen fertilization on crop processing tomato based on spatial variability of leaf SPAD index obtained by portable meters. The experiment was conducted in an area cultivated with tomato industrial and irrigated by center pivot, in the municipality of Morrinhos (GO). Data were collected in an area of 23 ha and a sampling grid with spacing of 50x50 m, totaling 120 sampling points, which were georeferenced. The variables analyzed for each sample point were: SPAD index (obtained from portable meter), foliar N, P and K foliar leaf productivity. Data were analyzed descriptively and to characterize the spatial geostatistical methods were used. For delineation of management zones from the interpolated maps of variability we used the K-means algorithm Fuzzy and to define the optimal number of classes was determined Fuzzy performance index and the modified partition entropy. Variables used for defining the management zones were the ratios SPAD 1 and 4, which represent the reading leaf at 43 days and 56 days after transplantation, respectively. The results allowed the classification set two management zones, which had an average value for the first SPAD index of 58.9 and 56.2 for the management zones one and two, respectively. There were significant differences ( $p \leq 0.05$ ) to the average productivity of industrial tomatoes between management zones adopted.

**KEY-WORDS:** Geostatistics; Precision Agriculture; Kappa test; Fuzzy k-means algorithm.

### **INTRODUÇÃO**

A produção agrícola de tomate no Brasil concentra-se nas regiões sudeste e centro-oeste, sendo que Goiás destaca-se como sendo o maior produtor nacional,

principalmente de tomate para processamento industrial. De acordo com dados do SEPIN (2013) a produção de tomate para processamento desde o ano

2000 até 2012 para o estado de Goiás foi relativamente crescente, passando de 589.130 megagrama no ano de 2000 para 1.072.146 megagrama em 2012.

O forte crescimento da produção e da produtividade de tomate em Goiás está diretamente relacionado à expansão da indústria processadora desse produto no estado. A cultura de tomate para processamento industrial é muito exigente em nitrogênio e a avaliação periódica do estado nutricional do tomateiro pode auxiliar no manejo da adubação nitrogenada, uma vez que estudos apontam que as concentrações de clorofila na folha estão diretamente ligadas às doses de N no solo (GUIMARÃES, 1998; GUIMARÃES et al., 1999; ARGENTA et al., 2001; FERREIRA et al., 2006; FONTES; ARAUJO, 2007).

As concentrações de N na planta podem, em geral, serem obtidas através de métodos analíticos em condições de laboratório. Entretanto, esta técnica mostra-se desvantajosa, visto que é demorada e de alto custo, além de proporcionar a destruição do material vegetal. A utilização de medidores portáteis, SPAD (Soil-Plant Analysis Development), é cada vez mais comum e demonstra a facilidade de utilização deste tipo de equipamento em campo para as determinações do estado nutricional nitrogenado da planta (GUIMARÃES et al., 1999). Segundo

Blackmer e Schepers (1995) o medidor portátil surge como uma ferramenta importante na determinação de N nas plantas, e conseqüentemente maior eficiência no uso de adubos nitrogenados e maior resposta das culturas.

A determinação periódica do estado nutricional do tomateiro pode auxiliar no manejo da adubação nitrogenada, uma vez que as concentrações de clorofila na folha estão diretamente ligadas às doses de N no solo (GUIMARÃES et al., 1999).

Para a utilização do medidor de clorofila deve-se considerar fatores climáticos e características genotípicas da planta, além de época de avaliação, parte da folha a ser avaliada e o horário de determinação. A época de determinação do índice SPAD deve ser definida de acordo com a frequência de aplicação da adubação nitrogenada, tanto para a adubação realizada via solo, quanto para a fertirrigação. Em geral o estado nutricional nitrogenado da planta está relacionado ao teor de clorofila das folhas, desde que outros nutrientes como magnésio, enxofre e ferro estejam em quantidades suficientes (FONTES; ARAUJO, 2007).

A amostragem foliar com o medidor SPAD no tomateiro deve ser realizada na folha mais jovem, completamente desenvolvida, e adjacente ao primeiro cacho no período de florescimento, mesmo nos casos em que a planta apresentar dois

caules e as leituras devem ser realizadas de acordo com Guimarães (1998).

A adoção de técnicas de agricultura de precisão e o conhecimento da variabilidade da produção das culturas tem sido estudado há vários anos. Apesar dos altos custos iniciais de implantação do sistema de agricultura de precisão, verifica-se que é uma tendência a evolução da tecnologia no campo e a redução gradual dos custos, o que garantirá a viabilidade técnica e econômica da utilização deste tipo de sistema (SILVA et al., 2004).

