

As **ZONAS DE MANEJO** e o novo salto de qualidade na AP

As zonas de manejo referem-se a áreas espacialmente contíguas que podem ser amostradas para que receba tratamentos específicos. Esses locais devem ser entendidos como níveis hierárquicos dentro do talhão

Telmo Jorge Carneiro Amado, professor titular do Departamento de Solos da UFSM, Raí Augusto Schwalbert e Geomar Mateus Corassa, doutorandos em Engenharia Agrícola da UFSM, integrantes do Projeto Aquarius

Agricultura de precisão (AP) vem apresentando na última década uma grande expansão na área de adoção no Brasil. As principais razões para essa crescente adesão à AP são a racionalização no uso de insumos, o aumento da eficiência operacional das intervenções, incrementos na produtividade e na rentabilidade e o maior grau de gerenciamento

da atividade agrícola. Destaca-se, ainda, que a agricultura de precisão é uma área de intensa inovação tecnológica, com uma crescente oferta de produtos e soluções tecnológicas cada vez mais eficientes e amigáveis aos operadores e gestores, que de tempo em tempo permitem saltos de qualidade. A formação de uma rede de consultores especializados, o surgimento de

grupos de pesquisa investigando o terreno nas mais diversas culturas e em praticamente todo o território nacional e a formação de uma massa crítica a respeito dos caminhos da AP são importantes portos para a sua expansão com sustentabilidade técnica.

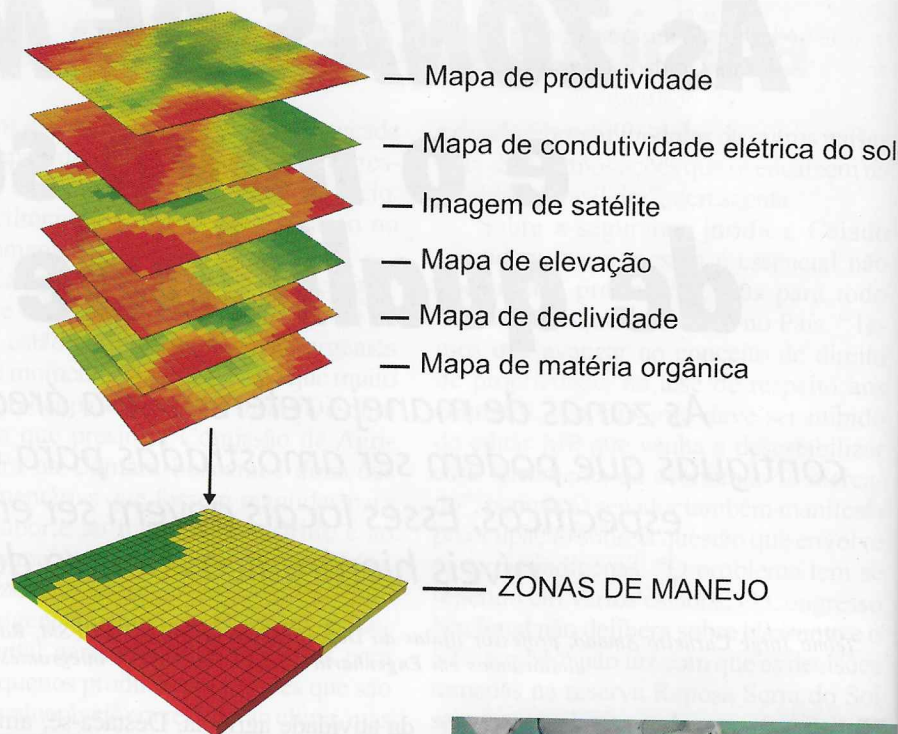
Como a maioria dos solos brasileiros apresenta características de baixa ferti-



dade natural e elevada acidez, uma das soluções tecnológicas da agricultura de precisão mais utilizadas foi a da amostragem georreferenciada em malhas e a geração de mapas temáticos dos principais atributos do solo. A partir disso, a aplicação de insumos à taxa variada visando corrigir sub-áreas com teores de nutrientes abaixo dos estabelecidos como críticos ou de teores ótimos e o equilíbrio de bases no complexo de troca pode ser buscado. Com a expansão da AP, houve um acentuado incremento no número de amostras de solo enviadas aos laboratórios, que tiveram que se adaptar tanto quanto ao volume de amostras, quanto à qualidade dos resultados exigidos, dando suporte às intervenções sítio-específicas. Intensificou-se também a reamostragem de solo que passou a ter uma frequência de dois a três anos, possibilitando avaliar o sucesso das intervenções de correção e de reequilíbrio da fertilidade.

