

MANEJO LOCALIZADO DA FERTILIDADE DO SOLO EM INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA

COELHO, A. M.¹

Palavras-chaves: Pastagem, milho, zona de manejo, taxa variável, calcário, fertilizante.

Introdução: No Brasil, o modelo extrativista adotado na pecuária deflagrou processos de degradação dos solos, condicionando a redução da capacidade produtiva das pastagens, principal ou exclusiva fonte alimentar dos rebanhos. Apenas na região dos cerrados, estima-se que, dos 40 milhões de hectares de pastagens cultivadas, cerca de 80 % encontra-se em algum estágio de degradação (KLUTHCOUSKI et al., 2004). Esta extensa área de pastagem com capacidade de produção reduzida ou degradada faz que as produções por animal e por hectare se situem em níveis próximos aos das pastagens naturais (BARCELOS, 1996). O quadro fica mais grave quando se analisam a necessidade de modernização, ampliação da capacidade produtiva e o grau de competitividade exigido pelo setor diante dos novos competidores no mercado de carne. Segundo ANUALPEC (2000), as principais causas da degradação das pastagens são: baixa fertilidade dos solos; má formação inicial das pastagens; pressão de pastejo inadequada; manejo excessivamente baixo das forrageiras e ataque de cigarrinha e ou fogo. A sustentabilidade dos sistemas de produção animal em pasto, quer da bovinocultura de corte ou de leite, está intimamente ligada à reversão desse processo. Esta reversão inicia-se pela melhoria da qualidade dos solos, tendo como etapa inicial a identificação do grau de degradação através da avaliação dos atributos físicos e químicos. Em função da variabilidade devida aos fatores e processos de formação dos solos e/ou pela ação antrópica na prática da agricultura, através do gerenciamento de forma homogênea de extensas áreas, com aplicação de corretivos e fertilizantes em doses únicas, o processo de degradação não é uniforme. Recentemente, com o desenvolvimento dos conceitos da agricultura de precisão, associado a equipamentos capazes de medir

¹Pesquisador, PhD, Agricultura de Precisão, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. E-mail: amcoelho@cnpms.embrapa.br

a variabilidade e aplicação de insumos (corretivos, fertilizantes, herbicidas, sementes, etc.) a taxas variáveis, há possibilidade de se reverter essa situação, permitindo, assim, o manejo dos solos e culturas de modo mais específico. Fortemente baseada na tecnologia da informação, a agricultura de precisão tem, como um de seus principais objetivos, maximizar a eficiência na utilização dos insumos agrícolas, aplicando-os diferencialmente ao longo de uma determinada área de acordo com as reais necessidades de cada zona de manejo pré - estabelecida. A aplicação a taxa variável de calcário, gesso e fertilizantes apresenta-se com potencial de uso, principalmente para correção do solo, adubação corretiva e de manutenção. O presente trabalho tem por objetivo mostrar o potencial de utilização dos princípios e tecnologias da agricultura de precisão no gerenciamento da fertilidade dos solos na recuperação e renovação de pastagens degradadas.

Degradação das pastagens: De acordo com KICHEL et al. (1997), o termo degradação de pastagens é usado para designar um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade e da capacidade de regeneração natural de uma pastagem. Por décadas, o esgotamento da fertilidade natural do solo tem conduzido os pecuaristas a uma cíclica substituição de espécies forrageiras, sempre no sentido daquelas menos exigentes e, freqüentemente, de menor valor nutritivo. Nestas condições, o capim – colonião cedeu lugar às braquiarias (Figura 1).