Entender como a distribuição espacial desses atributos funciona é importante para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas, não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de possíveis danos ambientais. O uso da geoestatística permite que a estrutura da dependência espacial seja modelada e visualizada espacialmente (MENDES et al., 2008). A tecnologia essencial à agricultura de precisão baseia-se na coleta de informações sobre atributos químicos e físicos dos solos, condições da cultura, do terreno e da produtividade, associando-as a sua localização, as quais podem ser expressas na forma de mapas digitais (REIS, 2006).

A agricultura de precisão é um sistema de manejo agrícola que reconhece

a existência da variabilidade no campo, onde a aplicação de fertilizantes e pesticidas é diferenciada entre zonas de manejo, áreas consideradas homogêneas que recebem o mesmo tratamento em toda sua extensão (CORÁ et al., 2004). Trata-se de um gerenciamento agrícola em que parte do registro georreferenciado de informações de solo e de culturas se completam com intervenções de manejo localizado (AMADO; SANTI, 2007).

Os recentes avanços tecnológicos em sensores portáteis, para as medições das características de solo em escala de campo e em tempo real, têm atraído a atenção da pesquisa, na busca pela implementação bem sucedida da agricultura de precisão.

Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi definir zonas de manejo para adubação nitrogenada na cultura de tomate industrial, com base na variabilidade espacial do índice foliar SPAD obtido por meio de medidores portáteis.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi realizado na Fazenda Palmital, numa área irrigada por pivô central, localizada no município de Morrinhos, GO, com altitude de 813 m, latitude 17°45'S e longitude 49°10'W. A área apresenta LATOSSOLO VERMELHO ESCURO, com textura franco argilo arenosa. O plantio foi

realizado nos dias 03 a 19 de março de 2011, em uma área de 36 hectares, em sistema de plantio direto em sucessão às culturas de milho doce e feijão. O plantio do tomate industrial foi realizado sobre a palhada de milho.

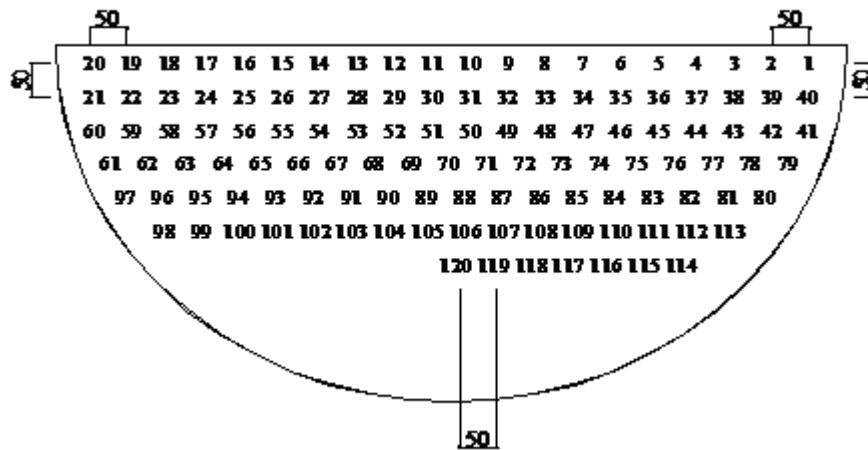
Os dados foram coletados em um talhão de 23 hectares em uma grade amostral de 50 x 50 m, totalizando 120 pontos amostrais (Figura 1). Cada ponto amostral foi georreferenciado com o um aparelho de GPS (Sistema de Posicionamento Global) Garmin modelo Etrex Legend RoHs, com precisão de 7 metros e com o datum ajustado ao sistema SAD 69.

A determinação do teor de clorofila foi realizada antes e depois da adubação nitrogenada, totalizando 4 coletas, através de um medidor eletrônico da Falker CFL1030 e da coleta de amostras foliares para a análise laboratorial de N, P e K. As amostras foliares foram coletadas na mesma ocasião das medições com SPAD (FONTES; ARAUJO, 2007), e armazenadas em embalagens de papel, identificadas e transportadas até o Laboratório de Química Orgânica da Unidade Universitária de Ciências

Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás para análise, conforme determinação da Embrapa (2009).

Os valores do índice SPAD e as análises foliares laboratoriais, para a determinação do teor de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), foram realizados em duas fases distintas, sendo antes e após a adubação nitrogenada. Para a coleta de dados, do clorofilômetro, foram considerados fatores como a época de avaliação, parte da folha a ser avaliada e o horário de determinação.

A avaliação de produtividade foi realizada no período da colheita demarcando-se uma área de 1m<sup>2</sup> para cada ponto georreferenciado. Os frutos do tomateiro foram coletados e, armazenados em sacos plásticos identificados. Posteriormente foram pesados, em uma balança de precisão e classificados em três tipos: bons (frutos maduros sem lesão aparente, viáveis à indústria), verdes e estragados (frutos inviáveis à indústria) e pesados separadamente em cada classe (CARVALHO, 2010).



