

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Aplicação de doses de calcário em área de rotação soja-milho em plantio direto no
Cerrado para fins de definição de doses variadas**

Zaqueu Fernando Montezano

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

**Piracicaba
2009**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Zaqueu Fernando Montezano
Engenheiro Agrônomo

**Aplicação de doses de calcário em área de rotação soja-milho em plantio direto no Cerrado
para fins de definição de doses variadas**

Orientador:
Prof. Dr. TAKASHI MURAOKA

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas**

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Montezano, Zaqueu Fernando

Aplicação de doses de calcário em área de rotação soja-milho em plantio direto no Cerrado para fins de definição de doses variadas / Zaqueu Fernando Montezano. - - Piracicaba, 2009.

110 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Acidez do solo 2. Agricultura de precisão 3. Calagem 4. Calcário 5. Cerrado 6. Milho
7. Plantio direto 8. Rotação de culturas 9. Soja I. Título

CDD 633.34
M781a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A Deus, digno de toda a honra e toda glória.

A minha esposa, Tania

Aos meus pais, Domingos e Maria Rita.

Aos meus irmãos, Rosana e Eliezer.

Aos meus avós, Vito e Iracema, Gabriel (in memoriam) e Umbelina.

OFEREÇO e DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me abençoado.

Ao professor Dr. Takashi Muraoka pela orientação acadêmica e amizade cultivada durante todo o período de mestrado e doutorado.

Ao amigo Dr. Edegar Joaquim Corazza por idealizar, motivar e participar desse projeto.

Aos proprietários e amigos da Fazenda Alto Alegre Eloy Corazza, João Carlos Pagnunssatt e Eliseu Pedro Corazza pela permissão e ajuda de mais esse projeto de pesquisa.

Aos pesquisadores da Embrapa Cerrados Álvaro Vilela de Resende e Luciano Shozo Shiratsuchi, e ao pós-doutorando Sandro Manuel Carmelino Hurtado, por contribuírem com o conhecimento que possuem na área de Agricultura de Precisão.

As amigas do Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas CENA/USP Marileuza A. Bassi Elias, Sandra T. P. dos Santos pelo respaldo nas análises.

Aos amigos e amigas da pós-graduação Gean Carlos Silva Matias, Fernando J. Garbuio, Gabriel Barth, Rodrigo (polaco), Fernanda Latanze Mendes, Tatiana Marsola, Anderson Trevizam, Felipe C. A. Villanueva, João Salvador, Hector M. Coraspe Leon, Vinicius Franzini, Denis Silva, Raul Sartori pelos momentos de descontração.

Ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas ESALQ/USP e ao CNPq

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1.INTRODUÇÃO	9
Referências.....	18
2 FERTILIDADE DO SOLO APÓS CALAGEM EM FAIXAS DE APLICAÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO	23
Resumo	23
Abstract	23
2.1 Introdução	24
2.2 Material e métodos	25
2.2.1 Histórico do local de condução do experimento	25
2.2.2 Delineamento experimental	26
2.2.3 Amostragem de solo	27
2.2.4 Análise química do solo	28
2.2.5 Análise estatística	29
2.3 Resultados e discussão	29
2.3.1 Alterações nos atributos de fertilidade nas faixas de aplicação de calcário.....	29
2.3.2 Alterações nos atributos de fertilidade do solo em relação a necessidade de calagem ou em relação a saturação por bases.....	35
2.4 Considerações Finais	42
Referências	42
3 ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS NUMA ROTAÇÃO MILHO E SOJA APÓS CALAGEM EM FAIXAS DE APLICAÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO	45
Resumo	45
Abstract	45
3.1 Introdução	46
3.2 Material e métodos	48
3.2.1 Histórico do local de condução do experimento.....	48
3.2.2 Delineamento experimental.....	49

3.2.3 Amostragem de folhas	50
3.2.4 Análise química das folhas.....	51
3.2.5 Obtenção dos dados de produtividade.....	52
3.2.6 Filtragem dos dados de produtividade.....	52
3.2.7 Análise estatística.....	55
3.3 Resultados e discussão	56
3.3.1 Estado nutricional do milho e da soja nas faixas de calagem.....	56
3.3.2 Estado nutricional do milho e da soja nas faixas em relação a necessidade de calagem ou em relação a saturação por bases.....	61
3.3.3 Correlação entre os nutrientes e a produtividade de grãos nas faixas de calagem.....	67
3.4 Considerações Finais	69
Referências	69
4 ANÁLISE ESPACIAL DOS MAPAS DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS APÓS CALAGEM EM FAIXAS DE APLICAÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO	73
Resumo	73
Abstract	73
4.1 Introdução	74
4.2 Material e métodos	77
4.2.1 Local de condução do experimento.....	77
4.2.2 Delineamento experimental.....	77
4.2.3 Obtenção dos dados de produtividade.....	78
4.2.4 Filtragem dos dados de produtividade.....	79
4.2.5 Interpolação dos dados de produtividade.....	82
4.3 Resultados e discussão	83
4.3.1 Mapas de produtividade do milho safra 2005/06.....	83
4.3.2 Mapas de produtividade da soja safra 2006/07.....	87
4.3.3 Mapas de produtividade do milho safra 2007/08.....	92
4.3.4 Análise visual dos mapas de produtividade.....	97
4.4 Considerações finais	104
Referências	104

RESUMO

Aplicação de doses de calcário em área de rotação soja-milho em plantio direto no Cerrado para fins de definição de doses variadas

A produtividade das culturas de importância agrônômica varia em resposta ao pH do solo. O calcário pode produzir um efeito negativo na resposta da cultura se for aplicado em excesso. Porém poucos estudos publicados têm avaliado as respostas do solo, da planta e produtividade das culturas para a aplicação de calcário considerando a variabilidade do solo no campo. O objetivo do trabalho foi o de estudar os aspectos técnicos que cercam a aplicação de doses de calcário em área de rotação soja e milho sob plantio direto no Cerrado, considerando a variabilidade espacial dos atributos relacionados à acidez do solo. O experimento foi conduzido na Fazenda Alto Alegre localizada no município de Planaltina-GO em uma área de produção comercial de grãos com 373 ha. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso representando cada um uma área de 16 ha do campo. Cada área é composta de 4 faixas paralelas com 25 m de largura onde foram aplicados os tratamentos: 0 (controle), 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário distribuídos de forma casualizada dentro de cada bloco. As aplicações de calcário foram feitas em dose única na superfície no mês de setembro de 2005 nas faixas e em zonas entre os blocos. Foram cultivados na área o milho (2005/2006), soja (2006/2007) e milho (2007/2008). A amostragem do solo para análise dos atributos de fertilidade foi realizada após o primeiro cultivo de milho nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm para cada tratamento aplicado nas faixas. A amostragem de folha indicadora das culturas para determinação das concentrações dos nutrientes foi realizada para os tratamentos nas faixas. Os dados de produtividade do talhão foram obtidos no momento da colheita das culturas, por meio de colhedora equipada com monitor de produtividade. As alterações nos atributos de fertilidade do solo ligados a acidez do solo se concentraram na camada de 0-5 cm. O calcário se mostrou eficiente fonte de Mg para a nutrição mineral do milho e da soja e restringiu a absorção de Mn por essas culturas. No caso desse nutriente a aplicação de calcário em superfície deve ser criteriosa no sentido de se evitar uma deficiência nutricional ou toxidez de Mn às plantas. A escolha do modelo mais ajustado ao semivariograma para interpolação dos dados de produtividade foi importante na análise espacial. As produtividades de soja responderam as aplicações dos tratamentos nas faixas.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Calagem; Milho; Soja; Plantio direto; Cerrado