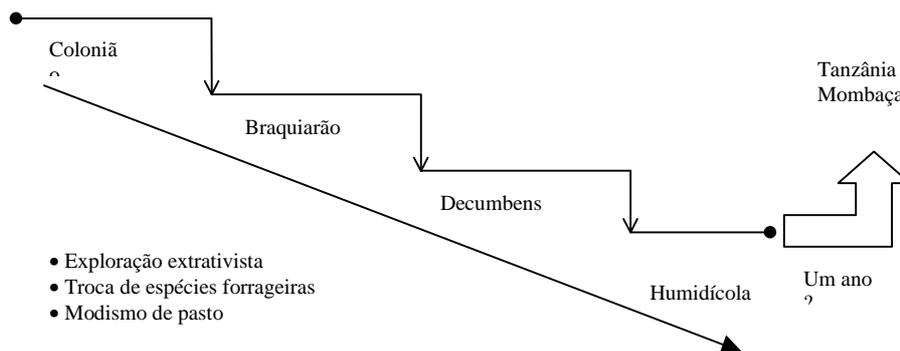


Figura 1. Substituição de espécies forrageiras em função do grau de adaptação em gradiente decrescente as condições de fertilidade do solo, como estratégia utilizada pelos pecuaristas na recuperação de pastagens degradadas.

Esta substituição freqüente de forrageiras mais exigentes por outras menos exigentes e de pior qualidade na formação de pastagens (Figura 1) quase sempre demonstra a extensão do problema de degradação de pastagens. A cada ciclo da pecuária, o pecuarista sai em busca de um “capim milagroso”, preocupado em encontrar uma espécie forrageira que se adapte bem em solo de baixa fertilidade. A qualidade deste tipo de forrageira é pobre e ela suporta baixa lotação animal. De acordo com SOARES FILHO (1993), a baixa fertilidade do solo é um aspecto que deve ser destacado quando se pretende buscar a recuperação e/ou renovação da pastagem, enfatizando ainda que, além dos problemas de acidez do solo, tem sido freqüentes as limitações por fósforo (P), nitrogênio (N), enxofre (S) e potássio (K). Para reverter este processo é necessário um nova forma de encarar a atividade, através da tomada de uma decisão diferente, com administração da propriedade de uma maneira diferente. Assim, a reforma de pastagens não pode ser entendida como uma atividade isolada, mas sim fazendo parte de uma conjunto de aplicações tecnológicas, as quais caminham juntas para aumentar a produtividade das propriedades agrícolas. Esta deve visar o aumento de produtividade, a preservação do solo e consequentemente do ambiente, e ser viável economicamente.



Figura 2. Aspecto geral de uma área de pastagem degradada (a) e após a renovação através da calagem, adubação e manejo adequado (b).

Identificação da variabilidade e nível de degradação da fertilidade dos solos: A primeira etapa é o de identificar a

variabilidade espacial dos indicadores da fertilidade do solo e, se possível, dependendo da magnitude e da estrutura espacial dessa variabilidade, estabelecer zonas uniformes de manejo. As ferramentas voltadas para dimensionar e localizar a variabilidade nos atributos físico-químicos dos solos e para aplicação localizada de insumos já se encontram disponíveis no mercado. Embora vários métodos tem sido recomendados para identificar, caracterizar e entender a variabilidade dos atributos físico-químicos dos solos, a amostragem sistematizada e análises dos solos tem sido normalmente utilizada.

Amostragem de solos: O método mais comum para a amostragem sistemática de solos em uma área é o de sobrepor uma grade quadrada ou retangular em um mapa ou fotografia da área, identificar e dirigir ao local e coletar amostras de solos em cada célula. Dentro de cada célula, a amostragem pode ser ao acaso, coletando-se várias subamostras, ou pontual, na qual as subamostras são coletadas em um raio de 3 a 6 m de um ponto central. A recomendação do espaçamento das grades (malhas) para amostragens de solos varia de 60 m x 60 m a 140 m x 140 m, em função da resolução desejada (precisão) associada aos custos. O número de subamostras simples, para compor a amostra composta, a serem coletadas em cada célula, varia de 5 a 10, sendo maior para as células de maiores dimensões. A profundidade de amostragem deve ser, no mínimo, de 0 a 0,20 m e, às vezes, também na camada de 0,20 a 0,40 m. Na Figura 3, é apresentado um sistema de amostragem de solos em malhas (grid) de 2,0 ha, em uma área de 38 ha, onde foram coletadas 10 subamostras simples em cada célula, totalizando 21 amostras compostas.