Ainda, em menor escala, cresceram também as amostras foliares visando aferir o estado nutricional das culturas. A fertilização de correção do solo foi feita, geralmente, na entressafra, considerando a necessidade individual de cada nutriente, e aproveitando as oportunidades que o mercado de fertilizantes possibilitava, por ser um período de menor comercialização de insumos. As externalidades de todo esse processo foi um melhor diagnóstico do estado da fertilidade do solo dos campos de produção, resultando em uma melhor nutrição das plantas. Isso possibilitou que os modernos materiais genéticos expressassem seu potencial produtivo, com resultados mais expressivos naqueles campos de produção que possuíam grandes desequilíbrios nutricionais devido à utilização continuada de uma única fórmula de fertilizante.

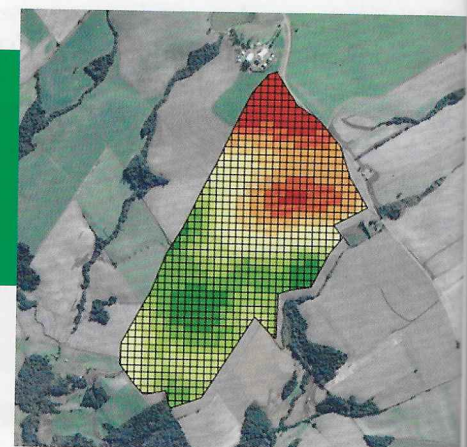
Quanto ao retorno econômico do manejo do solo com base na taxa variada, a calagem, o equilíbrio de bases (cálcio, magnésio e potássio) na saturação e a fertilização fosfatada de correção foram as que se mostraram mais eficientes. A calagem, por exemplo, passou a considerar a necessidade de uso de calcário dolomítico e de calcítico, de forma isolada ou combinada, de acordo com os teores de cálcio e magnésio no solo. Ainda, visando trazer a relação de bases (cálcio/magnésio) para a faixa de 3-5:1 e a melhoria química de camadas subsuperficiais, o uso de gesso combinado ao calcário foi



Para a delimitação das zonas de manejo, diferentes abordagens têm sido propostas, sendo as primeiras baseadas no desempenho das plantas no campo produtivo e levando em conta principalmente o mapeamento da produtividade

intensificado. Atualmente, amostragens de solo de camadas subsuperficiais passaram a ser rotineiras visando à prescrição de insumos com vistas à correção do perfil do solo.

Entre os principais questionamentos quanto à fertilização sítio-específica com base em mapas temáticos destaca-se a elevada variabilidade espacial de alguns nutrientes, como o fósforo, demandando uma malha densa para a sua caracterização, fato que onera a intervenção. A amostragem de solo em malha densa é uma operação que demanda mão-de-obra, tempo (janela para coleta das amostras em regiões com safra e safrinha) e recursos nem sempre disponíveis. Porém, um dos limitantes mais preocupantes é a nem sempre relação direta esperada da fertilização com a produtividade das culturas, devido a um outro fator limitante como a compactação, ou a existência de diferentes respostas à fertilização na mesma área em função da diferente disponibilidade de água no campo de produção. A utilização de um mapa de classe de solo ou mesmo de clas-



ses texturais (teor de argila) contribuiria para qualificar a fertilização sítio-específica, porém, no Brasil, essa informação, com a resolução necessária raramente é disponível.