**Figura 1** - Grade de amostragem da área experimental, no município de Morrinhos (GO), Fazenda Palmital.

Por meio da análise geoestatística foi verificado para cada variável, entre os modelos de semivariogramas, aquele que melhor se ajustou ao modelo experimental (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). O melhor modelo foi escolhido tendo como critério a menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Para análise da dependência espacial foi calculado o índice de dependência espacial (IDE) definido por  $C1/(C0+C1)$ , em que C1 representa a variância estrutural e  $C0+C1$  representa o patamar. Para classificação deste índice foi utilizado o critério definido por Zimback (2003), em que a dependência espacial é considerada fraca para valores até 25%, moderada entre 25% e 75%, e forte acima de 75%.

Para cada variável, quando verificada a dependência espacial, foi utilizada a krigagem como técnica de interpolação. A

krigagem é uma técnica usada na geoestatística para estimar valores para locais não amostrados, considerando os parâmetros do semivariograma, que resulta em valores sem tendência e com variância mínima (SILVA et al., 2008).

As análises para determinação das zonas de manejo foram realizadas de acordo com a metodologia de Valente (2010) e foi utilizado o Sistema de Apoio à Decisão. Este sistema foi estruturado com formulários específicos para ajuste de semivariogramas, interpolação dos mapas por krigagem e determinação das zonas de manejo utilizando os algoritmos fuzzy e k-means. As variáveis utilizadas para a definição das zonas de manejo foram o índice SPAD 1 (43 DAP –antes da adubação nitrogenada) e SPAD 4 (56 DAP – após a última adubação nitrogenada ). A quantidade ótima de classes foi determinada pelo valor de dois índices:

índice de performance fuzzy (FPI) e entropia da classificação normalizada (NCE). O FPI é uma medida do grau de separação das diferentes classes e o NCE estima o grau de desorganização criado por um determinado número de classes. Os índices podem variar de 0 a 1, sendo que os valores mais próximos de zero indicam classes com poucas amostras e para valores próximos de 1 indicam classes não distintas com alto número de amostras de baixa adesão (VALENTE, 2010). Sendo que o número ótimo de classes ocorre quando os dois índices são mínimos (SONG et al., 2009).

Para a análise de concordância entre os mapas gerados pelas zonas de manejo e as propriedades do solo efetuou-se a tabulação cruzada entre os mapas com mesmo número de classes e os mapas de zonas de manejo, conforme metodologia apresentada por Kitchen et al. (2005).

Após a definição das zonas de manejo utilizou-se os dados originais de cada variável em estudo e foram calculadas as medidas descritivas como média e desvio-padrão para cada zona de manejo. Para verificar a existência de diferença significativa entre as médias foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a definição do número de classes para o estabelecimento das zonas de manejo foi utilizado o sistema de apoio a decisão desenvolvido por Valente (2010).

Neste, o algoritmo *fuzzy k-means* foi aplicado aos dados dos mapas interpolados por meio da krigagem, formando agrupamentos de dados semelhantes, (FRIDGEN et al., 2004). Essa é uma análise que é realizada de uma forma interativa, os dados são agrupados para a classe mais próxima pelo critério da mínima distância. A cada interação os dados são reagrupados e o processo se repete até a estabilização dos resultados. Esse processo foi repetido considerando duas, três, quatro e cinco classes. Segundo Valente (2010), o número ótimo de classes ocorre quando os dois índices são mínimos. Observa-se que os índices não coincidem em um número mínimo único de classes, e, a decisão de quantas classes deve ser recomendada depende de uma análise adicional como, por exemplo, comparar zonas de manejo definidas com diferentes variáveis de entrada para determinar quais são as mais importantes, conforme sugerido por Fridgen et al. (2004). Os mapas de variabilidade espacial dos atributos analisados foram elaborados no sistema de apoio à decisão desenvolvido por Valente (2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados da estatística descritiva para o índice SPAD1 (antes da adubação

nitrogenada aos 43 dias após o transplântio), SPAD2 (após a adubação nitrogenada aos 43 dias após o transplântio), SPAD3 (antes da adubação nitrogenada aos 56 dias após o transplântio), SPAD4 (após a adubação nitrogenada aos 56 dias após o transplântio), para as análises foliares (N, P, K) realizadas em laboratório e a produção do tomate industrial.