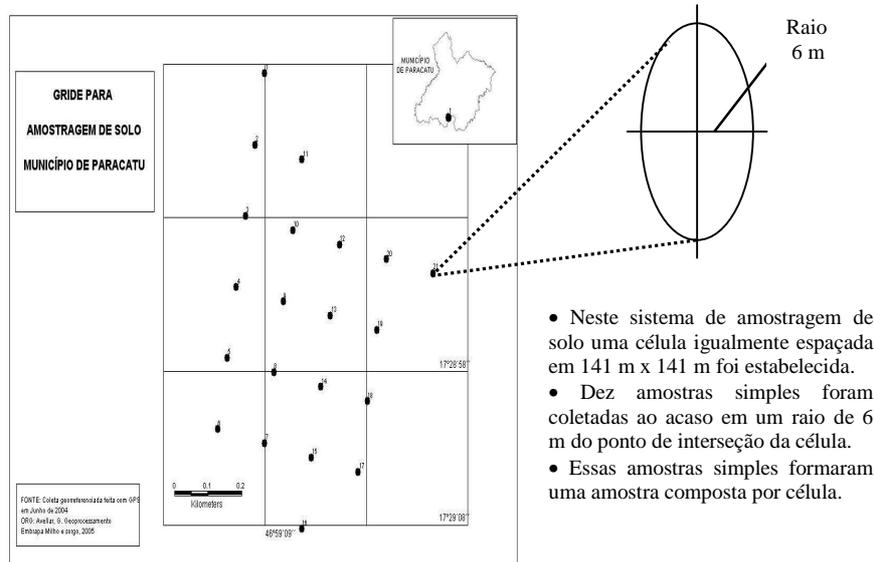


Figura 3. Sistema de amostragem de solo em malhas de dois hectares, de uma propriedade no Município de Paracatu, MG. Fonte: Elaborado com dados de CUNHA, T.F., CAMPO, Paracatu, MG. Comunicação pessoal, 2005.

Um aspecto importante é a definição dos parâmetros de solo a serem analisados, que possibilitem identificar o nível de fertilidade dos solos da área em estudo. Neste sentido, os seguintes parâmetros são sugeridos: pH (água ou CaCl_2), cátions trocáveis (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+), P- disponível, micronutrientes (Zn, Cu, Mn, Fe, B) e matéria orgânica. Estas determinações são importantes pois são a base de recomendação de corretivos e fertilizantes. Outras determinações, como por exemplo, análise textural (areia, silte, argila), densidade global e condutividade elétrica podem também ser realizadas. Na Tabela 1, são sumariados os resultados dos indicadores da fertilidade do solo de uma área sob pastagem em estado de degradação.

Tabela 1. Variabilidade nos indicadores da fertilidade de um Neossolo Quartzarênico, sob pastagem de Braquiária decumbes, em estado de degradação. Amostragem na camada de 0 a 0,10 m.

Indicadores	Parâmetros estatísticos			
	Mínimo	Máximo	Média	C.V. (%)
pH - CaCl ₂	4,30	5,10	4,60	5,41
H ⁺ +Al ⁺³ (cmol _c /dm ³)	1,70	3,80	2,78	17,82
Ca ⁺² (cmol _c /dm ³)	0,40	1,30	0,69	30,58
Mg ⁺² (cmol _c /dm ³)	0,30	0,70	0,43	33,63
K ⁺ (cmol _c /dm ³)	0,05	0,13	0,08	27,40
P - resina (mg/dm ³)	5,00	26,00	11,29	45,98
Soma de bases	0,62	2,19	1,18	25,56
CTC-pH7 (cmol _c /dm ³)	3,00	4,60	3,97	11,70
Sat. Bases (%)	17,00	48,00	30,33	26,15
Mat. Orgânica (dag/kg)	1,60	2,50	2,00	14,38