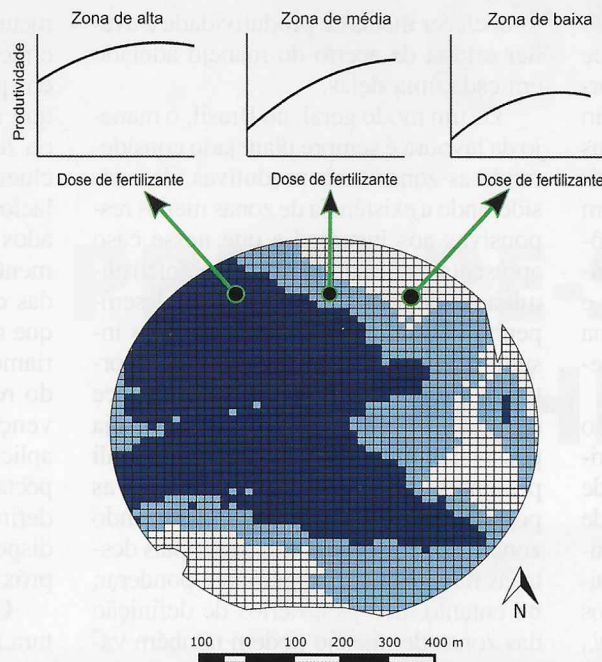
Zonas de manejo: um conceito emergente — Após uma década da adoção da taxa variável de fertilizantes e corretivos com base em mapas temáticos de atributos de solo no Brasil, acreditava-se que as principais causas da variabilidade da produtividade das culturas de grãos estariam equacionadas, porém, o que se observou foi a persistência na variabilidade espacial do desempenho das culturas nos campos de produção a exemplo do observado nos Estados Unidos (Schepers et al., 2000).

Esse comportamento, em parte, deve-se à existência de regiões dentro do campo de produção que apresentam caracte-

rísticas diferentes, algumas de difícil alteração ao longo do tempo (relevo, exposição solar, capacidade de armazenagem de água, profundidade de horizonte superficial, textura muito arenosa ou muito argilosa, presença de camadas subsuperficiais com elevado teor de alumínio, acúmulo vertical de argila, pedregosidade, entre outras) outras como a deterioração das características físico-hídricas associadas à compactação ou ao decréscimo acentuado do teor de matéria orgânica que, embora sejam passíveis de reversão, dependem de intervenções específicas e continuadas.

Essas regiões diferentes são definidas como zonas de manejo que, segundo Velandia (2006), são áreas geográficas que, uma vez delimitadas, podem ser tratadas internamente como “homogêneas”, pois apresentam características semelhantes que condicionam um desempenho vegetal parecido. Nesse caso, a variabilidade espacial de solo e/ou de planta dentro da zona deve ser sempre menor do que entre as zonas. A partir da sua delimitação, as intervenções de manejo devem ser prescritas especificamente para cada zona, considerando os principais fatores limitantes à produtividade presentes em cada uma delas (Doerge, 1999). Conceitualmente, zona de manejo refere-se a uma área espacialmente contígua que pode ser amostrada ou investigada (teste de infiltração, amostragem foliar, sensoriamento de vigor ou de produtividade, por exemplo) visando a um tratamento específico.

Para a delimitação das zonas de manejo, diferentes abordagens têm sido propostas, sendo as primeiras baseadas no desempenho das plantas no campo produtivo e levando em conta principalmente o mapeamento da produtividade. Essa estratégia de definição de zonas de manejo é eficiente (Flowers *et al.*, 2005; Hörbe *et al.*, 2013) e relativamente simples, consistindo basicamente na normalização temporal dos mapas de produtividade e posteriormente na sua sobreposição, porém, apresenta como limitações o fato de necessitar de mapas de diferentes safras para uma delimitação confiável, considerando que a variabilidade espacial da produtividade pode ser estável através do tempo ou variar em diversos graus de ano para ano de acordo com as condições cli-



Entre os principais questionamentos quanto à fertilização sítio-específica com base em mapas temáticos destaca-se a elevada variabilidade espacial de alguns nutrientes, demandando uma malha densa para a sua caracterização, fato que onera a intervenção

máticas prevalentes (Lawes & Robertson, 2011; Perce & Nowak, 1999). Em boa parte do Brasil, tem-se a oportunidade de realizar a safrinha ou segunda safra que sempre tem maior risco climático que a safra principal, trazendo um certo grau de complexidade na interpretação dos mapas de colheita que consideram safra/safrinha.