ABSTRACT

Application rates of lime for no-till soybean -corn crops grown in rotation in Cerrado to definition of variable rates of liming

The crop productivity varies in response to soil pH. The lime may have a negative effect on the crop response if it is applied in excess. Few published studies have evaluated the responses of soil, plant and crop productivities to lime application, considering the soil variability in the field. The objective of this work was to study the technical aspects of application of lime rates in area of no-till soy bean crops rotation in Cerrado, considering the spatial variability of attributes related to soil acidity. The experiment was carried out in Alto Alegre Farm, Planaltina, GO, Brazil in a commercial grain production area with 373 ha. The experimental design was randomized block, representing each one and area with 16 ha of the field. Each area was composed by four 25 m wide parallel strips, where the treatments were applied: O (control), 1, 2 and 3 t ha⁻¹ of lime distributed randomly within each block. The lime was applied in one single application on surface in September 2005 in strips. Corn (2005/2006), soy bean (2006/2007) and corn (2007/2008) were grown. The soil sampling for fertility analysis was done after first corn crop at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm depth for each treatment applied in the strips. Leaf samples were collected for the determination of nutrients contents. The yield data were obtained at harvesting, by the harvester equipped with yield monitor. The alteration on soil fertility attributes due to soil acidity concentrated in 0-5 cm layer. The lime showed to be efficient as Mg source to corn and soy bean crops and restricted the Mn uptake by these crops. For this nutrient, the surface application of lime has to be with criterion in order to avoid its nutritional deficiency or toxicity to the plants. The choice of model more adjusted to semivariogram for the interpolation of yield data was important in the spatial analysis. The soybean yield responded to the treatment lime application in strips.

Keywords: Precision agriculture; Liming; Corn; Soybean; No tillage; Savannah

1 INTRODUÇÃO

No Brasil o Cerrado ocupa uma área heterogênea e não contínua de aproximadamente 204 milhões de hectares, ou seja, 23% do território nacional (GOEDERT, 1989). Os solos sob Cerrado, em sua maioria, apresentam propriedades que limitam o crescimento das raízes das plantas. Trata-se de solos de baixa capacidade de troca de cátions (CTC), com acidez elevada e baixo teor de nutrientes, especialmente de fósforo. São assim, solos com alto grau de intemperização e lixiviação, sendo que os problemas de acidez e deficiência de nutrientes ocorrem em todo perfil (LOPES, 1983; ADÁMOLI et al., 1987; GOEDERT, 1989; SOUSA; LOBATO, 2004a).

Apesar dos resultados de vários anos de pesquisa terem mostrado que as produções podem mais do que dobrar pela aplicação de calcário em solos ácidos, essa prática não tem sido amplamente adotada nas nações em desenvolvimento por causa da não disponibilidade ou alto custo do calcário, a falta de acesso a empréstimos e a pobre capacidade de infra-estrutura (SUMNER; NOBLE, 2003).

Estimativas da área total mundial, em superfície, afetada pela acidez varia de $3,777 \times 10^9$ a $3,950 \times 10^9$ ha, representando aproximadamente 30 % do total das áreas livres de gelo do mundo. As mais extensas áreas de solos ácidos estão na América do Sul, América do Norte, Ásia e África. A área total afetada pela acidez, em subsuperfície, é estimada em $2,918 \times 10^9$ ha, significando que aproximadamente 75% dos solos ácidos do mundo sofrem de limitações na subsuperfície devido à acidez (SUMNER; NOBLE, 2003).

A produtividade das culturas de importância agrônômica varia em resposta ao pH do solo, respondendo a aplicação de calcário somente se os níveis de pH limitam a performance dessas culturas (BLACK, 1993). McLean e Brown (1984) resumiram as respostas das culturas em relação ao pH do solo e mostraram que o milho freqüentemente não responde para pH entre 5 e 6.

Doses uniformes de calcário podem deixar áreas subcalcariadas ou aplicar o corretivo em porções do campo onde o pH do solo está próximo de 7. Diferentemente de alguns outros fertilizantes, o calcário pode produzir um efeito negativo na resposta da cultura se for aplicado em excesso. Os efeitos negativos de uma supercalagem são geralmente ligados a uma deficiência nutricional das plantas, para os micronutrientes catiônicos, induzida pelo alto pH (ADAMS, 1984).

A quantidade de calcário a ser utilizada em determinada área depende do tipo de solo e do sistema de produção a ser desenvolvido. Segundo Sousa e Lobato (2004b) na região do Cerrado, o método que foi mais utilizado para determinar a necessidade de calcário (NC) é o que se baseia nos teores de Al, Ca e Mg trocáveis, e o cálculo da NC varia em função do teor de argila dos solos. Para solos com capacidade de troca

de cátions (CTC ou valor T) maior que $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, teor de argila acima de 15% e teor de Ca+Mg menor que $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é utilizada a eq. (1).

$$\text{NC}(\text{t ha}^{-1}) = [(2 \times \text{Al}) + 2 (\text{Ca} + \text{Mg})] \times f \quad (1)$$

Para solos com CTC maior que $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, teor de argila maior que 15% e teor de Ca+Mg maior que $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ é utilizada a eq. (2).

$$\text{NC}(\text{t ha}^{-1}) = (2 \times \text{Al}) \times f \quad (2)$$

Quando se trata de Areias Quartzosas (cujo teor de argila é menor que 15%), a quantidade de calcário a ser utilizada é dada pelo maior valor encontrado pelas eq. (3) e eq. (4).

$$\text{NC}(\text{t ha}^{-1}) = (2 \times \text{Al}) \times f \quad (3)$$

$$\text{NC}(\text{t ha}^{-1}) = 2 (\text{Ca} + \text{Mg}) \times f \quad (4)$$

Para se calcular o fator de correção (f) para a quantidade real de calcário a ser aplicada utiliza-se a eq. (5).

$$f = \frac{100}{\text{PRNT}} \quad (5)$$

Onde:

f é um fator de correção para a quantidade do calcário

PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcário

O método para estimar a NC, baseado no Al, Ca e Mg trocáveis, eleva a saturação por bases dos solos para valores médios de 49%. Com base nesse critério, há tendência de se recomendar mais calcário que o necessário para solos arenosos com baixa CTC (menor que $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e menos que o necessário para solos com CTC alta (maior que $12 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SOUSA et al., 1989). Entretanto, essa limitação é

minimizada porque a maioria dos solos do Cerrado apresenta CTC entre 4,0 e 12,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (SOUSA; LOBATO, 2004b).