Fonte: modificada de MATTOS (2001)

Custos de amostragem, análises de solo e elaboração de mapas:

Um dos questionamentos relacionado ao uso das tecnologias da agricultura de precisão refere-se, principalmente, aos custos da amostragem e análises de solo. Isto é devido ao fato que, utilizando-se o sistema de amostragem em grades, aumenta-se em muito a necessidade de mão-de-obra e número de amostras a serem coletadas, com grande impacto no preço final das análises. Na Tabela 2, são apresentados os custos praticados pela CAMPO – Centro de Análises Agrícolas (Paracatu, MG) e PLANTAR – Planejamento e Assistência Técnica (Unaí, MG), na prestação de serviços georreferenciados de amostragem, análises de solos, elaboração de mapas e acompanhamento de aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis.

Deve ser enfatizado que o aspecto mais importante relacionado à avaliação econômica da agricultura de precisão é que o valor é proveniente das informações (dados) coletadas no campo e não do uso em si das tecnologias. Assim, as tecnologias disponíveis, discutidas anteriormente, irão possibilitar a geração de dados que tem que ser analisados e transformados em informações práticas, que poderão influenciar as decisões no manejo dos solos e culturas. Assim, os ganhos provenientes da agricultura de precisão são resultantes das decisões de manejo e não do uso das tecnologias disponíveis. Esse é o aspecto contrastante com as inovações na

agricultura tradicional, na qual o valor é proveniente do uso da nova tecnologia, como por exemplo, uma nova cultivar que aumenta a produção, ou um novo herbicida que reduz as perdas na produção.

Tabela 2. Custos, em R\$/ha, de amostragem de solos, análises e elaboração de mapas de fertilidade do solo.

Área - ha	Dimensões da malha (grid) de amostragem	
	2 ha (10 subamostras) ^{1/}	5 ha (10 subamostras)
< 100	36,60 ^{2/}	32,10
100 a 200	34,90	30,40
200 a 300	33,80	29,30
300 a 400	32,70	28,10
> 400	31,00	26,50

^{1/}Número de amostras simples coletadas em cada célula para compor uma amostra composta. ^{2/}Preços para prestação de serviços em um raio de atuação de 150 Km. Para distâncias superiores é cobrado R\$ 0,80 por quilômetro excedente. Análises de solo incluem as determinações de rotina (pH, H+Al, Al, Ca, Mg, P, K e M.O).

O primeiro conceito estabelece que o retorno econômico da agricultura de precisão está diretamente relacionado com a natureza e a extensão da variabilidade do meio biofísico na qual ela é aplicada. Se o meio biofísico é uniforme, então não haverá diferenças no retorno econômico entre a agricultura de precisão e a convencional. Entretanto, na medida em que há um aumento na heterogeneidade do meio biofísico, o retorno econômico tende a aumentar. O segundo conceito é que o retorno econômico é altamente dependente na capacidade humana de manejar a variabilidade espacial e temporal. Por exemplo, pode-se estimar os custos das tecnologias disponíveis e, com base nos princípios agrônômicos, prever as diferenças na eficiência da produção (aumento na produção por unidade de insumo). Entretanto, o retorno econômico pode não ser satisfatório se a decisão agrônômica não foi correta ou se o equipamento não foi adequadamente calibrado.