Uso de Vants — Novas ferramentas tecnológicas com o uso de Vants (veículos aéreos não tripulados) equipados com câmeras capazes de detectar o vigor de plantas (baseado em índices) ou de satélites como Geosys e Satshot que fornecem imagens do campo de produção com elevada resolução espacial e revisitas com frequência semanal, que possibilitam durante a estação de crescimento, o acompanhamento do estado nutricional da cultura, o estado de sanidade das plantas, e a projeção da produtividade a ser alcançada, são soluções que facilitam a definição das zonas de manejo. As ferramentas tecnológicas que possibilitam a intervenção durante o ciclo da cultura têm grande potencial para o manejo do nitrogênio em gramíneas, por exemplo, permitindo a apli-

cação em cobertura em função do estado nutricional da cultura. Também para o manejo de doenças e aplicação de produtos fitossanitários.

Uma abordagem complementar visando o delineamento de zonas de manejo leva em consideração informações de relevo e de propriedades do solo de difícil modificação pelo manejo, tais como textura, mineralogia, profundidade de horizonte superficial, e a condutividade elétrica, que se relaciona com atributos físico-químicos do solo. Ainda uma abordagem mais complexa combina camadas de informações (*layers*) visando estabelecer as zonas de manejo (Ortega & Santibáñez, 2007). Essa combinação é uma metodologia muito interessante, principalmente quando se possui restrito histórico de mapas de produtividade, caso brasileiro, permitindo a utilização de mapas de vigor obtidos com sensoriamento remoto (satélites), intermediário (Vants), próximo (sensores de cultura acoplados a máquinas agrícolas) ou direto (em contato com solo e planta).

Aplicações práticas das zonas de manejo — De modo geral, as zonas de manejo devem ser entendidas como um nível hierárquico dentro do talhão, de modo que as intervenções agrícolas passem a ser prescritas em nível de zona. Uma aplicação muito comum das zonas de manejo é visando à reamostragem de solo, na qual, ao invés de se optar por uma amostragem em malha regular, pode-se optar por uma amostragem dirigida por zonas de manejo. Essa estratégia pode ser utilizada em áreas já manejadas sob agricultura de precisão que tiveram a adoção da taxa variada baseada em uma malha regular densa, reduzindo os custos da amostragem.

Nas zonas de baixa produtividade, intervenções como a escarificação ou a subsolagem, aplicação combinada de corretivos (calagem + gessagem), adubação orgânica, bioativadores e condicionadores de solo, consórcio de culturas de cobertura podem ser utilizadas, de acordo com as características da área, visando à recuperação da qualidade do solo. Nesse caso, práticas isoladas são menos efetivas do que quando combinadas (física, química e biológica) devido ao sinergismo entre elas.

Outra utilização das zonas de manejo é como critério para implementação da

taxa variada de sementes. Um exemplo disso foi o estudo conduzido por Hörbe *et al.* (2013), que encontrou maior retorno econômico para a cultura do milho com o aumento da população de plantas em zonas com alto potencial de produtividade, e pela redução em zonas com menor potencial. O maior retorno econômico foi associado principalmente ao aumento da produtividade na zona de alta e a estabilização da produtividade na zona de baixa aliado à redução no custo de sementes.

Ainda, outra possibilidade é a variação de genótipos (variedades para soja e híbridos para milho) de acordo com as zonas de manejo, podendo-se optar pela escolha de materiais mais rústicos e de menor potencial produtivo nas zonas com maiores limitações e manutenção dos mais produtivos em zonas de alto potencial (Corassa *et al.*, 2016). Por exemplo, durante a entressafra, a utilização de consórcios de culturas de cobertura (leguminosas + gramíneas + crucíferas) que proporcionem aporte de nitrogênio, descompactação biológica do solo, incremento de aporte de matéria seca e biodiversidade, entre outros. As zonas de manejo ainda podem ser utilizadas para

estabelecer metas de produtividade e avaliar o grau de acerto do manejo adotado em cada uma delas.

