

Avaliação da fertilidade do solo por Agricultura de Precisão e Convencional

Saulo Saturnino Sousa¹

Silvino Guimarães Moreira²

Gustavo Franco de Castro³

Resumo

O estudo de caso foi feito com o objetivo de comparar as metodologias de amostragem de solo por agricultura de precisão (AP) e agricultura convencional (AC) para avaliação da fertilidade de solos. Amostras de solo foram obtidas por AC e AP em dez áreas cultivadas com milho e soja, de forma rotacionada, em uma propriedade localizada em Inhaúma, região central do estado de Minas Gerais. As amostras foram analisadas e interpretadas com recomendação de corretivos e fertilizantes para cada uma das glebas. Comparando-se os dados médios de fertilidade entre os dois métodos de amostragem, observaram-se poucas diferenças para a maioria dos nutrientes, com exceção do Fósforo (P). Os resultados evidenciaram que os solos apresentam alta fertilidade, independentemente do método de análise. Os mapas de fertilidade mostraram que há diferenças de fertilidade nas glebas, com necessidade de corretivos em alguns pontos. Embora seja difundido na prática que em solos de alta fertilidade não existam benefícios em se adotar a AP, por causa do custo de amostragem, o mapeamento da fertilidade pela AP permite mais segurança na interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes.

Palavras-chave: Variabilidade espacial. Geoestatística. Amostragem de solo.

Introdução

A agricultura, em seus primórdios, fundamentava-se principalmente em pequenas propriedades com “baixa produção” e aquilo que era produzido na terra era usado para subsistência. Dessa forma, como a produção era em pequena quantidade e em faixas territoriais menores, o produtor conseguia observar visualmente as variações do solo e seus efeitos no desenvolvimento e na produção das culturas, manejando-as com base nessas diferenças (COELHO, 2005).

Há muito tempo, tem-se tentado aumentar a eficiência no uso de insumos, visando melhorar a produtividade. Em 1929, Bauer e Linsley, citados por Goering (1993), sugeriram uma amostragem sistematizada do solo em malhas de 100 por 100m para determinar a necessidade de aplicação diferenciada de calcário. Alguns produtores reduziram em até 40% seus custos de produção com aplicação diferenciada do insumo. Uma das primeiras publicações sobre a variabilidade espacial na produtividade das culturas foi feita por Smith (1938), na Austrália, que apresentou um mapa de colheita de trigo. Os efeitos benéficos de uma aplicação diferenciada de esterco nas culturas são conhecidos também há longa data (KELLOG, 1957).

1 Universidade Federal de São João Del Rei, Mestre em Ciências. Sete Lagoas-MG, Brasil. saulosat@yahoo.com.br. Tel: (31) 99551188. Pç. Coronel Domingos Diniz Coutto, 616, centro, Jequitibá-MG.

2 Universidade Federal de São João Del Rei, Professor. Sete Lagoas-MG, Brasil. silvino@ufsj.edu.br. Tel: (31)36972018. Departamento de Ciências Agrárias, UFSJ, Campus de Sete Lagoas, Rodovia MG 424, km 47, Caixa Postal 56, CEP: 35701-970, Sete Lagoas-MG.

3 Universidade Federal de Viçosa, Mestrando. Sete Lagoas-MG, Brasil. gustavofcastro@ymail.com Tel: (31) 98286683. Rua Coração de Maria, 80, Bairro Braz Filizola, Sete Lagoas-MG.

Por outro lado, com o aumento da população mundial, da mecanização agrícola e com a exigência da produção em larga escala, os campos cultivados normalmente têm sido tratados de modo uniforme. Assim, os cálculos de correção do solo e adubação são feitos com base em valores médios, a partir da interpretação de uma única análise de solo por gleba, retirada de forma convencional. Dessa forma, recomenda-se a aplicação uniforme de uma única dose média de fertilizantes em toda a extensão do campo. Contudo, tal prática pode gerar perdas econômicas ao produtor, podendo causar também danos ambientais (SPAROVEK; SCHNUG, 2001).

Os fundamentos da agricultura de precisão (AP) surgiram em 1929, nos Estados Unidos da América, quando pesquisadores começaram a perceber a grande variabilidade da necessidade de calcário para uma mesma área. Contudo, a partir da década de 1980, houve maior evolução da AP, pois surgiram as ferramentas fortemente usadas atualmente como os microcomputadores, sensores e sistemas de rastreamento terrestre ou via satélite GPS. No Brasil, os primeiros estudos foram realizados na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), em 1997, e se desenvolveram bastante a partir de um grupo formado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), em parceria com empresas privadas. Assim, surgiu o chamado projeto Aquarius, que teve participação importantíssima na introdução de conceitos de mapeamento da produtividade de grãos e aplicação de corretivos.

Atualmente a AP pode ser usada no monitoramento do plantio e colheita, na amostragem de solo, na aplicação de agroquímicos à taxa variável, no monitoramento de clorofila nas plantas, no manejo de pragas, entre outros. Especificamente no caso do manejo da fertilidade do solo, hoje em dia é possível manejar economicamente as culturas em grandes áreas com a aplicação de corretivos e fertilizantes à taxa variável, conforme a necessidade de cada ponto na gleba (MZUKU et al., 2005; DERCON et al., 2006). Deve-se ressaltar que a necessidade do uso da AP é ainda maior na atualidade, devido ao aumento do tamanho das propriedades cultivadas. Por exemplo, um agricultor que se utiliza de manejo convencional em uma propriedade com 1.000ha tem menor conhecimento da variabilidade espacial da fertilidade do solo do que 10 agricultores que anteriormente cultivavam essa mesma área em lotes de 100 ha, pois esses últimos tinham um conhecimento maior sobre cada faixa do terreno em relação a sua fertilidade.