Definição de zonas uniformes de manejo: No manejo da fertilidade dos solos utilizando os conceitos e tecnologias da agricultura de precisão, para aplicação de corretivos e fertilizantes a

taxas variáveis é importante delinear as zonas uniformes de manejo. Neste aspecto, é importante a utilização das técnicas de geostatística e sistema de informação geográfica (SIG). Com o uso da geostatística pode-se definir a espacial estrutura da variabilidade existente, interpretada através da elaboração de semi-variogramas e utilizar a krigagem (Kriging) como método de interpolação, para se estimar o valores das variáveis entre os pontos amostrados (ISAACS & SRIVASTAVA, 1989). Na Figura 4, são apresentados semi-variogramas dos teores de P disponível, em solos sob pastagem de braquiária (Figura 4a) e cultivada com milho, em sistema de plantio direto (Figura 4b).

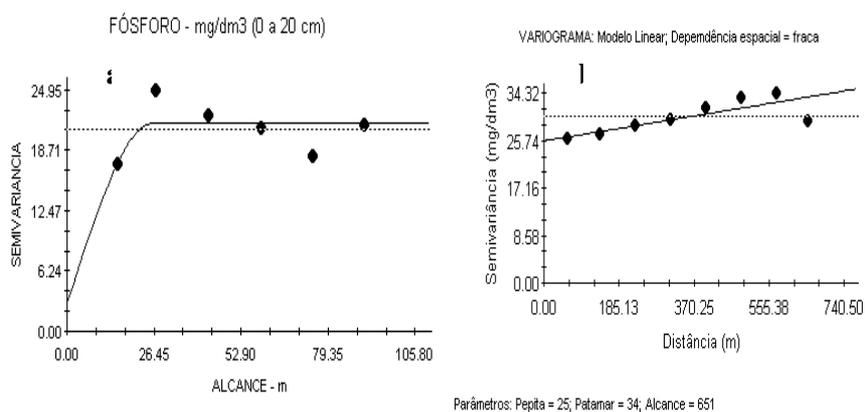


Figura 4. Experimental (●) e ajustado modelo de semi-variogramas (—) para os teores de P disponível em solos sob pastagem de braquiária (a) e cultivada com milho sob plantio direto (b). Fonte: COELHO (dados não publicados).

Estes semi-variogramas (Figura 4) permitem visualizar que, a princípio, as duas áreas apresentam diferenças na estrutura espacial da variabilidade nos teores de P disponível, com implicação na definição de zona uniformes para aplicação de doses de adubação fosfatada a taxas variáveis. Para a área sob pastagem de braquiária (Figura 4a), a análise geostatística revelou uma dependência espacial nos teores de P disponível. Pela análises comparativas entre os vários modelos e parâmetros, o modelo esférico, com efeito pepita (C_0) de 2,92; componente estrutural ($C_0 + C_1$) de 21,51 e alcance de 26,3 m, apresentou melhor ajuste aos

dados do semi-variogramas experimental. A dependência espacial, definida pela relação entre o efeito pepita e o componente estrutural $\{C_0/(C_0+C_1)\}$ foi de 0,86, classificada como forte dependência espacial (CAMBARDELLA et al., 1994). Por outro lado, o semi-variogramas para os teores de P disponível na área cultivada com milho (Figura 4b), apresentou ajuste linear, com efeito pepita (C_0) de 25,74; componente estrutural ($C_0 + C_1$) de 33,69 e alcance de 651 m, com fraca dependência espacial ($\leq 0,25$). Esta relação entre a dependência espacial na variabilidade da propriedades dos solos e a definição de zonas uniforme de manejo pode ser melhor visualizada com a elaboração dos mapas dos teores de P disponível da duas áreas mencionadas (Figura 5).

