

Zonas de manejo: atributos de solo e planta visando a sua delimitação e aplicações na agricultura de precisão

Raí Augusto Schwalbert¹, Telmo Jorge Carneiro Amado², Fabio Henrique Gebert³, Antônio Luis Santi⁴, Fabiano Tabaldi⁵

Introdução

A agricultura de precisão tem como premissa o manejo da lavoura respeitando a variabilidade espacial dos principais fatores que determinam o desempenho das culturas. Com isto, objetiva otimizar o retorno econômico priorizando a alocação de insumos nos locais com maior probabilidade de resposta, a eliminação de fatores limitantes a produtividade como teores de nutrientes abaixo do nível crítico e intervenções de manejo sítio-específico como ajuste na população de plantas e no material genético que resultem no aumento da produtividade. Ainda, reduz o impacto ambiental por diminuir o erro nas aplicações de agroquímicos tais como sobrepassos nas aplicações, superfertilizações, compactação do solo por tráfego aleatório e por possibilitar o ajuste fino entre a demanda das plantas e a oferta de insumos.

Na agricultura de precisão a amostragem de solo em malha tem sido uma eficiente ferramenta para orientar o manejo da fertilidade, identificando pontos com teores abaixo do crítico, que através da fertilização a taxa variada possam ser corrigidos. Embora, a aplicação

corretiva de fosfatos reativos em superfície combinados com a aplicação da manutenção no sulco tenha sido fortemente questionada por parcela dos pesquisadores e técnicos (Resende, 2011), que sustentam que está faltando precisão na agricultura de precisão, existe amplas evidências práticas da sua eficiência em tornar a lavoura mais uniforme e produtiva em relação à prática tradicional que desconsidera a existência de variabilidade espacial de nutrientes dentro da lavoura. No entanto, reconhece-se que existe necessidade de mais pesquisas sobre eficiência de modos de aplicação de fertilizantes em plantio direto consolidado em distintas condições de precipitação, condição inicial de fertilidade e textura do solo.

Transcorridos mais de uma década da introdução da agricultura de precisão no RS, acreditava-se que, com a amostragem do solo em malha e a fertilização a taxa variada, as principais causas da variabilidade da produtividade das culturas de grãos estariam equacionadas. Porém, o que se observou foi a persistência da variabilidade do desempenho das culturas nos campos de produção (Schepper et al., 2000). Esse comportamento pode ser explicado,

¹Acadêmico do curso de Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria. Email: rai.schwalbert@hotmail.com

²Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, Pesquisador CNPq, Dept. de solos da UFSM, Email: proftelmoamado@gmail.com

³Acadêmico do curso de Agronomia na UFSM

⁴Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor, CESNOR, UFSM; Email: santi_pratica.yahoo.com.br

⁵Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agricultura de Precisão, UFSM

em parte, pela existência de regiões dentro do campo de produção que apresentam características diferentes (relevo, exposição solar, profundidade de horizontes, textura, capacidade de armazenagem de água, entre outras) e, que portanto, apresentam diferente potencial produtivo, impossibilitando um desempenho vegetal homogêneo na área.

Essas regiões são definidas como zonas de manejo, que segundo Velandia (2008) são áreas geográficas que uma vez delimitadas podem ser tratadas como homogêneas. Neste caso, a variabilidade dentro da zona é menor do que entre as zonas. A partir da delimitação destas zonas, as intervenções de manejo deveriam ser prescritas especificamente para cada zona de manejo considerando os fatores limitantes de produtividade existentes em cada uma delas (Doerge, 1999; Khosla & Shaver, 2001).

Neste contexto, a delimitação dessas zonas torna-se uma etapa importante no gerenciamento dos campos de produção, segundo os princípios da agricultura de precisão. Existem diferentes metodologias para a delimitação de zonas de manejo, as primeiras abordagens foram baseadas em informações de relevo e de propriedades do solo de difícil modificação pelo manejo tais como:

textura, mineralogia, profundidade de horizonte superficial, susceptibilidade magnética e a condutividade elétrica. Uma segunda abordagem levou em conta o desempenho das plantas no campo produtivo baseando-se principalmente no mapeamento da produtividade da lavoura, na reflectância das plantas e em imagens aéreas ou de satélites que representem o vigor, a produção de biomassa, o estado nutricional e a sanidade vegetal durante o ciclo da cultura. A terceira abordagem combina as duas primeiras estratégias sobrepondo camadas de informações (layers) visando estabelecer as zonas de manejo (Ortega & Santibanez, 2007) (Figura 1). Essa combinação é uma estratégia muito interessante, principalmente quando se possui restrito histórico de mapas de produtividade, uma vez que a variabilidade temporal associada a fatores climáticos pode influenciar a delimitação das zonas com base nos mapas de colheita (Fraisse, 2001).

A coleta dos dados acerca da variabilidade espacial do campo produtivo pode ser obtida de forma direta através de malhas de amostragens, como as de solo ou de plantas, ou com o auxílio de sensores como os de produtividade ou de condutividade elétrica, e ainda de forma indireta e não destrutiva através de sensores que não apresentam contato físico com o objeto de estudo, como os de cultura que geram informações sobre o vigor ou estado nutricional das plantas. Neste último exemplo, destacam-se o N-Sensor ALS® (Yara), Greenseeker® (NTech Industries Inc. EUA) e Cropcircle® (Holland Scientific, EUA) ou câmeras multiespectrais como é o caso dos aviões agrícolas, satélites e, mais recentemente, os drones possibilitando uma informações sobre o desempenho vegetal com elevada resolução espacial.