Segundo ressalta Quaggio (2000), a eficiência desse método nunca foi testada nas condições brasileiras. Trata-se também de um método semi-empírico, pois não considera a capacidade tampão do solo acima de pH 5,4 e vem sendo usado com adaptações, na tentativa de se colocar mais calcário, porém sem nenhuma sustentação teórica ou experimental.

Outro método para recomendar calcário que vem sendo muito usado na região, é o que utiliza a saturação por bases do solo (SOUSA; LOBATO, 2004b). A fórmula para o cálculo foi deduzida por Quaggio (1983) e Quaggio, Rajj e Malavolta (1985), e pelo novo sistema de unidades é expressa pela eq. (6).

$$\text{NC}(\text{t ha}^{-1}) = \frac{\text{CTC} \times (V_2 - V_1)}{10 \times \text{PRNT}} \quad (6)$$

Onde:

V_1 é a saturação por bases do solo atual

V_2 é a saturação por bases do solo que se deseja alcançar

Os valores de V_2 dependem da tolerância à acidez ou resposta da cultura a calagem (QUAGGIO, 2000). Segundo as recomendações do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) para os solos do Estado de São Paulo, esses valores são de 70 e 60% para as culturas do milho e da soja, respectivamente (RAIJ et al., 1996). Para Sousa e Lobato (2004b) os dados obtidos experimentalmente indicam que a produtividade de grãos das culturas de sequeiro (soja, milho, trigo e feijão) aumenta com a saturação por bases até 40%, estabiliza entre os valores de 40 e 60% e diminui quando a saturação por bases é maior que 60%. Para valores de saturação por bases maiores que 60%, o pH em água do solo será maior que 6,3 e, nessa situação, poderá ser induzida a deficiência de zinco, cobre, ferro e manganês, essa última muito freqüente na região do Cerrado.

Existem controvérsias no País quanto a recomendações desses níveis, principalmente para as regiões em que ocorrem solos cobertos por vegetação de cerrados. Algumas instituições recomendam níveis inferiores para este conjunto de solos, na tentativa de minimizar problemas com micronutrientes. Na realidade nem todos os solos cobertos por vegetação de cerrados são pobres em todos os micronutrientes,

principalmente em manganês e, portanto, deve-se evitar a generalização, bem como, não confundir deficiência de micronutrientes no solo com excesso de calagem (QUAGGIO, 2000).

O manejo da calagem em plantio direto ainda carece de muitas informações, uma vez que a matéria orgânica, a mineralogia e a textura do solo influenciam sensivelmente a formação de cargas e o poder tampão do solo (SÁ, 1999).

O conjunto indicador de acidez do solo e o seu valor de referência constituem o critério de calagem, que é estabelecido a partir da resposta das culturas. Como no sistema de plantio direto a dinâmica do Al é alterada, com diminuição de sua toxidez às plantas, os critérios para a calagem, utilizados no sistema convencional podem não ser adequados ao plantio direto. Os critérios para a calagem são diferenciados conforme a fase em que o sistema de plantio direto se encontra (ANGHINONI, 2007).

Na primeira fase (instalação), as doses são determinadas de acordo com os critérios de calagem e com os métodos de determinação da dose por aplicar, com amostragem na camada de 0-20cm do solo. Nesta fase, é recomendável que o calcário seja incorporado na camada amostrada, de acordo com os procedimentos utilizados no preparo convencional. Na segunda fase (consolidação), quando estiver ocorrendo decréscimo de rendimentos das culturas pela acidez do solo, as recomendações de calagem divergem nas diferentes regiões do Brasil (ANGHINONI, 2007).

As recomendações definidas pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC) estabelecem que os critérios de tomada de decisão da aplicação de calagem para o sistema plantio direto são o pH em água de 5,5 e/ou saturação por bases 60% (NOLLA, 2003). No Paraná, um dos critérios de tomada de decisão de calagem é o pH em CaCl_2 igual a 5,6 (CAIRES et al., 1998). Para o Estado de Minas Gerais, Lopes (1999) sugerem que, após a instalação do plantio direto, as doses de calcário podem ser diminuídas em um terço, quando a amostragem for feita na camada de 0-20cm, e à metade, quando a amostragem for feita na camada de 0-10cm. Nesses casos, deve-se utilizar calcário de granulometria fina com menores doses anuais ou bienais, em vez das doses a cada quatro ou cinco anos como é efetuado no sistema convencional. Na região do Cerrado, o rendimento das culturas não é afetado quando a saturação por bases estiver em torno de 50% e o pH em água próximo a 6,0, ambos determinados em amostras coletadas na camada de 0-20cm, desde que a relação Ca:Mg trocáveis no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) esteja entre 1:1 e 10:1, com um mínimo de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (SOUSA; LOBATO, 2004b).

Os aspectos técnicos envolvidos na recomendação de calagem no Cerrado e em sistema de plantio direto (SPD) associados a uma visão de manejo, que considera a variabilidade da acidez do solo num talhão pode contribuir para maximizar as produtividades de grãos. A agricultura de precisão é o termo dado para

uma forma de gestão das culturas, no qual as áreas de produção, dentro de um talhão, são manejadas com a aplicação de diferentes níveis de insumos (GODWIN et al., 2003). Alguns benefícios da Agricultura de Precisão são: 1) A margem econômica para a produção da cultura pode ser aumentada por incrementos na produção ou redução da quantidade de insumos aplicados; 2) Diminuição do risco de poluição ambiental pela redução da aplicação de agroquímicos; 3) Atingir os objetivos de forma precisa nas operações de campo.