Uma das grandes vantagens da AP é a redução dos custos de produção, principalmente no uso de corretivos e fertilizantes. Segundo Rossato (2010), em média, é possível obter uma redução de 20 a 30% no custo de insumos como calcário, fósforo e potássio. Em trabalhos desenvolvidos por Borgelt et al. (1994), em uma área de 8,8 ha, sem a utilização da técnica de aplicação localizada, 9 a 12% da área receberia uma quantidade de calcário acima da recomendada, enquanto 37 a 41% receberiam uma quantidade abaixo da recomendada.

Ferraz et al. (2011), estudando adubação diferenciada na cultura de café em um ciclo de dois anos de cultivo, concluíram que o sistema de adubação convencional acarretou aumento de R\$ 80,80 ha⁻¹ de gastos com fertilizantes e R\$ 11,25 ha⁻¹ com mão de obra. Assim, ainda que a AP tenha tido um custo mais elevado na amostragem, a adubação diferenciada foi vantajosa e reduziu os custos em R\$ 38,36 ha⁻¹, o que representa 6,53% de economia. Portanto, a AP foi mais viável economicamente e apresentou maior lucro nos dois anos estudados. Segundo Barbieri et al. (2008), mapas para aplicação de insumos à taxa variada, elaborados por técnicas geoestatísticas, indicam maior eficiência para a aplicação de calcário, fósforo e potássio.

Apesar de a AP ser uma técnica de grande utilidade no monitoramento da fertilidade do solo e de possibilitar a maximização de lucratividade ao produtor, a AP tem algumas limitações a serem consideradas. Resende et al. (2006) estudaram amostragens em grades, variando entre 0,25 e 9 ha,

e obtiveram dependência espacial para todos os atributos ao utilizar grades de até 2,25ha, exceto para o P, que apresentou dependência somente em grades de 0,25ha ou quatro amostragens por ha. Já matéria orgânica - MO, K, Ca e Mg - mostrou dependência em grades de até 4ha. Assim, o trabalho evidenciou que o P apresenta alta variabilidade espacial e que os grades de amostragens, geralmente utilizados na prática pelos produtores, de 2 a 3 hectares, podem não representar fielmente a fertilidade do solo para o P. Portanto, para se ter uma boa amostragem do solo, incluindo o elemento P, o agricultor deve trabalhar com grades menores, o que aumentaria os custos das amostragens. As aplicações de fertilizantes continuamente durante ciclos de cultivo, sem que haja um bom manejo do solo em relação às aplicações, e o fato de o fósforo mover-se no solo por difusão, tendo assim baixa mobilidade, contribuem para essa falta de dependência e variação espacial (LEÃO et al., 2007).

A geoestatística é uma ferramenta fundamental na AP. Ela é utilizada pelo software de AP para se verificar a autocorrelação espacial, investigar a magnitude da correlação entre as amostras e sua similaridade ou não com a distância; a dependência espacial é analisada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA, 2000). Tendo-se a posição geográfica (georreferenciamento) dos pontos de amostragem de certa área, a geoestatística proporciona a obtenção do detalhamento da variabilidade espacial de sua fertilidade a partir do processamento dos dados e obtenção de mapas (LAMPARELLI et al., 2001).

Para geração dos mapas de fertilidade, é feita a interpolação dos pontos amostrados pela Krigagem (CORÁ; BERALDO, 2006). O método de interpolação usa a dependência espacial expressa no semivariograma entre pontos amostrais vizinhos para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima (TRANGMAR et al., 1985). A determinação da fertilidade será mais precisa quanto maior for o número de amostras (SCHLOEDER et al., 2001).

Constata-se atualmente uma grande defasagem entre as práticas que vêm sendo utilizadas em larga escala no setor produtivo e o que seriam tecnologias de AP validadas. Contudo, sabe-se que empresas privadas vêm, desde a última década, investindo muito nesse mercado, lançando novos produtos e serviços com menores custos de aquisição dos equipamentos e de suas ferramentas tecnológicas (CORREA, 2012).

Apesar de certa euforia observada entre os agricultores que já adotaram a AP, muitos ainda não a utilizam por considerarem que as vantagens obtidas com economia de fertilizantes não superam os custos da tecnologia. Assim, o objetivo deste trabalho foi comparar as metodologias de amostragem de solo para os dois métodos de amostragem (AC e AP) na recomendação de corretivos e fertilizantes em um Latossolo na região central de Minas Gerais.

Materiais e métodos

O estudo foi conduzido na Fazenda São João, Grupo True Type, situada no município de Inhaúma, Minas Gerais, durante um ciclo de produção no ano de 2012. A propriedade fica localizada a 19°25'48" de latitude Sul e 44°29'41" de longitude Oeste, com altitude de 692m. O solo da propriedade é o Latossolo vermelho amarelo distrófico, argiloso (EMBRAPA, 2013), situado em relevo suave ondulado. O clima da região é o tropical de altitude, com verões quentes, chuvosos e invernos secos, com temperatura média de 20,9°C. A estação chuvosa predomina entre outubro e abril, e o índice pluviométrico médio anual é de 1328,7mm (IBGE, 2005).