De um modo geral, no Brasil, o manejo da lavoura é sempre planejado considerando as zonas mais produtivas, desconsiderando a existência de zonas menos responsivas aos insumos e que nesse caso apresentam duas opções de manejo: a) eliminação dos fatores limitantes ao desempenho vegetal antes da aplicação dos insumos (entressafra); e b) ajuste do aporte dos insumos para menor performance das culturas nessas zonas, caso não seja possível eliminar os fatores limitantes ali presentes. Atualmente, são inúmeras as possibilidades de intervenção utilizando zonas de manejo, sendo as principais destacadas na tabela 1. É importante ponderar, no entanto, que os critérios de definição das zonas de manejo podem também variar em função do tipo de intervenção desejada.

Recentemente, com o advento do *Big Data*, a definição das zonas de manejo tem-se tornado mais refinada e complexa. Além do tradicional uso de mapas de produtividade, sensoriamento do solo e das culturas, fatores associados às condições

meteorológicas locais e modelos de crescimento das culturas têm sido inseridos em programas computacionais robustos que se encontram em uma base remota ou na nuvem. Esses novos modelos incluem, ainda, características genéticas, relacionadas aos híbridos/cultivares semeados e, dessa forma, são capazes de alimentar os modelos de desenvolvimento das culturas de forma acurada. Uma vez que muitos modelos são alimentados diariamente, as prescrições também vão sendo refinadas, fazendo com que as intervenções (insumo, dose e momento de aplicação) tornem-se mais eficientes. A expectativa é que esses novos modelos para definição e prescrição das zonas fiquem à disposição dos produtores brasileiros nas próximas safras.

Considerações finais — A agricultura de precisão, em uma de suas múltiplas vertentes, baseia-se no manejo da variabilidade espacial de atributos de solo, possibilitando uma melhoria do estado nutricional das plantas nos campos de produção. Um dos principais pressupostos da agricultura de precisão é o incremento da eficiência do uso de insumos e dos recursos disponíveis ao processo produtivo.

Ao alcançar esse objetivo, o impacto ambiental é diminuído e a rentabilidade, incrementada, tornando a produção mais sustentável.


Em uma etapa mais avançada, a definição de zonas de manejo considerando o potencial produtivo de safras anteriores cortejado com o desempenho das culturas em diferentes estádios fenológicos durante a safra em curso, com uma elevada resolução de modo a contemplar subáreas que compõem os campos produtivos deve guiar o manejo, tornando-a mais assertiva às intervenções. O resultado dessa abordagem sistêmica que engloba genética, manejo e ambiente com elevada resolução espacial dará um novo salto de qualidade à agricultura de precisão, fazendo com que ela se aproxime das elevadas expectativas geradas quando da sua introdução no Brasil há algumas décadas. 

TABELA 1 - INTERVENÇÕES POR ZONAS DE MANEJO E OS PRINCIPAIS FATORES A SEREM CONSIDERADOS DURANTE A DELIMITAÇÃO

Intervenções em zonas de manejo	Atributos utilizados para definição das zonas de manejo
Nutrientes imóveis ou com média mobilidade (P, Ca, Mg e K)	Topografia, CE, amostragem em malha
Nitrogênio e condicionadores de solo	Textura do solo, matéria orgânica, mapas de produtividade
Calcário	pH do solo, saturação de bases, cálcio, magnésio, alumínio, textura, qualidade química de camadas subsuperficiais
Gesso	Conhecimento do agricultor, mapas de produtividade, condutividade elétrica, cálcio, magnésio, textura, qualidade química de camadas subsuperficiais
Taxa variada de sementes	Mapas de produtividade, mapa de vigor, textura do solo, topografia, matéria orgânica, armazenagem de água, profundidade de horizonte superficial
Híbridos e cultivares	Topografia, mapas de produtividade, conhecimento do agricultor, mapa de vigor, amostragem georreferenciada de doenças causadas por fungos de solo e nematoides
Herbicidas	Mapas de distribuição espacial de plantas daninhas, matéria orgânica do solo, textura do solo
Inseticidas	Amostras georreferenciadas durante o ciclo da cultura
Irrigação	Textura do solo, topografia, matéria orgânica do solo, mapas de produtividade, armazenagem de água, profundidade de horizonte superficial, qualidade química de camadas subsuperficiais

Fonte: Adaptado de Doerge, T.A. Site specific management guide