Esses benefícios são excelentes exemplos de onde ambas, considerações econômicas e ambientais, são trabalhadas juntas (GODWIN et al., 2003), sendo que o objetivo fundamental da Agricultura de Precisão é o manejo da variação espacial nas culturas gerando benefícios econômicos e/ou ambientais (TAYLOR et al., 2003). Para se alcançar isso, os dois precursores vitais são: 1) Medição criteriosa da variabilidade espacial; 2) Criteriosa interpretação das medidas para guiar as estratégias de manejo.

Crescentemente, as investigações agrônômicas estão explorando o uso de computadores e tecnologias de satélites aplicados como ferramentas em escala de campo, incluindo monitores georeferenciados da produção das culturas, dados de sensoriamento remoto e sensoriamento direto. Estas tecnologias são apropriadas em uma infinidade de experimentações agrônômicas, que focalizam nos padrões espaciais por todo um talhão. Como o resultado das pesquisas agrônômicas atuais que estão diretamente relacionadas ao conhecimento da inter-relação temporal e espacial no meio físico, químico e biológico das propriedades do solo e, suas contribuições combinadas para a produtividade das culturas em escala de campo (JOHNSON et al., 2003).

O reconhecimento dos limites espaciais com os equipamentos para registro da produção e aplicação dos insumos agrícolas a taxas variáveis tem despertado o interesse de estudos ao nível de propriedade rural. O principal catalisador foi o direcionamento do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para uso civil (GODWIN et al., 2003).

A interpretação ideal das variações espaciais são os mapas, mostrando a magnitude da variável de interesse em todos os pontos. Contudo, a medição das variáveis em todos os pontos não é economicamente viável. Dessa forma, observações estrategicamente localizadas ou representativas da área amostrada são necessárias (TAYLOR et al., 2003).

Neste contexto, a estratégia de amostragem permite uma representação suficientemente criteriosa da variabilidade espacial das propriedades do solo, a um custo economicamente viável. O número e a densidade das observações para diferentes níveis de precisão, a fim de representar uma superfície topográfica, são relativamente fáceis de determinar. Entretanto, esse não é o caso da maioria das variáveis do solo. Essas não são imediatamente visíveis e, portanto, fazem a amostragem se tornar mais difícil (TAYLOR et al., 2003).

Na amostragem em grade, a escolha da dimensão da grade afeta os custos de amostragem e a criteriosidade da representação da variável amostrada. A variação espacial das propriedades do solo é geralmente complexa e análoga a uma superfície topográfica com alguns picos e vales de diferentes tamanhos e freqüências dentro da região de interesse (TAYLOR et al., 2003).

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é um importante suporte para o planejamento do manejo “sítio específico” da aplicação de fertilizantes e corretivos. A aplicação de fertilizantes a taxas variáveis é um novo paradigma o qual poderia melhorar a eficiência do insumo, a rentabilidade da fazenda e o gerenciamento ambiental (SAWYER, 1994). Entretanto, os estudos de campo comparando a aplicação a taxas variáveis com o manejo uniforme não têm demonstrado resultados consistentes e positivos (WEISZ et al., 2003). A elevada produção das culturas e/ou a redução de fertilizantes associada com a aplicação a taxas variáveis de N, P ou K tem sido demonstrada para a produção de sorgo irrigado (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (YANG et al., 1999) e batata (*Solanum tuberosum* L.) (CAMBOURIS; NOLIN; SIMARD, 1999). Para o trigo (*Triticum aestivum* L.) e a cevada (*Hordeum vulgure* L.) a aplicação a taxas variáveis de P, K e N também resultou em aumento não significativo na produção (CARR et al., 1991) ou em perda do lucro líquido econômico (WIBAWA et al., 1993) comparado com a aplicação uniforme.

Mallarino et al. (1999) encontraram que a aplicação a taxas variáveis de P as vezes reduziu o P total aplicado, mas raramente resultou em maior produção de milho (*Zea mays* L.) ou soja (*Glycine max* (L.) Merr.) em áreas de baixo P. Lowenberg-DeBoer e Aghib (1999) encontraram que a aplicação a taxas variáveis de P e K não aumentou de forma confiável o retorno líquido para as culturas do trigo, milho e soja.

As razões para esses resultados contrastantes podem incluir: pobre correlação entre o sistema regional de recomendação de fertilizantes e as atuais necessidades da aplicação em área específica (CARR et al., 1991; HERGERT et al., 1997); fatores como os relacionados à umidade do solo, aridez e outros fatores ambientais os quais limitam a produção devido à deficiência nutricional (CARR et al., 1991); e as pobres estratégias de amostragem (MALLARINO et al., 1999; PIERCE; WARNCKE, 2000).

A aplicação de calcário a taxas variáveis é freqüentemente considerada uma boa situação para se iniciar o manejo em área específica, visto que o pH é a principal variável dentre aquelas que são manejáveis no solo, e o seu valor afeta a disponibilidade de nutrientes as plantas (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2000). A maioria dos distribuidores de calcário podem ser aperfeiçoados de forma relativamente barata para fazer a aplicação a taxas variáveis (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2000).

A chave para aplicar o calcário a taxas variáveis é a predição segura do mapa de aplicação, e uma expressiva resposta da cultura ao calcário que seja economicamente viável frente ao investimento em amostragem do solo e a aplicação diferencial de calcário. Um bom mapa de aplicação requer um esquema de amostragem, que descreva, de maneira adequada, a distribuição espacial da acidez do solo (PIERCE; WARNEKE, 2000).

Os limitados estudos de campo, sobre aplicação de calcário a taxas variáveis, têm demonstrado um aumento no pH do solo em áreas onde o calcário foi aplicado, reduzindo a variabilidade espacial do pH no campo experimental e aumentando a produtividade da soja, porém não afetando a produtividade do milho (FRANZEN; PECK, 1995; PIERCE; WARNEKE, 2000). As respostas comparativas das culturas para o calcário (KAMPRATH, 1970; LATHWELL; PEECH, 1964) demonstram que as produções de milho aumentam até pH 5 e 5,5, enquanto algumas leguminosas respondem a pH 6 ou maior, são consistentes com esses resultados da aplicação de calcário a taxas variáveis. Conseqüentemente, parece provável que a aplicação de calcário a taxas variáveis será mais tecnicamente eficiente para a soja do que para o milho (WEISZ et al., 2003).

Embora a aplicação de calcário a taxas variáveis seja freqüentemente identificada como um importante benefício da agricultura de precisão, poucos estudos publicados tem avaliado as respostas do solo e da planta para este tipo de manejo (PIERCE; WARNCKE, 2000).

Como já mencionado, a medição das variáveis em todos os pontos não é uma operação economicamente viável. Por isso a pesquisa em ciência do solo tem-se apoiado intensamente na utilização da geoestatística, que juntamente com a estatística clássica formam uma dupla de extraordinária importância agronômica, decorrente das inúmeras respostas dadas às mais variadas questões existentes até então ignoradas (CARVALHO; TAKEDA; FREDDI, 2003).