A área irrigada da Fazenda São João é de aproximadamente 400ha, distribuídos em oito pivôs (Tabela 1), sendo cada pivô historicamente dividido em duas áreas homogêneas para amostragens (parte alta e parte baixa), com exceção do pivô 2, que é um pivô de 180 graus. Ressalta-se que não há diferença significativa de altitude em relação às chamadas partes alta e baixa. Trata-se apenas de

uma divisão física, separada por um carreador. Dessa forma, quando se trabalha com amostragem convencional, há 15 áreas homogêneas a serem amostradas na fazenda.

Tabela 1. Distribuição e áreas (ha) dos pivôs na Fazenda São João, em Inhaúma, MG.

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	TOTAL
81	31	71	47	42	19	27	82	400

Fonte: Elaboração do autor

Anteriormente à instalação dos pivôs, as áreas onde estão localizados os pivôs 2, 3, 6 e 7 eram cultivadas com pastagens do gênero *Brachiária* e as áreas em que se localizam atualmente os pivôs 1 e 8, com a cultura do Eucalipto. Antes da implantação da irrigação, no ano de 2002, todas as áreas foram amostradas e feitas as devidas correções da acidez do solo, dos teores de fósforo e potássio. Nos anos de 2002 e 2003, as áreas eram cultivadas com milho para silagem, seguidas de aveia preta no outono/inverno. Entre os anos de 2004 e 2011, foram cultivados milho para silagem e feijão, respectivamente nas épocas de verão e outono/inverno. A partir de 2012, todas as áreas vêm sendo cultivadas com soja na safra de verão e com milho no outono/inverno.

Durante o trabalho de amostragem convencional do solo, foram amostradas 10 glebas homogêneas, sendo: pivô 1 parte alta, pivô 2 parte alta, pivô 3 parte alta/parte baixa, pivô 6 parte alta/parte baixa, pivô 7 parte alta/parte baixa e pivô 8 parte alta/parte baixa.

As amostragens por AC foram feitas em maio de 2012, na profundidade de 0,20cm, utilizando-se de um trado tipo “Holandês”. Dentro de cada gleba homogênea, em cada ponto de amostra simples, inicialmente o terreno foi limpo superficialmente com uma enxada para leve retirada das palhas superficiais e, posteriormente, foi feita a perfuração com trado, separando cada coleta de material em balde para posterior homogeneização, separação, embalagem e identificação das amostras. Em cada uma das glebas amostradas foram retirados 20 pontos amostrais (amostra simples) para compor uma amostra composta. A amostragem seguiu-se em forma zig-zague, buscando maior representatividade de todo o terreno.

Foi feita posteriormente a amostragem de solo nas mesmas áreas, com o uso da AP pela empresa Novatec. A única diferença da amostragem por AP para a AC, realizada na fazenda, foi que na AP foram respeitados espaços ou grades de amostragem. O gride adotado na fazenda foi de 1ha. Por exemplo, no pivô 1 (parte alta, com 40ha), foram feitas 40 amostragens dentro da mesma gleba, sendo 6 perfurações (subamostras) para cada amostra, representando um total de 240 subamostragens, no total, para essa área.

Durante a amostragem por AP, foi utilizado um GPS para identificação dos pontos georreferenciados. A amostragem foi feita utilizando-se um amostrador hidráulico e uma broca helicoidal da marca SACI, acoplada a um quadriciclo que percorreu toda a extensão do terreno. No ato da coleta, o operador foi guiado pelo GPS a cada ponto indicado.

Todas as amostras foram homogeneizadas, separadas, identificadas e enviadas ao laboratório de análise de solo e folhas Fertilab, localizado no município de São Gotardo - MG. As análises químicas foram executadas, utilizando-se os métodos e extratores de rotina, conforme metodologias descritas em Silva (1999), com exceção das determinações de P e K, as quais seguiram procedimentos descritos por Raij et al. (1987).

A partir dos resultados das análises de solo, foram realizadas as interpretações e recomendações para os dois métodos: AP e AC, conforme recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSEMG (1999), comparando-se as recomendações de calagem e

adubação para as culturas de milho e soja. Exceto para P e K, foi utilizado o Boletim Técnico 100 do Instituto Agrônômico (RAIJ et al., 1997) para interpretação e recomendação de adubação.

Resultados e discussão

Interpretações dos resultados de análise de solo e recomendação de fertilizantes

Os resultados das análises de solo, cujas amostras foram retiradas de forma convencional, são apresentados na Tabela 2. Para a acidez ativa (pH em água), os valores observados se encontram dentro de níveis adequados, preconizados pela CFSEMG (1999), visto que a maior parte dos valores de pH está próxima da classe de interpretação descrita como Bom (valores entre 5,5 e 6).

Tabela 2. Resultados de análise de solo obtidos pelo método convencional de amostragem

Descrição da amostra	pH		P	K	Ca	Mg	Al	H+A1	MO	V
	H ₂ O	CaCl ₂	mg.dm ⁻³			cmol _c .dm ⁻³			g.dm ⁻³	%
Pivô 1 Parte Alta	6,0	5,2	142	0,67	3,5	1,1	0,0	3,0	31,5	63,8
Pivô 2 Parte Alta	6,2	5,3	85	0,53	2,9	0,9	0,0	2,4	26,5	64,7
Pivô 3 Parte Alta	6,2	5,5	68	0,60	3,3	0,9	0,0	2,3	26,5	67,8
Pivô 4 Parte Alta	6,4	5,7	67	0,53	3,2	1,1	0,0	2,1	24,5	69,3
Pivô 6 Parte Alta	6,3	5,6	68	0,38	4,9	1,6	0,0	2,4	39,5	74,0
Pivô 7 Parte Alta	6,4	5,8	54	0,25	4,3	1,5	0,0	2,4	34,5	71,4
Pivô 8 Parte Alta	6,3	5,5	54	0,53	3,2	0,9	0,0	2,2	21,0	67,8
Pivô 3 Parte Baixa	6,1	5,4	34	0,53	3,1	0,9	0,0	2,4	25,5	65,3
Pivô 7 Parte Baixa	6,3	5,7	67	0,51	4,9	1,5	0,0	2,4	38,0	73,6
Pivô 8 Parte Baixa	6,5	5,6	54	0,34	3,7	1,3	0,0	2,8	31,0	65,9