Equipamentos móveis para medição da condutividade elétrica

Faça você mesmo o mapeamento de sua área!



Telefone: (51) 2102 7100

allcomp
geotecnologia e agricultura

Av. Pernambuco, 1207 | Porto Alegre/RS | agricultura@allcompgps.com.br | www.allcompgps.com.br

aparente (CE) têm sido amplamente utilizados nos Estados Unidos e na Argentina, países que se destacam pela adoção da agricultura de precisão (Lund et al., 2001; Machado et al., 2006). As leituras de CE fornecem informações acerca da variabilidade espacial dos nossos solos, sendo geralmente eficiente na delimitação das zonas de manejo. Segundo Corwin & Lesch (2003) a CE do solo vem sendo usada como um indicador no monitoramento de características do solo, sendo uma das

mais eficientes alternativas para caracterizar a variabilidade espacial na agricultura de precisão. Além de ser um método simples, de baixo custo e com elevada agilidade para determinar zonas de manejo (Shaner et al., 2008). Na Figura 2 é apresentado o equipamento utilizado para determinar a CE em nosso estudo.

Os sensores de plantas como é o caso do N-Sensor ALS®, e do Greenseeker® também nos fornecem valiosas informações a respeito da variabilidade espacial das plantas no

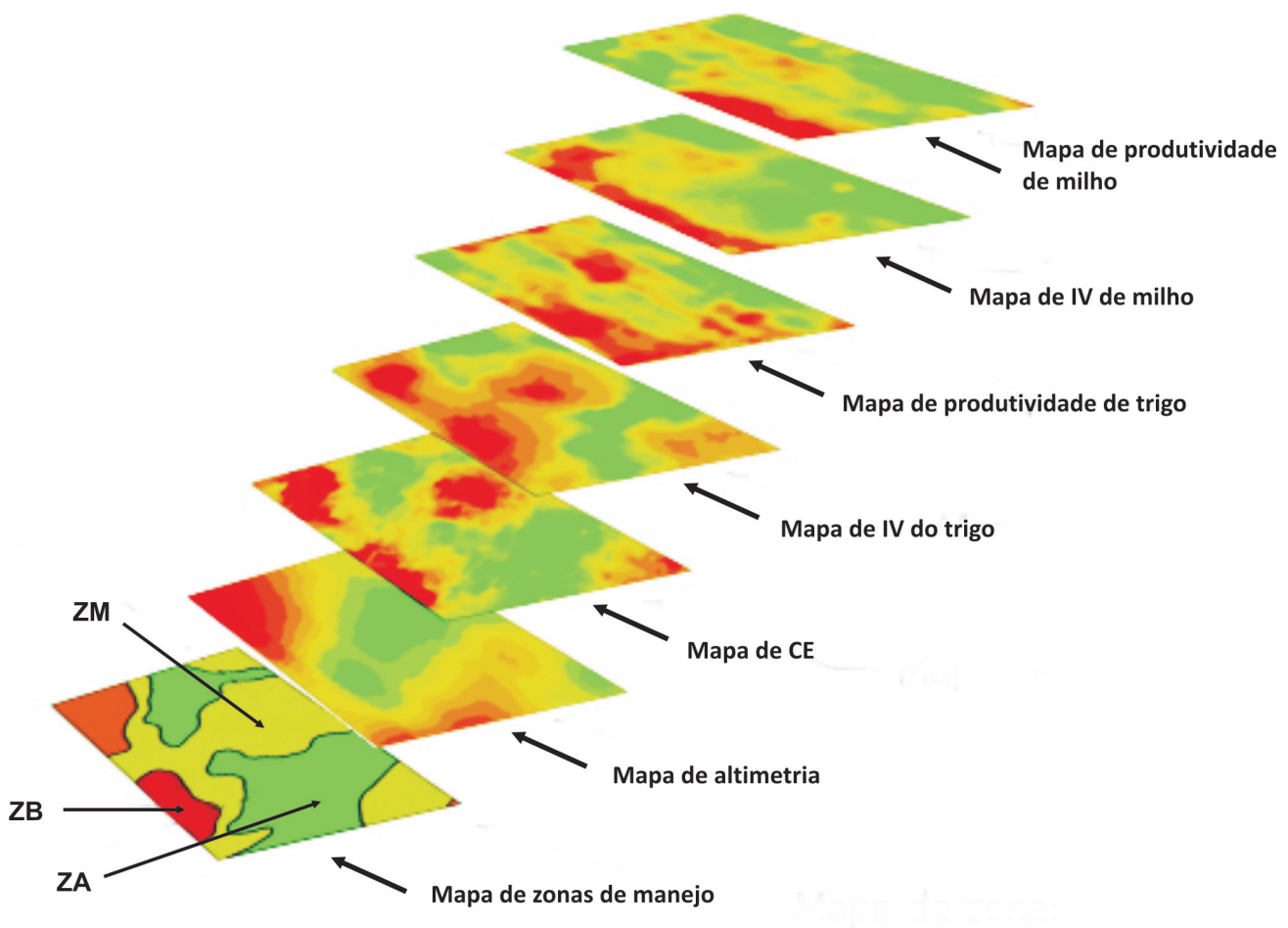


Figura 1. Sobreposição de informações de uma mesma área agrícola visando à definição de zonas de manejo na agricultura de precisão. IV= índice de vigor; CE= condutividade elétrica, ZA= zona de alta, ZM= zona de média e ZB= zona de baixa. Carazinho, RS.