Existem ferramentas geoestatísticas que podem ser úteis na análise de variabilidade espacial de dados para os quais não existe independência entre amostras (VIEIRA; NIELSEN; BIGGAR, 1981; VIEIRA et al., 1983). Os métodos geoestatísticos podem ser usados para caracterizar a continuidade espacial usando um semivariograma (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Numerosos estudos de variabilidade espacial do solo têm sido levantados nos recentes anos no contexto da agricultura de precisão, por exemplo, Webster e McBratney (1987); Birrel, Sudduth e Kitchen (1996).

O primeiro passo na análise geoestatística é a verificação da existência de dependência espacial, por meio do semivariograma que pode ser estimado pela seguinte eq. (7).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (7)$$

Onde:

$N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ separados por um vetor h .

Os valores de Z podem ser qualquer um dos atributos medido, como teor de argila, de matéria orgânica, de macro e micronutrientes, produtividade de grãos, etc. Enquanto os valores de “ x_i ” e “ $x_i + h$ ” são definidos de acordo com as posições das amostras no campo.

A dependência espacial significa autocorrelação, ou seja, o valor em qualquer ponto depende de algum modo de seu vizinho. Essa característica está expressa na eq. (7) como a diferença “[$Z(x_i) - Z(x_i + h)$]²”. Admitindo-se que a variação não é alterada pela direção, pode-se utilizar apenas o módulo do vetor “ h ”, o qual é a distância de separação entre amostras. Quando se calcula o semivariograma obtêm-se pares de valores de semivariâncias “ $\gamma(h)$ ” e distâncias (h), os quais deverão ser dispostos em um gráfico de dispersão tendo como valores no eixo Y as semivariâncias, e no eixo X as distâncias. A esse gráfico deve-se ajustar um modelo matemático. Para propriedades espacialmente dependentes, espera-se que a diferença entre os valores “[$Z(x_i) - Z(x_i + h)$]²”, em média, seja crescente com a distância até um determinado ponto, a partir do qual se estabiliza num valor denominado de patamar (C_0+C_1), que pode ser igual à variância dos dados. Essa distância recebe o nome de alcance (a) e representa o raio de um círculo, dentro do qual os valores são tão parecidos uns com os outros que se tornam correlacionados. O valor da semivariância na interseção do eixo Y, denominado de efeito pepita (C_0), representa a variabilidade do atributo em estudo com espaçamentos menores do que o amostrado. Assim, quanto maior o efeito pepita, mais fraca será a dependência espacial de um dado atributo. Os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1) e alcance (a) são utilizados no ajuste do modelo ao semivariograma (VIEIRA, 1997).

Se houver dependência espacial os valores vizinhos serão tão semelhantes que haverá possibilidade de estimar valores para qualquer local onde a propriedade não foi medida, usando tal dependência. A estimativa “ Z^* ” na posição “ x_0 ” pode ser obtida através da eq. (8).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i) \quad (8)$$

Onde:

$Z(x_i)$ é o valor medido na posição x_i

λ_i é o peso associado ao valor medido na posição x_i

N é o número de valores medidos usados na estimativa do valor $Z^*(x_0)$

As principais características requeridas em todo método de estimativa são de que ele não superestime nem subestime valores (sem viés) e que, na média, os desvios em relação aos valores conhecidos sejam mínimos (variância mínima). Se forem impostas as condições de estimativa sem viés e com variância mínima na eq. (8), chega-se ao sistema de equações do interpolador por krigagem, eq. (9) e eq. (10).

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma(x_i, x_0) + \mu = \gamma(x_i, x_0), i = 1, N \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \quad (10)$$

Onde:

$\gamma(x_i, x_j)$ é a semivariância estimada usando o modelo ajustado ao semivariograma, correspondente à distância entre os pontos localizados nas posições x_i e x_j

$\gamma(x_i, x_0)$ é a semivariância correspondente à distância entre os pontos localizados nas posições x_i e x_0

A solução do sistema de equações de krigagem, eq. (9) e eq. (10) gera N valores de pesos λ^0 e um valor do multiplicador de Lagrange (μ) associado com a minimização da variância. Substituindo-se os valores dos pesos “ λ_i ” na eq. (8), podem-se estimar os valores para toda posição x_0 no espaço amostrado. Utilizando-se os valores sem viés e com variância mínima, obtido pela krigagem, pode-se construir mapas de isolinhas ou tridimensionais para exame e interpretação da variabilidade (VIEIRA, 1997).

Considerando a variabilidade espacial que existe com relação aos parâmetros de fertilidade e física do solo na área de estudo (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006), esses mesmos autores concluíram que as recomendações de calagem para correção da acidez do solo e de adubações para os próximos cultivos a serem realizados na área deveriam considerar esta variabilidade. Doses uniformes de calcário aplicadas ao longo de vários cultivos podem promover aumento da variabilidade dos parâmetros de

fertilidade relacionados a esta prática, principalmente sob o sistema de plantio direto, onde a aplicação do corretivo é feita sem incorporação.

O objetivo do trabalho foi o de estudar os aspectos técnicos que cercam a aplicação de doses de calcário em área de rotação soja e milho sob plantio direto no Cerrado, considerando a variabilidade espacial dos atributos relacionados à acidez do solo para dar suporte futuramente à aplicações de calcário a taxas variáveis.

Referências

ADÂMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L.G.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1987. cap. 2, p. 33-74.

ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. 2th. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1984. 380 p.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 15, p. 873-928.

BIRRELL, S.J.; SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R. Nutrient mapping implications of short range variability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PRECISION AGRICULTURE, 3., 1996, Minneapolis. Minneapolis: ASA; CSSA; SSSA, 1996. p. 207-216.

BLACK, C.A. **Soil fertility evaluation and control**. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. 741 p.

BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Economics of variable rate lime in Indiana. **Precision Agriculture**, Warwick, v. 2, n. 1, p. 55-70, Sept. 2000.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAMBOURIS, A.N.; NOLIN, M.C.; SIMARD, R.R. Precision management of fertilizer phosphorus and potassium for potato in Quebec, Canada. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Madison. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1999. p. 847-857.

CARR, P.M.; CARLSON, G.R.; JACOBSEN, J.S.; NIELSEN, G.A.; SKOGLEY, E.O. Farming soils, not fields: a strategy for increasing fertilizer profitability. **Journal of the Production Agriculture**, Madison, v. 4, p. 57-61, 1991.

CARVALHO M. P.; TAKEDA E. Y.;FREDDI O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 695-703, 2003.