Verifica-se pelas mapas da Figura 5 que, para a área com pastagem de braquiária (Figura 5a), é possível definir, com base na variabilidade espacial dos teores de P, zonas uniformes para aplicação de fertilizante fosfatado a taxas variáveis. Estas zonas podem ser classificadas em três classes: A - $P = 1 \text{ mg/dm}^3$; B - $P = 4 \text{ mg/dm}^3$ e, C - $P \geq 7 \text{ mg/dm}^3$, com implicação na recomendação de doses de adubação fosfatada. Embora tenha-se constatado uma grande variabilidade nos teores de P na área cultivada com milho, o mapeamento desta variabilidade espacial (Figura 5b) indica que ela é complexa, sem uma definição clara que possibilite a separação de representativas zonas uniformes de manejo. As duas subáreas com teores muito baixo de P ($< 4 \text{ mg/dm}^3$), localizadas nas extremidades sudoeste e nordeste no mapa, são relativamente pequenas, o que limita, do ponto de vista técnico e econômico, a aplicação do conceito de taxa variável de fósforo. Este é um exemplo típico em que a variabilidade espacial dos teores de P não apresenta uma estrutura espacial que possibilite o manejo diferenciado para aplicação de doses variáveis de fertilizante fosfatado ao longo da área. De acordo com COELHO (2003), se a variabilidade não apresenta estrutura espacial, ou seja, se ela ocorre ao acaso em áreas muito pequenas, impossível de ser manejada, a melhor estimativa de qualquer parâmetro obtido da área é o valor médio, e a melhor maneira de se manejá-la é usando os conceitos da agricultura convencional, por meio de manejo uniforme.

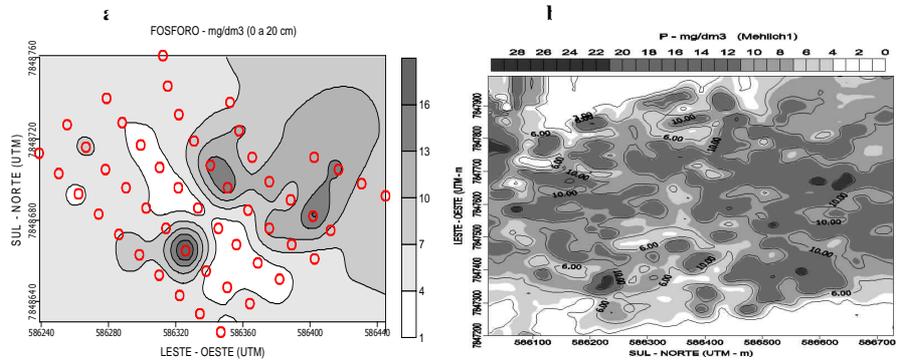


Figura 5. Mapas em contorno da variabilidade espacial dos teores de P disponível no solo, em área sob pastagem de braquiária (a) e cultivada com milho sob plantio direto (b). Fonte: COELHO (2004).

Aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis: Após ter caracterizado a variabilidade espacial dos indicadores da fertilidade dos solos, elaborado os mapas, identificando o potencial de aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis, de acordo com a zonas de manejo preestabelecidas, o passo seguinte consiste na elaboração dos mapas de aplicação dos diferentes insumos. As doses a serem estabelecidas devem ser baseada nas análises de solos e exigências nutricionais das espécies a serem cultivadas. É importante mencionar que, com a recente tecnologia da integração lavoura pecuária na recuperação de pastagens degradadas, culturas como a soja, milho, sorgo, etc., são também componentes do sistema de produção. Para exemplificar os conceitos discutidos anteriormente, é apresentado, na Figura 6, o mapa de aplicação de doses de calcário a taxas variáveis para uma área de 46,31 ha, sob pastagem em estado de degradação.