Fonte: Elaboração do autor

Os teores de P, na maioria dos pivôs, podem ser classificados dentro das classes de interpretação Alto ou Muito Alto, para as culturas anuais, de acordo com o Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997), que são respectivamente de 41-80 e maior que 80 mg.dm⁻³. A única exceção se aplica ao pivô 6, parte baixa, em que os teores de P se encaixam dentro dos teores médios (15-40 mg.dm⁻³).

Da mesma forma ao observado para o P, praticamente todos os teores de K se encaixam dentro de valores adequados. Com exceção do pivô 8 (parte alta), em que os teores de K observados foram médios (teores entre 0,16 e 0,3 cmol_c.dm⁻³), em todas as demais áreas os valores observados se enquadraram dentro da classe Alta de disponibilidade de K (teores entre 0,31 e 0,6 cmol_c.dm⁻³), de acordo com o Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997).

Por sua vez, os teores de Ca e Mg se encaixam na classe de interpretação Bom ou Muito Bom, que é de 2,4 a 4,0 (Bom) e maior do que 4 cmol_c.dm⁻³ (Muito Bom) para Ca e de 0,9 a 1,5 (Bom)

e maior do que $1,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (Muito Bom) para Mg. Ressalta-se também que não existe Al trocável em todas as glebas (valor zero) e que todos os valores de V% (saturação por bases) se encontram acima do recomendado para as culturas de milho e soja, de acordo com a CFSEMG (1999). Dessa forma, baseando-se nos teores de nutrientes e nos demais atributos do solo, obtidos pela AC, não seria necessária qualquer inserção tanto de corretivo de acidez como de outros fertilizantes para correção do solo em Ca, Mg, P e K das áreas amostradas.

O teor de MO é muito usado como indicador da qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005); todavia, em áreas cultivadas, esse indicador pode não ser usado isoladamente para determiná-la (SOUZA et al., 2006). Assim, como a área do estudo é intensamente cultivada, com um mínimo de dois ciclos de cultivo por ano, torna-se difícil determinar a qualidade de seus solos com uso apenas do resultado da MO.

Os valores médios dos teores de nutrientes no solo e dos principais atributos obtidos por AP, em média, são apresentados na Tabela 3. Embora não seja possível comparar estatisticamente esses dados com aqueles obtidos pela amostragem convencional, vê-se que os teores médios obtidos por cada nutriente, pelos dois métodos de amostragem, se enquadraram dentro das mesmas classes de interpretação de fertilidade do solo. Esse é um parâmetro importante de comparação, uma vez que as recomendações de corretivos e fertilizantes são definidas a partir dessas classificações (classes de interpretação).

Tabela 3. Resultados médios de análise de solo obtidos pelo método da AP de amostragem

Descrição da amostra	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+A1	MO	V
	CaCl ₂	mg.dm ⁻³			cmol _c .dm ⁻³			g.dm ⁻³	%
Pivô 1 Parte Alta	6,0	75,3	0,66	4,8	1,0	0,0	7,0	29,3	62,5
Pivô 2 Parte Alta	5,0	89,0	0,56	3,0	0,8	0,0	4,3	20,3	58,7
Pivô 3 Parte Alta	5,6	29,2	0,63	3,7	0,9	0,0	5,2	17,5	66,4
Pivô 6 Parte Alta	5,7	16,8	0,47	3,0	0,8	0,0	4,3	15,0	64,0
Pivô 7 Parte Alta	5,6	30,3	0,42	4,5	1,2	0,0	6,1	20,0	70,0
Pivô 8 Parte Alta	5,7	27,9	0,30	4,5	1,2	0,0	5,9	26,8	69,9
Pivô 3 Parte Baixa	5,6	59,3	0,40	3,7	0,9	0,0	5,0	20,3	64,7
Pivô 6 Parte Baixa	5,2	12,1	0,43	2,7	0,7	0,0	3,8	12,0	59,0
Pivô 7 Parte Baixa	5,9	27,2	0,49	4,7	1,2	0,0	6,4	19,0	74,0
Pivô 8 Parte Baixa	5,6	31,8	0,32	4,3	1,1	0,0	5,8	23,7	70,2

Fonte: Elaboração do autor

Quando se compara a classe de interpretação de fertilidade de cada um dos nutrientes obtidos pela AC (Tabela 2) e amostragem por AP (Tabela 3), observa-se muita semelhança para os teores de K, Ca, Mg, Al e para os valores de V% e pH em CaCl₂, os quais ficaram praticamente dentro das mesmas classes de interpretação. Por outro lado, houve muita diferença entre as classes de interpretação de fertilidade para os teores de P, obtidos para cada um dos métodos de amostragem.

Baseando-se na Tabela 4, podem-se observar claramente as diferenças das duas metodologias referentes às classes de fertilidade para o nutriente P e a recomendação de adubação fosfatada para a cultura do milho, mesmo em uma propriedade agrícola com solos de fertilidade média a alta. Essas diferenças na avaliação do P pelas duas metodologias provavelmente se devem à variabilidade espacial do P nos solos (RESENDE et al., 2006).