Pela Tabela 1 observa-se que o teor de nitrogênio (N) encontrado nas amostras foliares de tomate está dentro dos teores adequados 40 a 60 g kg<sup>-1</sup>; os teores de fósforo (P) encontrados nas amostras foliares estão abaixo da recomendação que é de 4 a 8 g kg<sup>-1</sup>; e os teores de potássio (K) das amostras foliares estão pouco abaixo da recomendação 30 a 50 g kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2009). Pode-se observar, que com a primeira aplicação do adubo nitrogenado, ocorreu o aumento do índice SPAD 2, que representa a leitura após a aplicação do adubo nitrogenado. Na segunda aplicação do adubo nitrogenado a

eficiência foi menor reduzindo os índices SPAD 3 e 4 e os níveis nutricionais avaliados nas amostras em análises laboratoriais. Segundo Fontes; Araujo (2007) o efeito do nitrogênio na cultura é mais intenso a partir de 70 a 80 dias após o transplante, e a dose deve ser aumentada devido ao aumento da demanda do nutriente pela planta.

Fayad et al. (2002), ao submeter plantas de tomate à adubação nitrogenada, observaram que os resultados da taxa diária de absorção de nutrientes indicam a necessidade de realizar com maior frequência as aplicações de cobertura na cultura de tomate.

A partir da análise geoestatística (Tabela 2), observando os parâmetros de ajuste do semivariograma, pode-se verificar que com exceção do SPAD2 e SPAD3 que não apresentaram dependência espacial os demais atributos avaliados apresentam índice de dependência espacial de moderada a forte (ZIMBACK, 2003).



**Tabela 1** - Análise descritiva dos atributos: Índice SPAD, N foliar, P foliar, K foliar, coletados em duas fases distintas, sendo antes e após a adubação nitrogenada, aos 43 e 56 dias após o transplante da cultura de tomate industrial.

	Média	Mediana	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria	CV(%)
SPAD 1*	57,32	58,05	4,39	0,40	43,60	76,90	3,03	0,04	7,66
N1(g kg <sup>-1</sup> )	41,25	39,70	7,70	0,70	33,00	86,80	17,81	4,11	18,67
P1(g kg <sup>-1</sup> )	3,54	3,60	0,38	0,03	2,10	4,50	0,70	-0,33	10,81
K1(g kg <sup>-1</sup> )	30,47	30,40	1,62	0,15	25,30	39,00	10,98	2,42	5,30
SPAD 2*	58,92	58,00	7,54	0,69	33,50	84,40	3,31	0,50	12,79
N2(g kg <sup>-1</sup> )	40,55	39,00	7,71	0,70	32,10	86,30	17,87	4,11	19,01
P2(g kg <sup>-1</sup> )	3,02	3,00	0,39	0,04	1,60	4,00	0,52	-0,27	12,91
K2(g kg <sup>-1</sup> )	30,10	29,90	1,63	0,15	25,00	38,80	11,15	2,46	5,42
SPAD 3*	56,01	55,25	5,24	0,48	35,80	81,00	7,79	1,38	9,36
N3(g kg <sup>-1</sup> )	50,18	50,90	7,93	0,72	37,10	95,20	8,37	1,81	15,81
P3(g kg <sup>-1</sup> )	2,70	2,70	0,38	0,03	1,40	3,80	0,54	-0,02	14,10
K3(g kg <sup>-1</sup> )	29,82	29,65	1,63	0,15	24,80	38,50	11,09	2,46	5,46
SPAD 4*	53,64	53,30	5,19	0,47	41,50	90,20	20,03	3,01	9,67
N4(g kg <sup>-1</sup> )	50,45	51,20	7,93	0,72	37,40	95,40	8,34	1,81	15,72
P4(g kg <sup>-1</sup> )	2,53	2,60	0,39	0,04	1,20	3,60	0,58	-0,07	15,22
K4(g kg <sup>-1</sup> )	29,66	29,50	1,63	0,15	24,60	38,30	11,02	2,43	5,50
P.T (Mg ha)	170,06	172,50	36,52	3,33	74,80	260,00	0,77	-0,33	21,47
V. (Mg ha)	8,38	7,80	4,59	0,42	0,56	28,00	5,90	1,99	54,76
E. (Mg ha)	9,18	8,50	2,86	0,26	3,70	17,83	0,45	0,83	31,11
A. (Mg ha)	152,50	155,05	36,61	3,34	59,12	238,49	0,32	-0,33	24,01

SPAD 1; SPAD 2; SPAD3 e SPAD4 \* tem unidades de medida SPAD; N1; P1; K1; N2; P2; K2; N3; P3; K3; N4; P4; K4 em g kg<sup>-1</sup>; P.T - produção total; V. - frutos verdes; E. - frutos estragados e A. - frutos adequados em megagrama ha<sup>-1</sup> (Mg ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 2** - Modelos teóricos de semivariância ajustados para o índice SPAD, teores foliares de N, P, K e produção da cultura de tomate industrial.