Figura 2. Sensor de condutividade elétrica do solo utilizado na área agrícola de Carazinho, RS.

campo produtivo contribuindo para a delimitação das zonas de manejo (Figura 3A, 3B e 3C).

As aplicações agronômicas das zonas de manejo são muito amplas incluindo ajuste da população de plantas, do material genético a ser utilizado em cada zona, necessidade de escarificação mecânica, ajuste na dose e no manejo de fertilizantes, manejo de corretivos e condicionadores de solo como calcário, gesso e fertilização orgânica, manejo de herbicidas e inseticidas, manejo de irrigação e orientação para amostragem de solo dirigida. Raun (2010) demonstrou que a dose ótima de nitrogênio a ser ministrada é função tanto do estado nutricional das plantas em determinados estádios fenológicos, como também do potencial produtivo da zona de manejo. A fertilização a dose única assume que toda nossa área tem um mesmo potencial produtivo, desconsiderando, por exemplo, a variabilidade espacial na disponibilidade de água as plan-

tas que irá influenciar diretamente a resposta das culturas ao nitrogênio.

A presença de compactação pode afetar a disponibilidade de água às culturas afetando a eficiência da fertilização. Assim, como a declividade, que por afetar o escoamento superficial, influencia o armazenamento de água no solo. Pelo exposto a definição de zonas de manejo, desde que considere os principais fatores que governam o desempenho das plantas na lavoura, poderá contribuir, especificamente, para o aprimoramento da fertilização, e genericamente, para a eficiência da agricultura de precisão.

O objetivo deste trabalho foi à delimitação de zonas de manejo dentro de uma área comercial no Planalto do RS com o auxílio de dados de produtividade da cultura do milho, atributos de solo e de planta e, posteriormente, validar esse zoneamento através da avaliação da resposta do trigo a doses progressivas de N dentro de cada zona de manejo.



Figura 3. N-Sensor (A), N-Sensor equipado em distribuidor autopropelido (B), e sensor manual Greenseeker (C).

Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de Carazinho, (RS), na propriedade do Sr. Rogério Pacheco, vinculada ao projeto MAS (manejo avançado Stara), localizado nas coordenadas latitude 28° 17'S, longitude 52° 47'O e altitude de 595 m. O solo foi um Latossolo Vermelho Distrófico típico com textura argilosa (Embrapa, 2006). Segundo Köppen (1931) o clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfa) com temperatura média de 16°C e

precipitação normal de 2020 mm. A cultivar de trigo utilizada foi a Itaipu com densidade de 330 sementes m². A semeadura do trigo foi feita sob resíduos culturais de milho, cultivado anteriormente. O delineamento experimental utilizado foi um bifatorial com três repetições, onde cada parcela experimental possuía uma área de 100 m², com dimensões de 10 x 10 m.

As doses de N em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) investigadas, seguiram um parcelamento de 60% da dose em V3 e 40% da dose em



PRODUTÉCNICA

Distribuidor e revendedor das empresas e produtos:

Syngenta - NK Sementes

Bunge Fertilizantes

Stoller do Brasil - Kuhn

Equipamentos de Proteção Individual (EPIs)

Máscaras (pó, gás)

Luvas de nitrilo

Roupas de proteção

Tabela 1. Correlação de Pearson entre as variáveis usadas no zoneamento de uma lavoura em Carazinho, RS.

	IV do milho	Produtividade do milho	CE	Produtividade do trigo	IV do trigo	Elevação
IV do milho	1,000					
Prod. do milho	0,509*	1,000				
CE	0,453*	0,237*	1,000			
Prod. do trigo	0,387*	0,593*	0,185*	1,000		
IV do trigo	0,463*	0,335*	0,682*	0,389*	1,000	
Elevação	0,390*	-0,222*	0,094*	-0,097*	-0,047 ^{ns}	1,000

*p<0,001 ns não significativo

V6. A fonte de nitrogênio foi a uréia aplicada a lanço. Todas as parcelas receberam uniformemente 28 kg ha⁻¹ de N como fertilização, 70 kg ha⁻¹ P₂O₅ e 70 kg ha⁻¹ K₂O como fertilização de base, no momento da semeadura.

Para delimitação das zonas de manejo, em um primeiro momento, foram usados dados de condutividade elétrica obtidos através do Veris 3100 (Veris Technologies®, Salina – KS, EUA), dados de produtividade da cultura do milho, obtido através de sensor equipado na colhedora e de índice de vigor de plantas obtidos através de sensoriamento remoto com o N-Sensor ALS®, no estádio V8 no ano de 2012. Após na cultura do trigo, também foram registradas leituras de IV, obtidas no estádio V6, e de produtividade que foram utilizadas na análise de correlação de Pearson com objetivo de avaliar se essas novas variáveis se correlacionavam com as usadas anteriormente na definição das zonas de manejo. Todos os dados foram interpolados em mapas do tipo raster, usando como método de interpolação o inverso do quadrado da distância. O zoneamento foi feito através de uma análise de cluster com o auxílio do programa computacional Management Zones Analyst (MZA) 1.0.1®, e os mapas das zonas de manejo foram gerados

por meio do CR – Campeiro 7 (Giotto & Robaina, 2007).