Tabela 4. Classe de Interpretação para teores de P e K e estimativa de doses para produção de 12 toneladas de milho por hectares.

Gleba	Amostragem Convencional				Amostragem Agricultura Precisão			
	Classe de Interpretação		Adubação Milho (kg/ha ⁻¹)		**Classe de Interpretação		Adubação Milho (kg/ha ⁻¹)**	
	P	K	P	K	P	K	P	K
	Caracterização		P ₂ O ₅	K ₂ O	Caracterização		P ₂ O ₅	K ₂ O
Pivô 1 Parte Alta	Muito Alta	Muito Alta	50	50	Alta	Muito Alta	50	50
Pivô 2 Parte Alta	Muito Alta	Alta	50	50	Muito Alta	Alta	50	50
Pivô 3 Parte Alta	Alta	Alta	50	50	Média	Alta	70	50
Pivô 6 Parte Alta	Média	Alta	50	50	Média	Alta	70	50
Pivô 7 Parte Alta	Alta	Alta	50	50	Média	Alta	70	50
Pivô 8 Parte Alta	Alta	Média	50	50	Média	Média	70	50
Pivô 3 Parte Baixa	Alta	Alta	50	50	Alta	Alta	50	50
Pivô 6 Parte Baixa	Média	Alta	70	50	Média	Alta	100	50
Pivô 7 Parte Baixa	Alta	Alta	50	50	Média	Alta	70	50
Pivô 8 Parte Baixa	Alta	Alta	50	50	Média	Alta	70	50

**Recomendação de adubação para a cultura do milho, de acordo com o Boletim Técnico 100 (RAIJ et al., 1997)
Fonte: Elaboração do autor

Para o nutriente fósforo, se fosse adotada a AC, possivelmente o produtor iria subestimar a adubação do nutriente em algumas áreas. No entanto, as vantagens da AP não podem ser discutidas baseando-se em dados médios, já que um dos seus principais benefícios seria permitir o conhecimento da propriedade de forma localizada. Segundo Resende et al. (2010), mesmo em solos de alta fertilidade, existem diferenças de fertilidade entre alguns talhões, evidenciando que a utilização uniforme do corretivo ou fertilizante em área total ocasionaria desperdício por parte do produtor, podendo resultar em degradação do meio ambiente e redução dos lucros.

Em outras áreas, mesmo classificadas como de média ou alta fertilidade, podem ocorrer pontos com baixos teores de determinado nutriente, que poderiam limitar a produtividade naquele local e, conseqüentemente, contribuir para redução da produtividade média da área e do lucro final do produtor. Essa afirmação pode ser confirmada quando se observam os mapas de distribuição de P (Figura 1) e K (Figura 2) no pivô 1, parte alta, que é usado como exemplo.

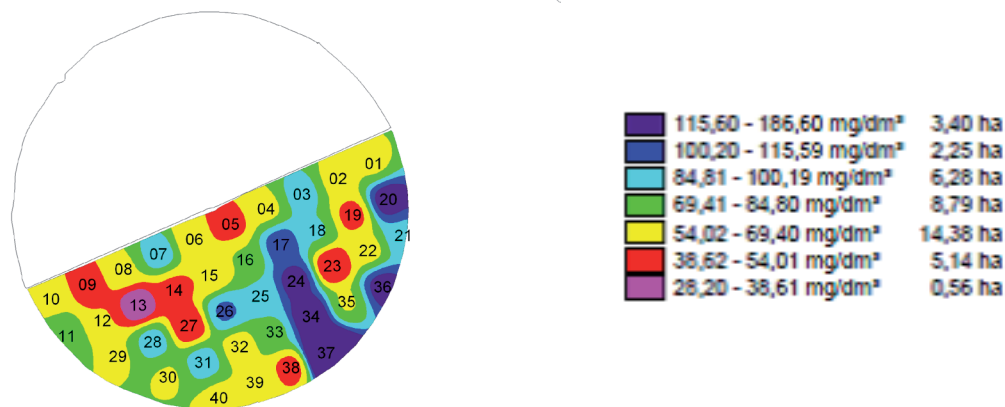


Figura 1. Mapa de distribuição dos teores de P no pivô 1, parte alta, na Fazenda São João.
Fonte: Elaboração do autor

No mapeamento da distribuição dos teores de P no pivô 1 parte alta (Figura 1), foram numerados 40 pontos (com seis subamostras cada), em que os teores de P variaram de 28,2 (classe de fertilidade Média) a 186,6 mg.dm⁻³ (classe de fertilidade Muita Alta), mostrando a alta variabilidade do nutriente nessa área. Assim, se fosse adotado o resultado médio, conforme Tabela 3, a classificação da fertilidade da área com relação ao P seria alta e, dessa forma, a quantidade recomendada de nutriente não atenderia à demanda da cultura do milho em vários pontos da gleba. Por outro lado, essa quantidade poderia ser excessiva em alguns pontos, com altos teores de P, descritos em azul escuro (pontos 20, 24, 34, 36 e 37) e azul médio (pontos 17 e 26), conforme mostrado na Figura 1, destacando que uma aplicação homogênea (manejo incorreto) em toda a gleba poderia ocasionar problemas na produção e na conservação do solo e água (MASCARENHAS et al., 2000).