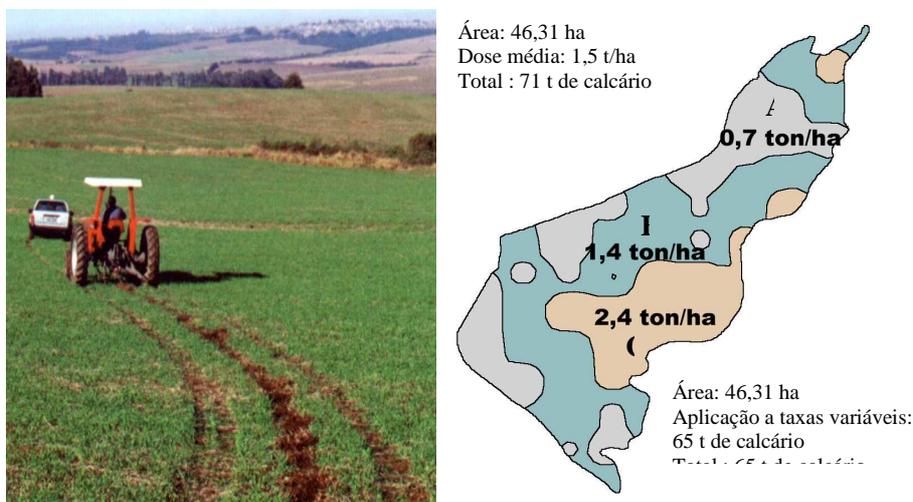


Figura 6. Vista de uma área sob pastagem em estado de degradação e mapa de aplicação de doses de calcário a taxas variáveis. Fonte: CORDEIRO, L.A.; IORA, C.J., LIMA, G.J.; CUNHA, T.F. CAMPO, Paracatu, MG. Comunicação pessoal, 2004.

Nesta área, o produtor deseja renovar a pastagem utilizando a tecnologia da integração lavoura pecuária, com a semeadura da soja por um ou dois anos. Para esta situação, as necessidades de calcário foram calculadas em função desta cultura. De acordo com os valores de saturação por bases da CTC pH 7, fornecidas pelas análises de solo e, considerando a necessidade de se atingir valores da ordem de 50 % de saturação por bases, foram definidas três zonas de manejo, para aplicação de doses de calcário a taxas variáveis (Figura 6). Tomando por base o valor médio dos resultados das análises de solo, há uma necessidade de calcário da ordem de 1,5 t/ha. Esta quantidade é insuficiente para a zona de manejo C, com necessidade de 2,4 t/ha e, excede a necessidade de calcário da zona A (0,7 t/ha), sendo próxima do valor calculado para a zona B (1,4 t/ha), ocorrendo assim, área com excesso de aplicação de calcário e área com subdosagem (Figura 6). Assim, utilizando o conceito de aplicação diferenciada de doses de calcário, há uma melhor distribuição de aplicação do corretivo, com reflexos na melhoria da uniformização da qualidade do solo e produtividade das culturas na área como um todo. Outro aspecto importante esta relacionado ao consumo total de calcário, sendo que, no exemplo mencionado, a quantidade foi menor (65 toneladas) com aplicação a

taxas variáveis, quando comparada às 71 toneladas com aplicação uniforme da dosagem média (Figura 6).

Para a distribuição no campo de fertilizantes e corretivos a taxa variável, dois métodos podem ser utilizados. O primeiro método refere-se ao emprego de distribuidor automatizado, com controlador de aplicação, acoplado a um trator equipado com computador de bordo. O equipamento disponível no mercado brasileiro é para aplicação a lanço (Figura 7), sendo que, para aplicação localizada no sulco de semeadura há necessidade de que a indústria desenvolva e disponibilize equipamento adequado. O segundo método consiste em demarcar, no campo, as diferentes zonas de manejo e, posteriormente fazer a distribuição do calcário e fertilizante com equipamento convencional (Figura 8).



Figura 7. Equipamentos para aplicação de fertilizantes à taxa variável. Trator equipado com computador de bordo (esquerda) e distribuidora automatizada de fertilizantes (direita). Fonte: Fotos do autor.