Variáveis	Modelo	Alcance (A)	Patamar (Co+C)	Efeito Pepita(Co)	IDE (%)	R <sup>2</sup>	SQR
Índice SPAD							
Spad1	Esférico	58,33	15,09	0,66	96	0,98	6,62
Spad2	Epp	-	-	-	-	-	-
Spad3	Epp	-	-	-	-	-	-
Spad4	Esférico	52,37	16,38	3,42	79	0,99	0,01
Análise Foliar Laboratorial							
N1	Gaussiano	66,37	47,13	0,21	99	0,45	646,15
N2	Exponencial	97,16	47,54	0,19	99	0,32	727,50
N3	Gaussiano	125,11	47,21	33,02	30	0,29	179,10
N4	Gaussiano	125,92	47,19	33,14	29	0,29	179,88
P1	Esférico	119,31	0,15	0,06	63	0,42	0,00
P2	Exponencial	335,42	0,17	0,09	47	0,88	0,00
P3	Exponencial	405,33	0,17	0,10	43	0,84	0,00
P4	Exponencial	437,74	0,18	0,11	40	0,84	0,00
K1	Gaussiano	165,54	7,79	1,49	81	0,59	12,44
K2	Exponencial	268,52	2,22	0,36	84	0,91	0,26
K3	Exponencial	263,74	2,21	0,35	84	0,92	0,25
K4	Exponencial	253,44	2,21	0,33	85	0,92	0,26
Produção	Exponencial	787,11	1693,46	511,47	70	0,95	46156

Para a determinação de zonas de manejo da adubação nitrogenada foram utilizados os dados do índice SPAD 1 e 4, pois estes apresentaram dependência espacial. Os semivariogramas foram construídos apenas para o índice SPAD 1 e índice SPAD 4 (CASTRO e MOLI, 2004).

Os resultados do índice de performance *fuzzy* (FPI) e entropia da classificação normalizada (NCE) por zonas de manejo estão apresentados na Figura 2. No caso específico deste trabalho foi definido que o número ótimo de zonas de manejo seriam duas.

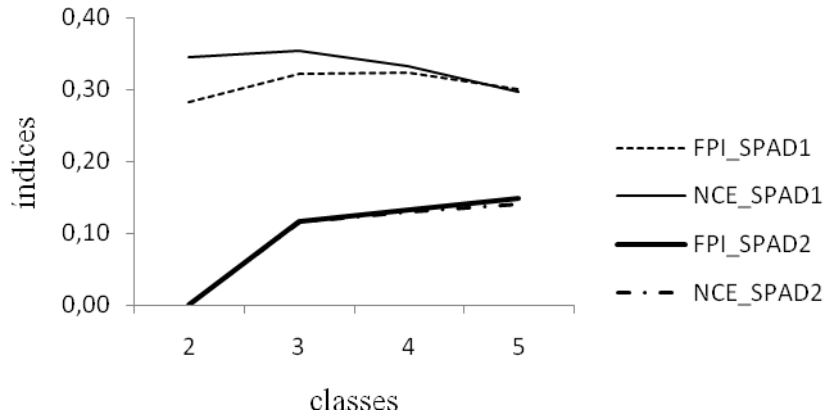


Figura 2 - Índice de performance *fuzzy* (FPI) e entropia da classificação normalizada (NCE) por zonas de manejo definidas a partir do mapa de contorno dos índices SPAD 1 (43 dias) e SPAD 4 (58 dias).

Na Figura 3 são apresentadas as zonas de manejo com base nos mapas de: SPAD 1 classificadas em duas, três, quatro e cinco zonas de manejo. Visualmente verifica-se que conforme aumenta o número de classes, as áreas vão se

tornando mais irregulares e, segundo Tisseyre e McBratney (2008), pequenas zonas de manejo são impossíveis de serem manejadas devido a limitações técnicas e econômicas.