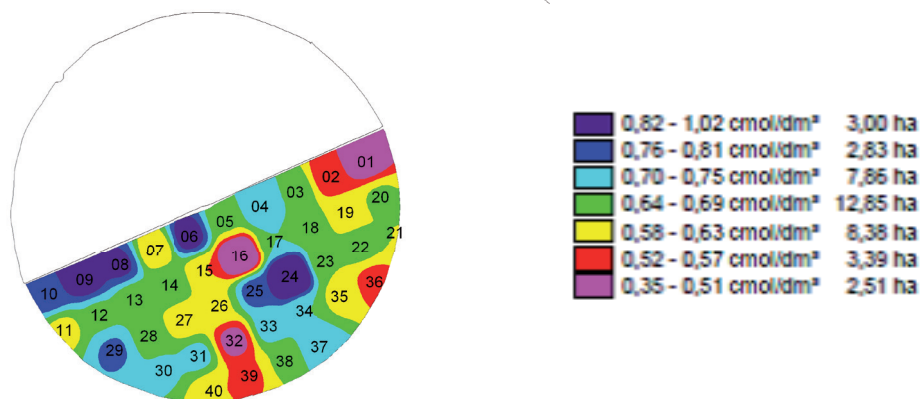


Figura 2. Mapa de distribuição dos teores de K no pivô 1 parte alta, na Fazenda São João.
Fonte: Elaboração do autor

Quando se comparam os teores médios de K (Tabela 3) com a distribuição do nutriente no pivô 1, parte alta, observa-se uma grande variabilidade dos teores de K, variando de 0,35 (classe de fertilidade alta) a 1,02 (classe de fertilidade muito alta). Portanto, em uma eventual aplicação homogênea, haveria desperdício de fertilizante em alguns pontos na gleba, principalmente nos destacados em azul escuro (06, 08, 09 e 24), azul médio (10, 25 e 29), azul claro (04, 30, 31, 33, 34 e 37) e verde (03, 05, 12, 13, 14, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 28 e 38), visíveis na Figura 2.

Mesmo a interpretação da classe de fertilidade (dos valores em média) sendo a mesma para as duas metodologias, a AP foi importante para a determinação da variabilidade espacial dos teores de K no solo. Seu uso é importante para dar segurança aos agrônomos de campo na recomendação dos corretivos e fertilizantes a serem utilizados, principalmente nas grandes propriedades, em que grandes somas de recursos são empregadas em tais culturas.

Recomendações de corretivos para culturas de milho e soja

Conforme mencionado anteriormente, os dados referentes à V%, teores de Ca, Mg e Al, mostraram semelhanças nas suas classes de interpretação da fertilidade do solo entre os dois métodos de amostragem, comparando-se os dados médios dos dois tipos de amostragens. Contudo, observando a distribuição da V%, verificam-se valores bastante heterogêneos dentro das glebas. Para ilustrar essa afirmação, as figuras 3 e 4 apresentam mapas de V% para os pivôs 1 e 8, parte alta.

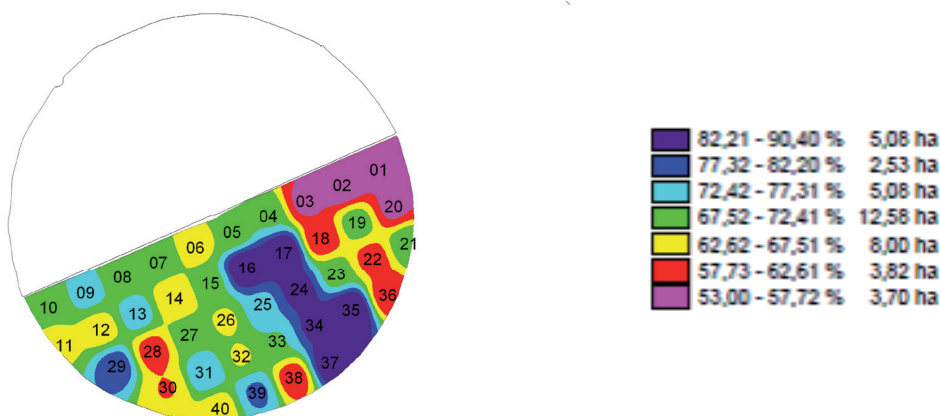


Figura 3. Mapa de distribuição dos valores de Saturação por Bases (V%) no pivô 1 parte alta, na Fazenda São João.

Fonte: Elaboração do autor

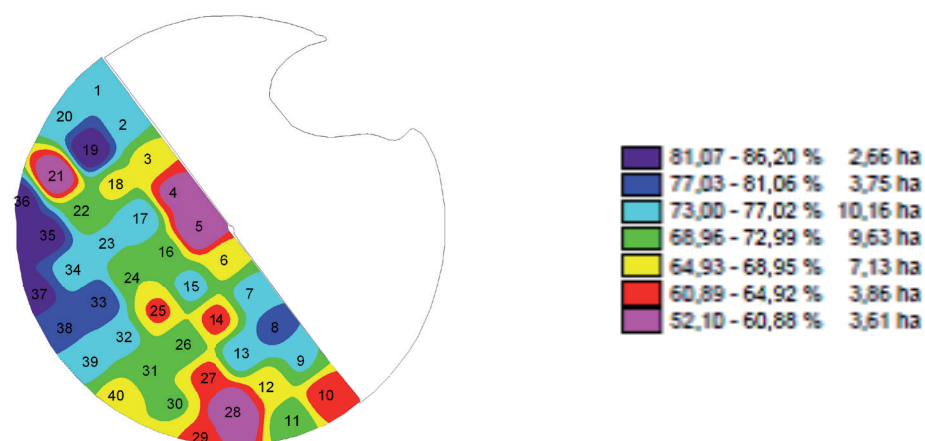


Figura 4. Mapa de distribuição dos valores de Saturação por Bases (V%) no pivô 8 parte alta na Fazenda São João.