FRAZEN, D.W.; PECK, T.R. Sampling for site-specific application. In: ROBERT, P.C. (Ed.). **Site-specific management for agricultural systems**. Madison: ASA; CSSA; SSSA; 1995. p. 535-551.

GODWIN, R.J., RICHARDS, T.E.; WOOD, G.A.; WELSH, J.P.; KNIGHT, S.K. An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production. **Biosystems Engineering**, London, v. 84, n. 4, p. 375-391, 2003.

GOEDERT, W.J. Região dos Cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 1-17, 1989.

HERGET, G.W.; PAN, W.L.; HUGGINS, D.R.; GROVE, J.H.; PECK, T.R. Adequacy of current fertilizer recommendation for site-specific management. In: Robert, P.C. (Ed.) **Site-Specific Management for Agricultural Systems**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1997. p. 283-300.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JOHNSON, C.K.; MORTENSEN, D.A.; WIENHOLD, B.J.; SHANAHAN, J.F.; DORAN, J.W. Site-specific management zones based on soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 95, p. 303-315, 2003.

KAMPRATH, E.J. Exchangeable Al as a criteria for liming leached mineral soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 252-254, 1970.

LATHWELL, D.J.; PEECH, M. **Interpretation of chemical tests**. Ithaca: Cornell University, 1964. 39 p.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162 p.

_____. Recomendações de calagem e adubação no sistema plantio direto. In RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5º Aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. cap. 13, p. 93-98

LOWENBERG-DEBOER, J.; AGHIB, A. Average returns and risk characteristics of site specific P e K management: eastern corn belt on-farm trial results. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 12, p. 276-282, 1999.

MALLARINO, A.P.; WITTRY, D.J.; DOUSA, D.; HINZ, P.N. Variable-rate phosphorus fertilization: On-farm research methods and evaluation for corn and soybean. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Larson. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1999. p. 687-696.

McLEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop response to lime in the midwestern United States. In: ADAMS, F. (Ed.). **Soil acidity and liming**. 2th ed. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 267-303.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

NOLLA, A. **Critérios para calagem no sistema de plantio direto**. 2003. 168 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PIERCE, F.J.; WARNCKE, D.D. Soil and crop response to variable-rate liming for two Michigan fields. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 774–780, Mar. 2000.

QUAGGIO, J.A. **Critérios para calagem em solos do Estado de São Paulo**. 1983. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

_____. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111 p.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 16, p. 245-260, 1985.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1996. 300 p.

SÁ, J.C. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Interrelações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras, 1999. p. 267-319.

SAWYER, J.E. Concepts of variable-rate technology considerations for fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, p. 195–201, 1994.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004a. 416 p.

_____. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004b. cap. 3, p. 81-96.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E.; CASTRO, L.H.R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 13, p. 193-198, 1989

SUMNER, M.E.; NOBLE, A.D. Soil acidification: the world story. In: RENGEL, Z. (Ed.). **Handbook of soil acidity**. New York: Marcel Dekker, 2003. chap. 1, p. 1-28.

TAYLOR, J.C.; WOOD, G.A.; EARL, R.; GODWIN, R.J. Soil factors and their influence on within-field crop variability. Part II: Spatial analysis and determination of management zones. **Biosystems Engineering**. London, v. 84, n. 4, p. 441-453, 2003.

VIEIRA S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 45, p. 1040-1048, 1981.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geoestatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

WEBSTER, R.; McBRATNEY, A.B. Mapping soil fertility at Broom's Barn by simple kriging. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, New York, v. 38, p. 97-115, 1987.

WEISZ, R.; HEINIGER, R.; WHITE, J.G.; KNOX, B.; REED, L. Long-term variable rate lime and phosphorus application for Piedmont no-till field crops. **Precision Agriculture**, Heidelberg, v. 4, p. 311-330, 2003.

WIBAWA, W.D.; DLUDLU, D.L.; SWENSON, L.J.; HOPKINS, D.G.; DAHNKE, W.C. Variable fertilizer application based on yield goal, soil fertility, and soil map unit. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 6, p. 255-261, 1993.

YANG, C.; ANDERSON, G.L.; KING Jr., J.H.; CHANDLER, E.K. Comparison of uniform and variable rate fertilization strategies using grid soil sampling, variable rate technology, and yield monitoring. In: INTERNATIONAL CONFERENCE PRECISION AGRICULTURE, 4., 1999, Larson. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1999. p. 675-686.

2 FERTILIDADE DO SOLO APÓS CALAGEM EM FAIXAS DE APLICAÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO

Resumo

O Objetivo do trabalho foi avaliar as alterações nos atributos de fertilidade do solo decorrentes da calagem em faixas de aplicação em sistema de plantio direto numa lavoura de produção de grãos na região do Cerrado. O experimento foi conduzido na Fazenda Alto Alegre localizada no município de Planaltina-GO em uma área de produção comercial de grãos com 373 ha. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso representando cada um uma área de 16 ha do campo. Cada área foi composta de quatro faixas paralelas com 25 m de largura onde foram aplicados os tratamentos: 0 (controle), 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário distribuídos de forma casualizada dentro de cada bloco. As aplicações de calcário foram feitas em dose única na superfície no mês de setembro de 2005 nas faixas. A amostragem do solo para análise dos atributos de fertilidade foi realizada após o primeiro cultivo de milho (safra 2005/2006) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm para cada tratamento aplicado nas faixas. As alterações nos atributos de fertilidade do solo ligados a acidez do solo se concentraram na camada de 0-5 cm. Nesta camada houve diferença significativa entre as médias de pH, Ca²⁺, Mg²⁺ e Fe²⁺ trocáveis, H+Al, SB, T e V. Esses atributos sofreram efeito direto da aplicação de calcário. Esses mesmos resultados ocorreram para as áreas com NC menores que 1,5 t ha⁻¹ na mesma camada. Para os outros dois níveis de NC a maioria dos resultados para esses atributos só foi significativa para probabilidades de significância acima de 5%.

Palavras chave: Agricultura de precisão; Fertilidade do solo; Plantio direto; Cerrado

Abstract

The objective of the work was to evaluate the alteration in soil fertility due to liming, the amender applied in strips, and correlated with corn and soybean crops grown in succession and no-till in cerrado. The experiment was carried out in Alto Alegre Farm, Planaltina, GO, Brazil in a commercial grain production area with 373 ha. The experimental design was randomized complete block, representing each one 16 ha a field area. Each area was composed by four 25 m wide parallel strips, where the treatments were applied: 0 (control), 1,2 and 3 t ha⁻¹ of lime distributed randomly within each block. The lime was applied in one single application on surface in September 2005 in strips. Corn (2005/2006), soybean (2006/2007) and corn (2007/2008) were grown. The soil sampling for fertility analysis was done after first corn crop at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm depth. The alteration on Soil fertility attributes due to liming concentrated in 0-5 cm layer. In this layer, there were significant differences among the values of exchangeable Ca²⁺, Mg²⁺ and Fe²⁺ and pH, H + Al, sum of bases, CEC and base saturation. These attributes suffered direct effect of liming. This occurred also in the areas with lime requirement (LR) < 1.5 t ha⁻¹ in at some layers. For the other two LR levels, the majority of results were only significant at 5% probability.