Coletas de plantas foram realizadas nos estádios de perfilamento, alongação e florescimento do trigo para determinação da matéria seca produzida e também do teor de N no tecido e a quantidade de N absorvido. As análises de laboratório seguiram metodologia proposta por Tedesco (2005). Essas informações foram utilizadas para o cálculo dos índices de eficiência no uso do N.

Os dados de produtividade de trigo foram obtidos através de coleta manual da área central das parcelas e, posteriormente, a massa de grãos foi corrigida para umidade de 13%.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa computacional SPSS 20® IBM. As médias das zonas foram comparadas pelo teste de Tukey (p < 0,05). A análise de regressão foi utilizada para a relação da produtividade de trigo com as doses de N investigadas.

Resultados e discussão

A análise de cluster, ou análise de agrupamento, é uma técnica de classificação de pontos amostrais de atributos que compoem uma lavoura, sendo que cada grupo apresenta características de similaridade,

que determinam um desempenho homogêneo das culturas dentro da zona.

Através da análise de correlação de Pearson (Tabela 1), na área de Carazinho (RS), foi observado que tanto o IV do milho ($r=0,509$) como do trigo ($r=0,387$) apresentou significativa relação com a produtividade destas culturas. Ainda, encontrou-se relação entre o IV do milho com o trigo ($r=0,463$). A relação entre o IV e

a produtividade de culturas de grãos tem sido reportada em outros trabalhos (Povh, 2008; Villalba, 2012; Bragagnolo et al., 2013), indicando que as plantas que apresentam sanidade, satisfatório estado nutricional e elevada produção de biomassa (vigor), em determinados estádios fenológicos, serão, posteriormente, na colheita as mais produtivas. O IV ainda relacionou-se com a CE do solo, apresentando maior relação com o

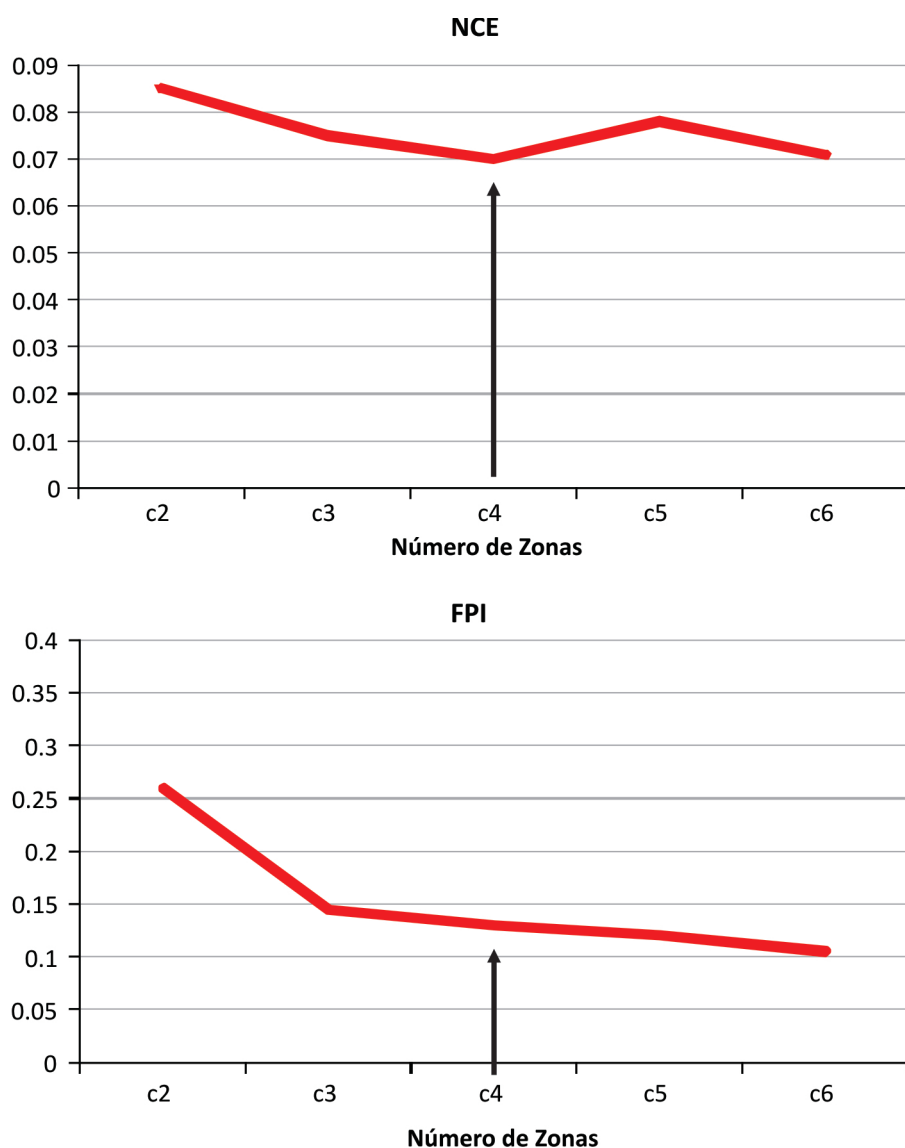


Figura 4. Entropia da classificação normalizada e Índice de performance Fuzzi visando a determinação de zonas de manejo em Carazinho, RS, usando atributos de solo, IV e produtividade da cultura de milho. Carazinho, 2014.