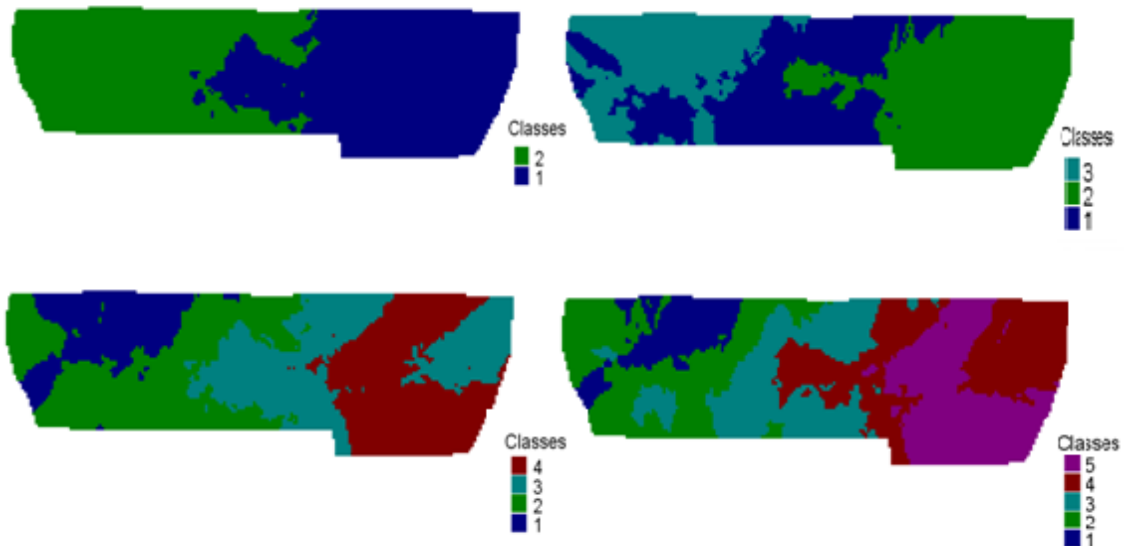


Figura 3 - Zonas de manejo definidas para a recomendação da adubação nitrogenada a partir do mapa de variabilidade espacial SPAD 1 (43 DAP - antes da adubação nitrogenada), duas, três, quatro e cinco classes.

Na Figura 4 são apresentadas as zonas de manejo com base nos mapas de: SPAD 4 classificadas em duas, três, quatro e cinco zonas de manejo. Da mesma forma que para o SPAD1, visualmente verifica-se que conforme aumenta o número de

classes, as áreas vão se tornando mais irregulares e difíceis de serem manejadas e pela viabilidade econômica e prática recomenda-se, para este caso, duas classes como a classificação ideal para a definição das zonas de manejo.

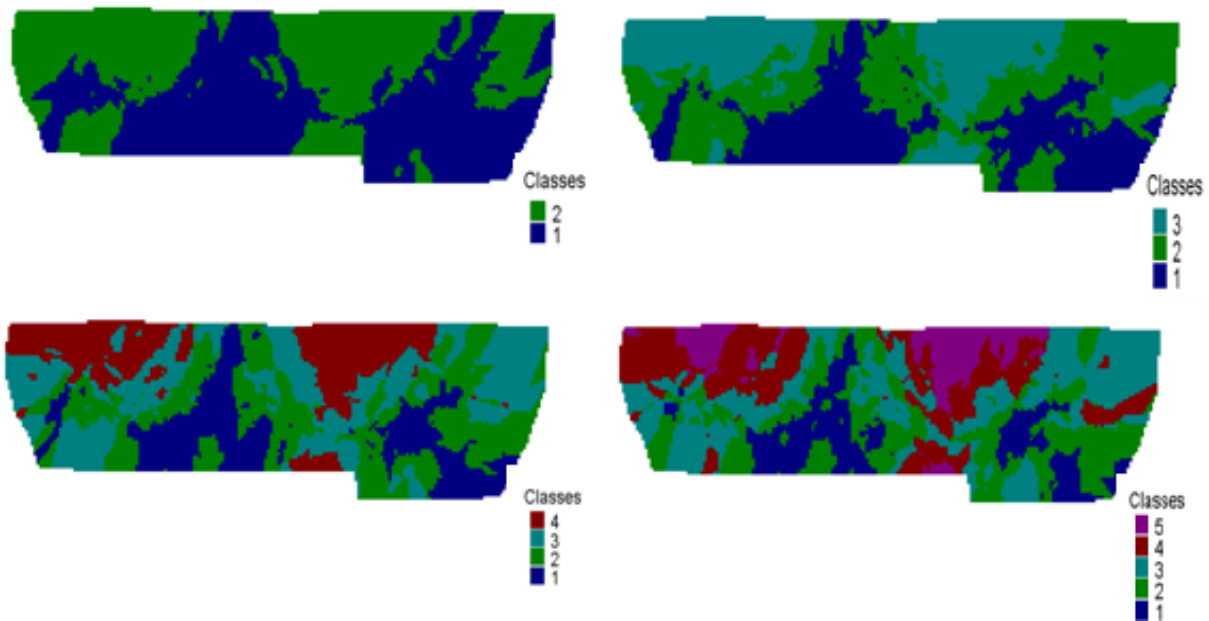


Figura 4 - Zonas de manejo definidas a partir do mapa de variabilidade espacial para SPAD 4 (56 DAP – após a última adubação nitrogenada), duas, três, quatro e cinco classes.

Para análise da concordância entre as zonas de manejo e os atributos foliares, efetuou-se a tabulação cruzada entre os mapas com o mesmo número de classes (PONZONI, ALMEIDA, 1996). Foram realizadas tabulações entre os 4 (quatro) mapas de zonas de manejo (ZM 1 SPAD1, ZM 2 SPAD 1, ZM 1 SPAD4, ZM 2 SPAD 4) e os 12 (doze) mapas dos atributos foliares (N, P, K) e o mapa de produtividade.