Keywords: Precision agriculture; Soil fertility; Liming; No tillage; Savannah

2.1 Introdução

Estimativas da área total, em superfície, afetada pela acidez do solo por todo o mundo varia $3,777 \times 10^9$ a $3,950 \times 10^9$ ha, representando aproximadamente 30 % do total das áreas livres de gelo do mundo. As mais extensas áreas de solos ácidos estão na América do Sul, América do Norte, Ásia e África. A área total afetada pela acidez do solo, em subsuperfície, é estimada em $2,918 \times 10^9$ ha, significando que aproximadamente 75% dos solos ácidos do mundo sofrem de limitações na subsuperfície devido à acidez (SUMNER; NOBLE, 2003).

No Brasil o Cerrado ocupa uma área heterogênea e não contínua de aproximadamente 204 milhões de hectares, ou seja, 23% do território nacional (GOEDERT, 1989). Os solos sob Cerrado, em sua maioria, apresentam propriedades que limitam o crescimento das raízes das plantas. Trata-se de solos de baixa capacidade de troca de cátions (CTC), com acidez elevada e baixo teor de nutrientes, especialmente de fósforo. São assim, solos com alto grau de intemperização e lixiviação, sendo que os problemas de acidez e deficiência de nutrientes ocorrem em todo perfil (LOPES, 1983; ADÁMOLI et al., 1987; GOEDERT, 1989; SOUSA; LOBATO, 2004a).

Na região do Cerrado, o rendimento das culturas não é afetado quando a saturação por bases estiver em torno de 50% e o pH em água próximo a 6,0, ambos determinados em amostras coletadas na camada de 0-20cm, desde que a relação Ca:Mg trocáveis no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) esteja entre 1:1 e 10:1, com um mínimo de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (SOUSA; LOBATO, 2004b).

A aplicação de calcário a taxas variáveis é freqüentemente considerada uma boa situação para se iniciar o manejo em área específica, visto que o pH é a principal variável dentre aquelas que são manejáveis no solo, e o seu valor afeta a disponibilidade de nutrientes as plantas. A maioria dos distribuidores de calcário poderia ser adaptada de forma relativamente barata para fazer a aplicação a taxas variáveis (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2000).

A chave para aplicar o calcário a taxas variáveis é a predição segura do mapa de aplicação, e uma expressiva resposta da cultura ao calcário que seja técnica e economicamente viável frente ao investimento em amostragem do solo e a aplicação diferencial de calcário. Um bom mapa de aplicação requer um esquema de amostragem, que descreva, de maneira adequada, a distribuição espacial da acidez do solo (PIERCE; WARNEKE, 2000).

Os limitados estudos de campo, sobre aplicação de calcário a taxas variáveis, têm demonstrado um aumento no pH do solo em áreas onde o calcário foi aplicado, reduzindo a variabilidade espacial do pH no

campo experimental e aumentando a produtividade da soja, porém não afetando a produtividade do milho (FRANZEN; PECK, 1995a, 1995b; PIERCE; WARNEKE, 2000). As respostas comparativas das culturas para o calcário (KAMPRATH, 1970; LATHWELL; PEECH, 1964) demonstram que as produções de milho aumentam até pH 5 e 5,5, enquanto algumas leguminosas respondem a pH 6 ou maior, são consistentes com esses resultados da aplicação de calcário a taxas variáveis. Conseqüentemente, parece provável que a aplicação de calcário a taxas variáveis será mais tecnicamente eficiente para a soja do que para o milho (WEISZ et al., 2003).

Considerando a variabilidade espacial que existe com relação aos parâmetros ou atributos de fertilidade e textura do solo na área de estudo, Montezano, Corazza e Muraoka (2006) concluíram que as recomendações de calagem para correção da acidez do solo e de adubações para os próximos cultivos a serem realizados na área deveriam considerar esta variabilidade. Doses uniformes de calcário aplicadas ao longo de vários cultivos podem promover aumento da variabilidade dos parâmetros de fertilidade relacionados a esta prática, principalmente sob o sistema de plantio direto, onde a aplicação do corretivo é feita sem incorporação.

As hipóteses do trabalho foram: 1) Houve alteração nos atributos de fertilidade do solo em resposta a aplicação de doses de calcário em faixas de aplicação; 2) Houve alteração nos atributos de fertilidade do solo em resposta a aplicação de doses de calcário em faixas considerando níveis de recomendação de calagem pelo método da saturação por bases ao longo dessas faixas.

O Objetivo do trabalho foi avaliar as alterações nos atributos de fertilidade do solo decorrentes da calagem em faixas de aplicação e considerando níveis de necessidade de calagem distintos para o milho e soja cultivados em sucessão em sistema de plantio direto numa lavoura de produção de grãos na região do Cerrado.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Histórico do local de condução do experimento

O estudo foi conduzido nas safras de 2005/2006 a 2007/2008, em lavoura de sequeiro, na Fazenda Alto Alegre, localizada no município de Planaltina-GO (15°22'S e 47°27'O, altitude média de 1050 m). A região apresenta clima tropical com duas estações bem definidas: seca e chuvosa. A precipitação média anual

varia entre 1.300 mm a 1.750 mm. A duração do período seco é de quatro a cinco meses, sendo a temperatura média anual de 20°C.

A área experimental que estava sob vegetação natural de Cerrado foi desmatada de 1987 a 1989 para o cultivo da soja até 1994, e representa um talhão de 373 ha. Após 1994, a área foi cultivada com a sucessão milho-soja em sistema de plantio direto no período chuvoso. No período seco, a área apresenta ocorrência expressiva de *Brachiaria* spp., *Panicum* spp. e outras gramíneas, as quais servem ao pastejo bovino no período da entressafra. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (EMBRAPA, 2006).

A última aplicação de calcário foi realizada no ano safra de 2000/2001 com 800 kg ha⁻¹ de maneira uniforme, seguindo a recomendação de calagem pelo método da saturação por bases (aplicação quando o índice de saturação por bases for menor que 35% para lavoura de sequeiro) Planejou-se a reaplicação de calcário no ano de 2005/2006.