trigo ($r=0,682$) do que com o milho ($r=0,509$). Já, com a produtividade de grãos a CE apresentou maior relação com o milho ($r=0,237$) do que o trigo ($r=0,185$). Anteriormente, Amado et al. (2007) reportaram que a cultura de milho foi mais sensível a qualidade de solo comparado a outras culturas, como a soja e o trigo. A CE é influenciada por vários atributos de solo como concentração de sais, água armazenada no solo, textura, compactação, entre outros. A relação da CE com o vigor das plantas, durante o ciclo, e com a produtividade de grãos, reforça o potencial deste atributo na delimitação de zonas de manejo.

Como as variáveis investigadas possuíam medidas em escalas diferentes, em função da sua natureza, optou-se, quando da realização da análise de cluster, por utilizar a distância de Mahalanobis, como medida de similaridade entre os pontos amostrais, como proposto por Fridgen (2004).

O número de zonas de manejo pode ser determinado com o auxílio de dois índices gerados durante a análise de cluster, um que mede a homogeneidade dentro de cada zona, denominado de Entropia da

classificação normalizada (ECN) (Odeh et al., 1992; Lark & Stafford, 1997); e outro que mede o grau de distinção entre os grupos ou o grau de compartilhamento de indivíduos entre um grupo e outro, denominado de Índice de Performance Fuzzy (IPF) (Odeh et al. 1992; Boydell & McBratney, 1999). Ambos os índices foram obtidos pelo programa computacional Management Zones Analyst (MZA) 1.0.1®. Dessa forma, após gerados os dois gráficos, determina-se o número de zonas quando os índices apresentam os valores mínimos. Na Figura 4 são apresentados os gráficos gerados usando atributos de IV e produtividade de milho (2012/13) e dados de solo, que definiram 4 zonas de manejo.

A espacialização destas zonas de manejo é apresentada na Figura 5. Neste estudo, foram escolhidas três destas quatro zonas para uma investigação mais detalhada sobre o desempenho vegetal.

A zona denominada zona de baixa (ZB) apresentou estatisticamente menor produtividade de milho (safra 2012/13) do que as demais (Tabela 2). Porém, não houve diferença estatística significativa entre as zonas de média (ZM) e de alta (ZA).

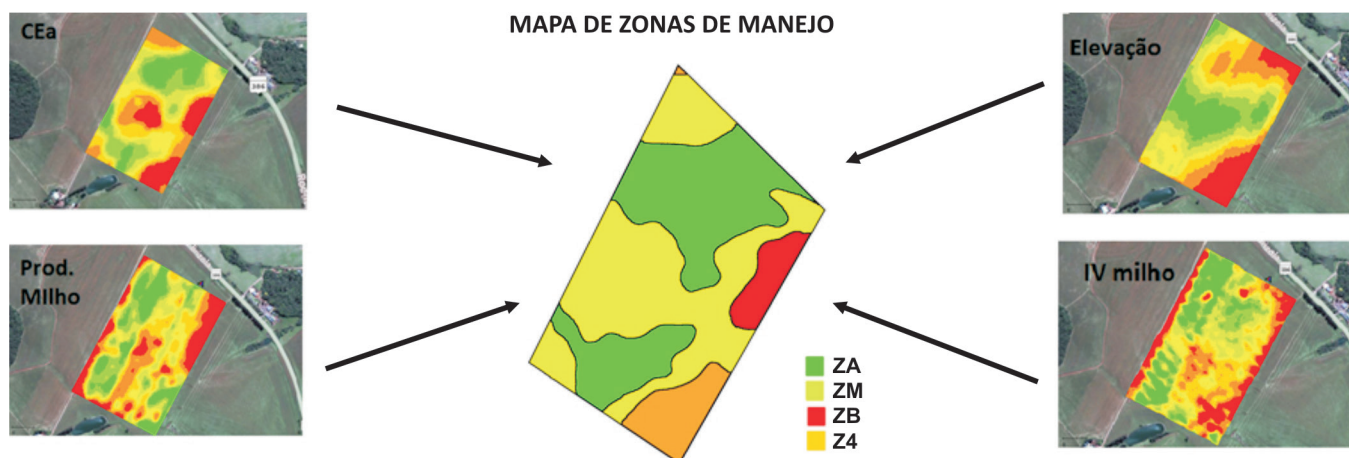


Figura 5. Delimitação de zonas de manejo na área de Carazinho, RS. ZA= zona de alto, ZM= zona de médio; ZB= zona de baixo e Z4 = quarta zona não investigada.

Embora isto, observou-se no histograma de classes de produtividade que a ZA apresentou o menor desvio padrão e, por outro lado, a ZM apresentou o maior desvio padrão (Figura 6). Desta forma, a ZA e ZB apresentaram maior homogeneidade quanto a produtividade de milho e a ZM apresentou características destas duas zonas.

O experimento de curva de resposta do trigo a doses de N, analisado através da ANOVA, confirmou que as zonas de manejo delimitadas apresentaram produtividade média diferente (Tabela 3). Assim, observou-se que, para o trigo (safra 2013), a ZA foi 32% mais produtiva que a ZB, enquanto a ZM foi 10% superior aquela referência. Ainda, a ZA foi 20% mais produtiva que a ZM.