Para comparar quais as variáveis de entrada (SPAD1 e SPAD4) foram as mais importantes para definir as zonas de manejo, foram realizadas as análises de concordâncias com os atributos referentes à análise foliar (N, P e K) e produção (Tabela 3). Para isso, utilizaram-se as zonas de manejo ZMSPAD1 e ZMSPAD4 em relação às propriedades do solo classificadas em duas e três classes. Verifica-se que o acerto global dos mapas

gerados para duas zonas de manejo variaram de 0,50 a 0,70 e para três a variação foi de 0,37 a 0,50.

Rodrigues Junior (2008) definiu zonas de manejo com base em determinações realizadas com sensor de clorofila em regiões de produção de cafés. Para isso, utilizou os métodos de

classificação não-supervisionada *k-means* e *fuzzy k-means*. Analisou a concordância entre as zonas de manejo definidas por medidor de clorofila SPAD e concentrações de nutrientes foliares, que obtiveram acertos entre 18 a 39% para o *kmeans* e 18 a 38% para *fuzzy k-means*.

**Tabela 3** - Acerto global zona de manejo com as classes dos atributos SPAD, e N foliar, P foliar, K foliar e produção.

Atributos	Zona de manejo			
	2 classes		3 classes	
	SPAD 1	SPAD4	SPAD 1	SPAD4
SPAD 1	1,00	0,56	1,00	0,47
SPAD 4	0,56	1,00	0,47	1,00
N foliar	0,51	0,50	0,37	0,37
P foliar	0,64	0,54	0,49	0,41
K foliar	0,50	0,70	0,48	0,47
Produção	0,68	0,64	0,50	0,50

As Tabelas 4 e 5, apresentam o possível identificar diferenças resultado do teste de Tukey, nas quais é significativas entre as zonas de manejo.

**Tabela 4** - Valores médios\* de SPAD, N, P, K e número de pontos da grade padrão em duas e três classes das zonas de manejo obtidas pelo SPAD 1, a 43 DAT.

Zona de manejo - SPAD	ZM 3			ZM 2		
	1	1	2	3	1	2
Número de pontos	40	45	29	56	58	
SPAD	57,2 <sup>b</sup>	59,2 <sup>a</sup>	55,5 <sup>c</sup>	58,9 <sup>a</sup>	56,2 <sup>b</sup>	
N	40,3 <sup>a</sup>	42,8 <sup>a</sup>	39,8 <sup>a</sup>	42,2 <sup>a</sup>	40,2 <sup>a</sup>	
P	3,6 <sup>a</sup>	3,4 <sup>b</sup>	3,7 <sup>a</sup>	3,3 <sup>b</sup>	3,6 <sup>a</sup>	
K	30,5 <sup>a</sup>	30,5 <sup>a</sup>	30,1 <sup>a</sup>	30,5 <sup>a</sup>	30,3 <sup>a</sup>	

\* médias seguidas pela mesma letra, na linha e por zona de manejo, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 5** - Valores médios\* de SPAD, N, P, K e número de pontos da grade padrão em duas e três classes das zonas de manejo obtidas pelo SPAD 4, a 56 DAT.

Zona de manejo – SPAD	ZM 3			ZM 2		
	4	1	2	3	1	2
Número de pontos	37	51	32	61	59	
SPAD	52.2 <sup>c</sup>	53.0 <sup>b</sup>	54.0 <sup>a</sup>	52.5 <sup>b</sup>	53.7 <sup>a</sup>	
N	50.6 <sup>a</sup>	50.5 <sup>a</sup>	49.9 <sup>a</sup>	50.6 <sup>a</sup>	50.2 <sup>a</sup>	
P	2.4 <sup>b</sup>	2.4 <sup>b</sup>	2.6 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	
K	30.0 <sup>a</sup>	29.9 <sup>a</sup>	28.8 <sup>b</sup>	30.0 <sup>a</sup>	29.3 <sup>a</sup>	
Fruto adequado/planta	13.6 <sup>b</sup>	14.7 <sup>b</sup>	18.0 <sup>a</sup>	14.5 <sup>b</sup>	16.9 <sup>a</sup>	
Produção/planta	15.4 <sup>b</sup>	16.5 <sup>b</sup>	19.7 <sup>a</sup>	16.2 <sup>b</sup>	18.9 <sup>a</sup>	

\* médias seguidas pela mesma letra, na linha e por zona de manejo, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A Tabela 5 apresenta os resultados na situação encontrada aos 43 DAT, na qual a cultura havia recebido somente o nitrogênio na adubação realizada durante a etapa do transplante. Na Tabela 6, os resultados representam a situação encontrada aos 56 DAT, na qual a cultura já havia recebido duas adubações nitrogenadas em cobertura. Verifica-se que as zonas de manejo delineadas pelo mapa do índice SPAD detectaram diferenças significativas para alguns dos atributos em estudo. A zona de manejo definida pelo índice SPAD 4 detectou diferenças significativas para a produção de frutos de tomate industrial, evidenciando que o

método pode ser promissor para a definição de zonas de manejo com o objetivo de estabelecer uma maior eficiência no uso de adubos nitrogenados e maior resposta de produção da cultura.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

O medidor portátil de clorofila (clorofilômetro) pode ser utilizado para auxiliar no manejo da adubação nitrogenada do tomate industrial.