Fonte: Elaboração do autor

Com bases nas tabelas 2 e 3, os valores de V% estão acima de 60%, que é o recomendado para as culturas de milho e soja (CFSMG, 1999). No entanto, quando se observam os mapas das

figuras 3 e 4, verifica-se uma alta variabilidade dos valores de V% e a necessidade de inserção de corretivos em alguns pontos. Segundo Resende et al. (2010), os mapas de isolinhas evidenciam que, mesmo em solos de alta fertilidade, há diferença de fertilidade entre pontos na mesma gleba, mostrando que uma aplicação homogênea de corretivo, em área total, poderia ocasionar desperdício de corretivos, com possível degradação do meio ambiente e quedas nos lucros do produtor.

Nas figuras 5 e 6, são apresentados os mapas de recomendação de calcário para os pivôs 1 e 8, parte alta. Verifica-se que há uma grande variabilidade de doses dentro de cada uma das áreas.

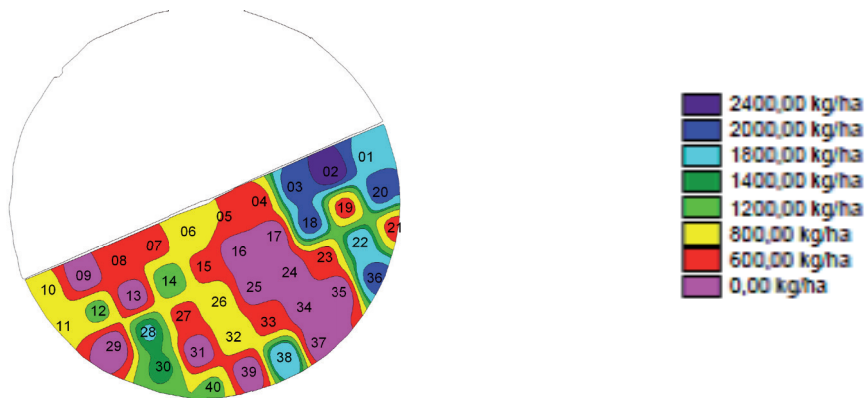


Figura 5. Mapa de recomendação do Calcário no pivô 1, parte alta, na Fazenda São João.
Fonte: Elaboração do autor

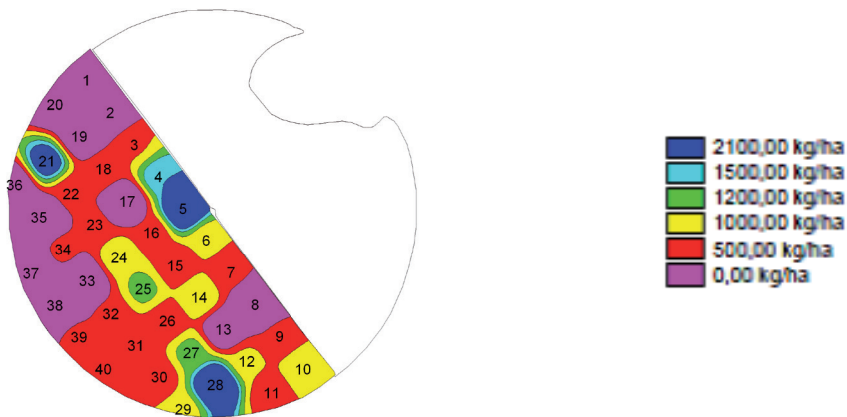


Figura 6. Mapa de recomendação do Calcário no pivô 8, parte alta, na Fazenda São João.
Fonte: Elaboração do autor

Assim como discutido para a recomendação da CFSMG (1999), também com base nas recomendações do Boletim Técnico 100 do Instituto Agrônomo (RAIJ et al., 1997), para elevar o V% a 70, não haveria necessidade de calcário nessas glebas. Dessa forma, pode-se concluir que a AP pode evitar a utilização de subdoses de calcário em partes ácidas do terreno e altas doses nos locais já corrigidos.

A calagem em excesso aumentaria de forma demasiada o pH do solo, causando principalmente deficiências de micronutrientes (MOREIRA et al., 2001). Além disso, poderia diminuir a absorção de K pela alta competição desse com o Ca e o Mg do corretivo. Tal situação, além de indesejável do ponto de vista econômico, causa desequilíbrios nutricionais com redução do rendimento, deficiência de micronutrientes e degradação do meio ambiente. Entretanto, uma calagem bem feita e na quantidade exigida pela cultura aumenta a absorção de K e N pelas plantas (JAWORSKI; BARBER, 1957). Solos

manejados com baixas doses de calcário permanecem ácidos, diminuindo o crescimento da cultura e aumentando a quantidade de plantas daninhas (MASCARENHAS et al., 2000).

Conclusões

O solo da propriedade apresenta alta fertilidade, independente do método de amostragem.

Mesmo em solos com alta fertilidade, os mapas obtidos pela AP mostram que há variabilidade de fertilidade nas glebas, apontando a necessidade de corretivos em alguns pontos.

O mapeamento da fertilidade do solo pela AP permite mais segurança na interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes, proporcionando economia de recursos financeiros.