A resposta à fertilização nitrogenada foi investigada dentro de cada zona de manejo (Figura 7). As respostas do trigo a doses de N foram lineares nas ZA e ZM, com coeficiente de inclinações das retas ajustadas apresentando valores semelhantes (9,85 e 10,72, respectivamente), indicando que a diferença entre a maior e menor produtividade dentro destas zonas também tenha sido semelhante (1200 kg ha⁻¹).

A ZA, apenas com a fertilização nitrogenada de base (28 kg ha⁻¹), apresentou produtividade de trigo 27% superior à obtida na ZM. Ainda, a produtividade máxima na ZA, obtida com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N em cobertura, foi 15 % superior a da ZM. A máxima eficiência técnica (MET), que é o ponto em que a dose de fertilizante maximiza a produtividade, e a máxima eficiência econômica (MEE), que representa a dose que traz o maior retorno econômico, na ZB, onde o ajuste matemático foi quadrático, foram: 115,0 kg ha⁻¹ e 103,5 kg ha⁻¹, respectivamente. Embora, estes valores sejam apenas ligeiramente inferiores a dose de 120 kg ha⁻¹, que foi a mais eficiente para a ZA e ZM, destaca-se na ZB

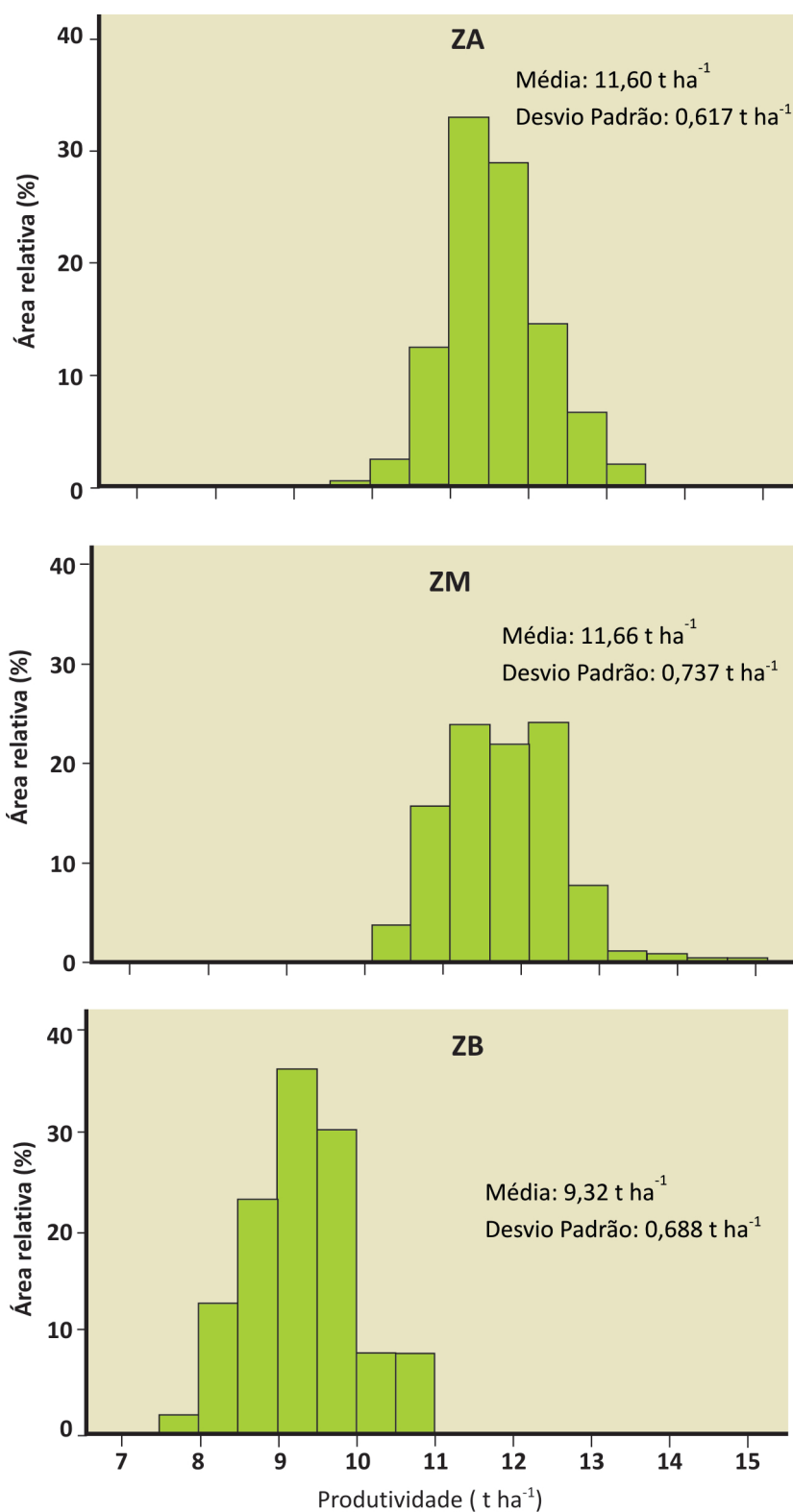


Figura 6. Histograma de classe da produtividade de milho em diferentes zonas de manejo. Carazinho, 2014. ZA= zona de alta, ZM= zona de média e ZB= zona de baixa.