O uso do índice SPAD para definição de zonas de manejo apresenta-se

promissor, visto que poderá estabelecer maior eficiência no manejo da adubação nitrogenada na cultura de tomate industrial.

Para áreas até 36 ha, nas condições nas quais esse trabalho foi realizado, recomendam-se duas zonas de manejo para acompanhamento do estado nutricional e diagnóstico de necessidade de adubação nitrogenada na cultura de tomate industrial.

### AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor.

### REFERÊNCIAS

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n 3, p. 715 - 722, 2001.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E., ed. **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto**. Passo Fundo, Berthier, 2007. p. 99 - 144.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use a chlorophyll meter to monitor

nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, v. 8, p. 56 - 60, 1995.

CARVALHO, R. C. **Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada do tomate industrial**. (Monografia) Universidade Estadual de Goiás, Unidade de Ciências Exatas e Tecnológicas de Anápolis. 2010. 48p.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-deaçúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p. 1013 - 1021, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª edição revista e ampliada. Fábio Cesar da Silva – Ed. Técnico. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 627 p. 2009.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R., CARDOSO, A. A.; FINGER, F. L.; FERREIRA, F. A. Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado em condições de campo e de estufa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.1, p. 90 - 94, 2002.

FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Qualidade do tomate em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica em duas estações. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p 141 - 145, 2006.

FONTES, P. C. R.; ARAUJO, C. **Adubação nitrogenada de hortaliças: princípios e práticas com o tomateiro.** Viçosa: Ed. UFV, 2007. 148p.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A. Variability of soil and landscape attributes within sub-field management zones. International Conference on Precision Agriculture, 5., 2000, Minneapolis. *Proceedings...* Minneapolis: **University of Minnesota**, 2000. 1 CD-ROM.

GUIMARÃES, T. G. **Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e na estufa, influenciados por doses de nitrogênio.** 1998. 184f. Viçosa, MG: UFV, Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

GUIMARÃES, T. G.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R.; ALVAREZ, V. H.; MONERAT, P. H. **Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua**

**relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo.** *Bragantia*, Campinas, v.58, n.1, p. 209 - 216, 1999.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics.** Oxford Univ. Press., New York, 1989. 600p.

KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; MYERS, D. B.; DRUMMOND, S. T.; HONG, S. Y. Delineation productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 46, p.285 - 308, 2005.

MENDES, A. M. S.; FONTES, R. L. F.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial da textura de dois solos do deserto salino, no Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 01, p. 19 - 27, 2008.

PONZONI, F. J.; ALMEIDA, E. S. A estimativa do parâmetro kappa (k) na análise multivariada discreta no contexto de um SIG. **Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Salvador, BA. 1996. 729 - 733 p.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZZETTI, S. ANDREOTTI, M.



Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p. 163 - 171, 2006.

RODRIGUES JUNIOR, F. A. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura com base em determinações usando sensor SPAD e análise foliar**. Viçosa, MG. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

Superintendência de Estatísticas Pesquisas e Informações Socioeconômicas – **Sepin**. Disponível em <[http://www.seplan.gov.br/sepim/perfilweb/Estatistica\\_bde.asp](http://www.seplan.gov.br/sepim/perfilweb/Estatistica_bde.asp)>. Acessado em Fev. 2014.

SILVA, C. B.; MORETTO, A. C.; RODRIGUES, R. L. Viabilidade econômica da agricultura de precisão: o caso do Paraná. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 42, 2004, Cuiabá. **Anais ....** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; VIEIRA, L. H. S.; OLIVEIRA, E. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da

cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n.1, p. 231 - 241, 2008.

SONG, X.; WANG, J.; HUANG, W.; LIU, L.; YAN, G.; PU, R. The delineation of agricultural management zones with high resolution remotely sensed data. **Precision Agriculture**, v.10, p. 471 - 487, 2009.

TISSEREY, B.; MACBRATNEY, A. B.; A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management: an application to viticulture, **Precision Agriculture**, v.9, n. 1-2, p. 101 - 113, 2008.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. Addison-Wesley, Reading, M.A. 1977.

VALENTE, D. M. **Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para definir zonas de manejo em cafeicultura de precisão**. 2010.103f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2010.

ZIMBACK, C. R. L. **Geoestatística**. Botucatu, Jun. 2003. 25p (apostila).