Evaluation of soil fertility by Precision and Conventional Farming

Abstract

The aim of this study was to compare the methodologies for soil sampling in Precision and Conventional Farming in order to evaluate soil fertility. Soil samples were obtained in a conventional agriculture and precision farming, irrigated by center pivot and cultivated with corn and soybeans in ten areas of a farm located in Inhaúma, central region of Minas Gerais state, Brazil. The samples were analyzed, interpreted and carried the recommendation of fertilizers for each of the plots. Comparing the average of the fertility data between the two sampling methods, we observed little difference for the majority of nutrients, except for P. The results showed that the soils have high fertility, regardless of the method of analysis. Fertility maps showed that there are differences in fertility plots, requiring corrective in some points. Although it is known and told that in high fertility soils there is no benefit in adopting Precision Farming, because of the cost of sampling, mapping the fertility by Precision Farming allows more certainty in interpretation and recommendation of corrective fertilizer.

Keywords: Spatial variability. Geostatistics. Soil sampling.

Referências

BARBIERI, D. M.; JÚNIOR J. M.; PEREIRA G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 645-653, out./dez. 2008.

BORGELT, S. C.; SEARCY, S. W.; STOUT, B. A.; MULLA, D. J. Spatially variable liming rates: a method for determination. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 37, n. 5, p. 1499-1507, 1994.

COELHO, A. M. **Agricultura de Precisão**: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. Documentos 46 - Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, 2005.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação do uso de corretivos e fertilizantes no estado de Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa, MG, 1999.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

CORÁ, J. E.; BERHALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

CORREA, J. G. **Acompanhamento de atividades de suporte técnico e análise de soluções para agricultura de precisão**. Estágio profissionalizante em Engenharia Agrônoma. Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012.

DERCON, G.; DECKERS, J.; POESEN, J.; GOVERS, G.; SANCHEZ, H.; RAMIREZ, M. VANE-GAS, R.; TACURI, E.; LOAIZA, G. Spatial variability in crop response under contour hedgerow systems in the Andes region of Ecuador. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 1-2, p. 15-26, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.

FERRAZ, G. A. E. S.; SILVA, F. M.; CARVALHO, F. M.; COSTA, P. A. N.; CARVALHO, L. C. C. Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 906-915, out. 2011.

GOERING, C. E. Recycling a concept. **Agricultural Engineering Magazine**, St. Joseph, Nov. 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2005.

JAWORSKI, C. A.; BARBER, S.A. Soil properties as related to potassium uptake by alfafa. **Soil Science**, v. 86, p. 37-41, 1957.

KELLOG, C. E. We seek; we learn. In: STEFFERUD, A. (Ed.). **The yearbook of Agriculture: Soil**. Washington, D.C, USDA, p. 1-11, 1957.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BHORGUI, E. Geoprocessamento e agricultura de precisão - Fundamentos e Aplicações. **Agropecuária**, Guaíba, v. 1. 2001. 118 p.

LEÃO, A. B.; ANDRADE, A. R. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; GUERRA, H. O. C. Variabilidade espacial de Fósforo em solo do perímetro irrigado. Engenheiro Arcoverde PB. **Revista Ciência Agrônoma**, Fortaleza-CE, v. 38, n. 1, p. 1-6, 2007.

MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; CARMELLO, Q. A. C.; GALLO, P. B.; AMBROSANO, G. M. B. Calcário e potássio para a cultura de soja. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 57, n. 3, set. 2000.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em Sistemas de Semeadura Direta e Efeitos Sobre a Acidez do Solo, Disponibilidade de Nutrientes e Produtividade de Milho e Soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 25, p. 71-81, 2001.

MZUKU, M.; KHOSLA, R.; REICH, R.; INMAN, D.; SMITH, F.; MACDONALD, L. Spatial variability of measured soil properties across site-specific management zones. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 69, n. 5, p. 1572-1579, 2005.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise Química do Solo para fins de Fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. **Boletim Técnico 100**. Campinas: IAC, 1997. 285p.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; SENA, M. C.; KRAHL, L. L.; OLIVEIRA, J. V. F.; CORREA, R. F.; ORO, T. Grades amostrais para fins de mapeamento da fertilidade do solo em área de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. 2. São Pedro – SP, 2006. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006.

RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; COELHO, A. M.; CORAZZA, E. J.; VILELA, M. F.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; BASSOI, L. H.; NAIME, J. M. Agricultura de precisão no Brasil: Avanços, Dificuldades, e Impactos no Manejo e Conservação do Solo, Segurança Alimentar e Sustentabilidade. In: XVIII REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA **Anais de evento**. Teresina-PI, 2010. Disponível em: adufpi.org.br/arquivos/programa1.pdf. Acesso em: 10/08/13

ROSSATO, T. Agricultura de precisão. **Relatório de estágio curricular supervisionado**. Curso Técnico Agrícola com Habilitação em Agricultura, Instituto Federal Farroupilha - Júlio de Castilhos, RS, Mar. 2010.

SCHLOEDER, C. A.; ZIMMERMAN, N. E.; JACOBS, M. J. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 2, p. 470-479, 2001.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. **Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária**, Brasília, 370p, 1999.

SMITH, H. F. An empirical law describing heterogeneity in fields of agriculture crops. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 28, p. 1-23, 1938.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum - Agronomy**, Maringá, v. 28, p. 305-311, 2006.

SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. Soil tillage and precision agriculture: A theoretical case study for soil erosion control in Brazilian sugar cane production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 1-2, p. 47-54, 2001.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, n. 1, p. 45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVARE, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54, 2000.

Histórico editorial

Submetido em: 01/09/2014

Aceito em: 10/02/2015