Tabela 2. Produtividade de milho para cada zona de manejo e sua respectiva área.

	Prod. Milho t ha ⁻¹	Área ha
ZA	11,60 a	17,59
ZM	11,66 a	13,76
ZB	9,32 b	5,2

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a p<0,05; ZA = zona de alta, ZM= zona de média e ZB= zona de baixa.

Tabela 3. Produtividade de trigo em três zonas de manejo. Carazinho, RS.

Zonas de Manejo	Produtividade de trigo kg ha ⁻¹
ZA	3907 a
ZM	3260 b
ZB	2951 c

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a p<0,05 de probabilidade. ZA = zona de alta, ZM= zona de média e ZB= zona de baixa.

a dose de MEE promoveu um incremento de apenas 715,8 kg ha⁻¹ na produtividade do trigo em relação ao tratamento sem fertilização de cobertura. Enquanto, na ZA e ZM foi de aproximadamente 1200 kg ha⁻¹. Ainda, a produtividade na ZA, sem fertilização nitrogenada em cobertura, foi superior a obtida na ZB com a dose MET (115,0 kg ha⁻¹). Estes resultados ilustram que as limitações à produtividade na ZB se manifestaram em tal intensidade que a fertilização nitrogenada não foi capaz de compensá-la.

A dose de 90 kg ha⁻¹ de N em cobertura, recomendada para esta área segundo proposto pela CQFS – RS/SC (2004), e tradicionalmente utilizada pelo produtor foi utilizada para calcular a eficiência agrônômica (EA) (kg de grão produzido por kg de N aplicado⁻¹) e a eficiência fisiológica do nitrogênio (EFN) (kg de grão produzido por kg de N absorvido⁻¹), seguindo metodologia proposta por Dobermann (2005), para cada uma das zonas de manejo estudadas (Tabela 4). Observou-se que tanto a ZA como a ZM apresentaram maiores índices de eficiência no uso do N em relação à ZB.

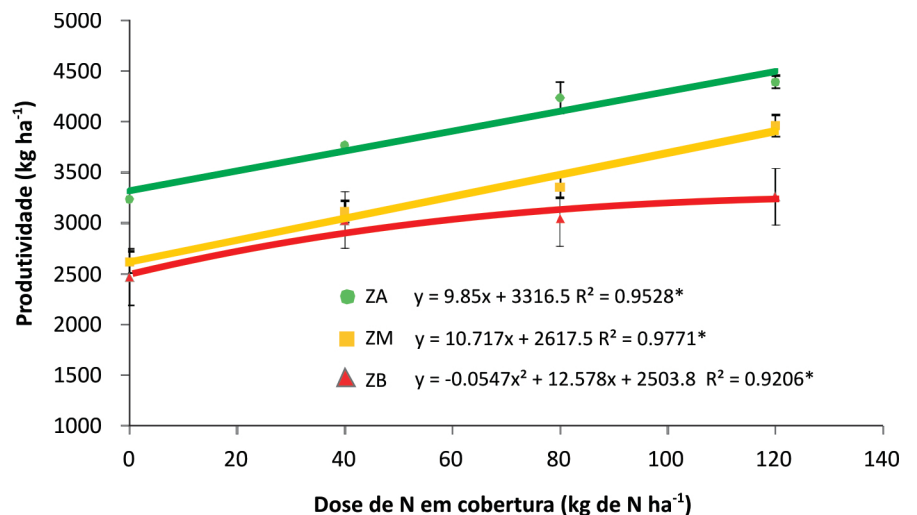


Figura 7. Efeito de doses de nitrogênio na produtividade de trigo na safra 2013 em cada zona de manejo. Carazinho, RS. *p<0.01

Tabela 4. Índices de eficiência do uso do nitrogênio para a dose de 90 kg ha⁻¹ de N em cobertura na cultura do trigo. Carazinho, RS.

	EA	EFN
	kg de grão kg de N aplicado ⁻¹	kg de grão kg de N absorvido ⁻¹
ZA	9,84	15,01
ZM	10,72	18,82
ZB	7,66	12,52

EA= eficiência agrônômica; EFN= eficiência fisiológica do nitrogênio; ZA= zona de alto; ZM= zona de média; ZB= zona de baixa.

Os resultados apresentados na Tabela 4 evidenciam que a dose fixa de nitrogênio a ser aplicada em toda a área não seria o manejo mais indicado economicamente e, tampouco, ambientalmente. Uma vez, que as zonas de manejo apresentaram distinta resposta produtiva e eficiência quanto à fertilização nitrogenada. Roberts (2012) reportou que houve incremento econômico quando a fertilização nitrogenada foi ajustada as zonas de manejo em relação à dose fixa. Assim, o manejo de N com dose variada com base em sensores ópticos poderia ainda ser aprimorado se a fertilização fosse ajustada para o potencial de resposta de cada zona de manejo e não apenas no estado nutricional da cultura em determinado estágio fenológico.

Conclusão

Os atributos de solo (condutividade elétrica), de topografia (declividade) e de planta (índice de vigor e produtividade de grãos) foram eficientes indicadores para a delimitação de zonas de manejo.

A fertilização nitrogenada embora tenha incrementado a produtividade nas três zonas de manejo investigadas, apresentou maior retorno e maior eficiência nas zonas de alta e média.