Conclusões: Enquanto os sistemas convencionais tratam as propriedades agrícolas de forma homogênea, tomando como base as condições médias das extensas áreas de produção para implementar as ações corretivas dos fatores limitantes da produção, a agricultura de precisão contempla a variabilidade espacial desses fatores para a tomada de decisão. As tecnologias e equipamentos utilizadas para identificar e dimensionar a variabilidade na produtividade das culturas e nos atributos físicos e químicos dos solos e para aplicação de corretivos, fertilizantes e outros insumos, já se encontram disponíveis no mercado. Assim, em função da necessidade de

recuperação e/ou renovação das áreas de pastagens degradadas, devido, principalmente, ao esgotamento da fertilidade natural dos solos, há grande possibilidade de aplicação dos conceitos e tecnologias da agricultura de precisão no gerenciamento da fertilidade dos solos. A identificação de áreas com diferentes graus de degradação permite o manejo mais específico com aplicação diferenciada de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis. Outra possibilidade é o de associar o manejo diferenciado do nível de degradação com a escolha de espécies forrageiras em função de suas exigências nutricionais.

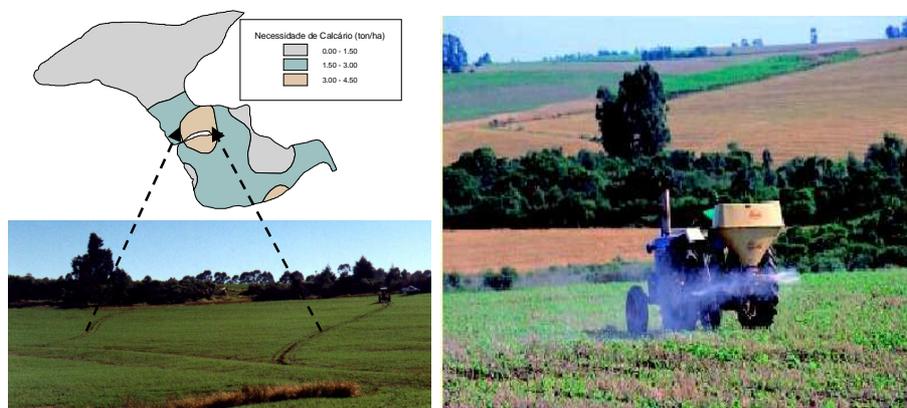


Figura 8. Demarcação no campo de zonas uniformes de manejo para aplicação de calcário e fertilizante a taxas variáveis, utilizando equipamento convencional.

Referências Bibliográficas:

ANUALPEC. **Anuário Estatístico da Pecuária de Corte**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio, 2000. p.115-140.

BARCELOS, A. de O. Sistemas extensivos e semi - intensivos de produção: pecuária bovina de corte nos cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE CERRADO, 8.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL SAVANNAS, 1.; 1996, Brasília. Biodiversidade e produção sustentável de alimentos e fibras no cerrado. **Anais...** Planaltina: Embrapa - CPAC, 1996. p. 130-136.

CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, J.M., PARKIN, T.B., KARLEN, D.L., TURKO, R.F., KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of American Journal, Madison**, v.58, p.1501-1511, 1994.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão no gerenciamento da fertilidade do solo sob plantio direto no cerrado. **Direto no Cerrado**, Brasília, v. 9, n.37, p.10, ago./set. 2004.

COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVARES, V.V.H. (Ed.) **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v.3, p.249-290, jul. 2003.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geostatistic. Oxford University Press. New York. 1989. 561p.

KICHEL, A.N.; MIRANDA, C.H.B.; ZIMMER, A.H. Fatores de degradação de pastagens sob manejo rotacionado com ênfase na fase de implantação. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM**, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. p.193-211.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H.; COBUCCI, T. Integração lavoura - pecuária e o manejo de plantas daninhas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.106, p.1-20, jun. 2004. (Encarte Técnico).

MATTOS, W.T. de. Avaliação de pastagens de capim braquiária em degradação e sua recuperação com suprimento de nitrogênio e enxofre. 2001. 108 p. Dissertação (Doutorado Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

SOARES FILHO, C.V. Tratamento físico - mecânico, correção e adubação para recuperação de pastagens: In: **ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS**. 1. Nova Odessa, 1993. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1993. p. 79-117.