O programa computacional (MZA® 1.0.1) foi uma ferramenta eficiente para definição de zonas de manejo.

Agradecimentos

Ao produtor Rogério Pacheco, a STARA e a equipe MAS pelo suporte, cessão de equipamentos e condução dos experimentos.

Referências

AMADO, T. J. C. et al. Variabilidade Espacial e Temporal da Produtividade de Culturas sob Sistema Plantio Direto. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.42, n.8, p.1101-1110, ago. 2007.

BOYDELL, B., & MCBRATNEY, A.B. Identifying potential within field management zones from cotton yield estimates. p. 331–341. In J.V. Stafford (ed.) Precision agriculture '99. Proc. European Conf. on Precision Agric., 2nd, Odense Congress Cent. Denmark. 11–15 2000. Jul. 1999. SCI, London, 1999.

BRAGAGNOLO, J. et al. Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: II - Indices of fertilizer efficiency and corn yield. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 37, p. 1299-1309, 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC - CQFS–RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo: SBCS- Núcleo Região Sul/ UFRGS, 400 p. 2004.

CORWIN, D. L. & S. M. LESCH. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. Agronomy Journal. v. 95, p. 471-471, 2003.

DOBERMANN, A. Nitrogen use efficiency - State of the art. In.: IFA International Workshop on Enhanced efficiency Fertilizers, Frankfurt, 2005. Proceedings. Frankfurt, p.28-30, 2005.

DOERGE, T. Defining management Zones for Precision Farming. Crop Insights 8(21):1-5. 1999.

Embrapa. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306 p. 2006.

FRIDGEN, J. J. et al. Management Zone Analyst (MZA). Agronomy Journal. Vol. 96 No. 1, p. 100-108, 2004.

FRAISSE, C. W. SUDDUTH, K. A. KITCHEN, N. R. Delineation of Site Specific Management Zones by Unsupervised Classification of Topographic Attributes and Soil Electrical Conductivity. American Society of Agricultural Engineers Vol. 44(1): 155–166. 2001.

GIOTTO, E. & ROBAINA, A. D. Agricultura de precisão com o CR Campeiro 7. Manual do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia

- Rural/Laboratório de Geomática, 319 p. 2007.
- KHOSLA, R., & T. SHAVER. Zoning in on Nitrogen Needs. Colorado State University Agronomy Newsletter. 21(1):24-26. 2001.
- KÖPPEN, W. GRUNDRISS DER KLIMAKUNDE. Outline of climate Science. Berlin: Walter de Gruyter. 388 pp. 1931.
- LARK, R.M., & STAFFORD. J.V. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. Ann. Appl. Biol. 130:111–121, 1997.
- LUND, E. A.; WOLCOTT, M. C.; HANSON, G. P. Applying nitrogen site-specifically using soil electrical conductivity maps and precision agriculture technology. Scientific World, v. 1, p. 767-776, 2001.
- MACHADO, P. L. O. A. et al. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de latossolo sob plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 41, n. 6, p.1 023 1031, 2006.
- ODEH, I.O.A. MCBRATNEY, A.B. D.J. CHITTLEBOROUGH. Soil pattern recognition with fuzzy-c-means: Application to classification and soil-landform interrelationships. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:505–516, 1992.
- ORTEGA R. & SANTIBANEZ. O. Determination of management zones in corn (Zea mays L.) based on soil fertility. Computers and Electronics in Agriculture. 58. 49–59 pp, 2007.
- POVH, F. P. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico ativo em cereais, Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.43, n.8, p.1075-1083, ago. 2008.
- PORTZ, G., AMARAL, L.R., MOLIN, J.P. and JASPER, J. Optimun Sugarcane Growth Stage for Canopy Reflectance Sensor to Predict Biomass and Nitrogen Uptake. In 11th International Conference on Precision Agriculture. 2012.
- RAUN, W. R. et al. Independence of Yield Potential and Crop Nitrogen Response. Precision Agriculture, 2010.
- RESENDE, P. A. V. Adubação com fósforo a taxa variável em superfície é de fato agricultura de precisão. Agrolink. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/artigo/adubacao-com-fosforo-a-taxa-variavel-em-superficie-e-de-fato-agricultura-de-precisao-129195.html>> Acesso em: 02 mai. 2014.
- ROBERTS, D. A. et al. Relationships between Soil-Based Management Zones and Canopy Sensing for Corn Nitrogen Management. Agronomy Journal. v.104, p. 119–129, 2012.
- SCHEPERS, J. S.; SCHLEMMER, M. R.; FERGUNSON, R. B. Site-specific considerations for managing phosphorus. Journal of Environmental Quality, v. 29, p. 125-130, 2000.
- SHANER, D. L.; FARAHANI, H. J.; BUCHLEITER, G. W. Predicting and Mapping Herbicide-Soil Partition Coefficients for EPTC, Metribuzin, and Metolachlor on Three Colorado Fields. Weed Science. v. 56, p. 133– 139, 2008.
- TEDESCO, M. J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: departamento de Solos, 1995. 174 p.
- VELANDIA, M. et al. Economics of Management Zone Delineation in Cotton Precision Agriculture. The Journal of Cotton Science 12:210–227, 2008.
- VILLALBA, E. O. H. Estado Nutricional do Milho Avaliado por Espectroscopia Óptica no Paraguai. 2012. 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, 2014