Em novembro de 2003 foi realizada uma amostragem de solo na camada de 0-20 cm de profundidade utilizando uma malha com células de 200 x 200m. O GPS Etrex Vista[®] foi utilizado para traçar uma poligonal da área. De posse do polígono procedeu-se divisão da área em 80 células de quatro hectares cada. As células dos limites da bordadura foram desconsideradas para fins de amostragem. Foram coletadas 12 subamostras em pontos georeferenciados ao longo da diagonal de cada célula distanciados em aproximadamente 15 metros entre um e outro, para compor uma amostra composta representativa de cada célula (ANEXO A). Os resultados obtidos foram para avaliar a variabilidade espacial dos atributos de fertilidade do solo (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006).

Os resultados do estudo de variabilidade espacial dos atributos de fertilidade do solo foram utilizados para implantar em 2005 um delineamento experimental em blocos ao acaso em faixas com doses de calcário em superfície ao longo dessas faixas.

2.2.2 Delineamento experimental

Foi considerado no planejamento deste experimento a variabilidade espacial dos atributos de fertilidade diretamente ligados a acidez do solo, como pH, os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, e H+Al (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006). A variabilidade espacial do teor de argila avaliada por esses autores foi também considerada. Portanto, a espacialização dos resultados desses atributos mais o do parâmetro calculado de saturação por bases (ANEXO B) produziram o mapa da necessidade de calagem

(ANEXO B) segundo o critério de recomendação de calcário proposto por Sousa e Lobato (2004b) para atingir a saturação por bases desejada de 50%.

O delineamento experimental em blocos ao acaso em faixas foi composto por três áreas (blocos) de 16 ha cada um em três posições transversais a uma área de produção de 373 ha. Cada uma daquelas áreas foram subdivididas em 4 faixas paralelas com 25 m de largura onde foram aplicados os tratamentos: 0 (controle), 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário distribuídos de forma casualizada dentro de cada bloco (Figura 2.1).

As aplicações de calcário dolomítico em superfície tanto nas faixas de aplicação foram feitas no mês de setembro de 2005 por uma distribuidora de calcário da marca Nevoeiro[®], com regulagem para aplicar uma dose de 1,0 t ha⁻¹. Na aplicação das doses 2,0 e 3,0 t ha⁻¹ repetiu-se a aplicação na mesma passada 2 e 3 vezes, respectivamente. O calcário dolomítico aplicado apresentou teores de CaO de 29,2% e de MgO de 20,8%, com um PN de 102% e PRNT de 90,54%. As quantidades das frações retidas na peneira de 2 mm (10 mesh) foi 0,0%, na 0,84 mm (20 mesh) foi 2,8%, na 0,3 mm (50 mesh) foi 22,5% e 74,7% passou na peneira de 0,3 mm.

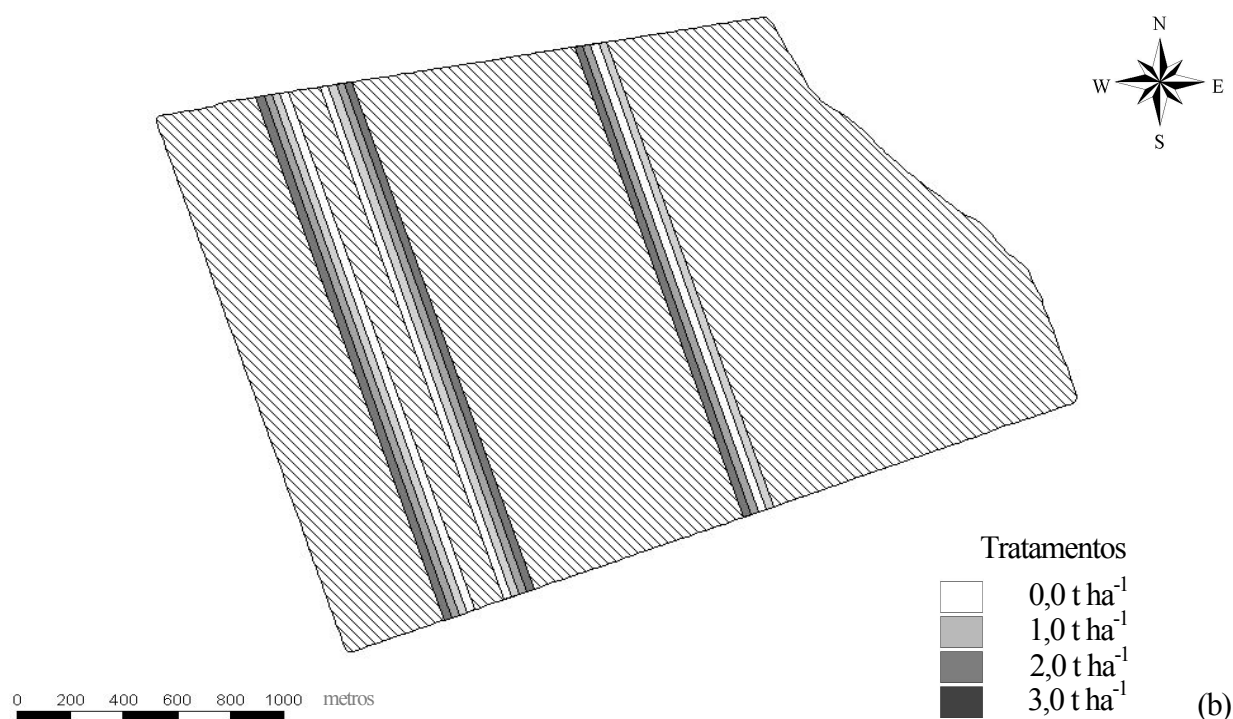


Figura 2.1 - Mapa do delineamento experimental de blocos ao acaso em faixas de aplicação de calcário

2.2.3 Amostragem de solo

A amostragem de solo nas faixas de aplicação, no primeiro ano da implantação do experimento foi realizada após o cultivo do milho (safra 2005/2006) no mês de outubro de 2006 (13 meses após a aplicação de calcário) a fim de verificar as alterações nos atributos de fertilidade química do solo decorrente da aplicação das doses de calcário. A amostragem de solo foi realizada dentro das faixas para cada tratamento.

A amostragem de solo dentro das faixas foi realizada em diferentes profundidades. Para isso selecionou-se três células de quatro hectares alternadas para cada um dos três blocos que contém as faixas com as doses de calcário mais o tratamento controle. Nas faixas que cruzam essas células foram coletadas nove subamostras de solo para compor uma amostra nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade para cada tratamento aplicado nas respectivas faixas (Figuras 2.2).

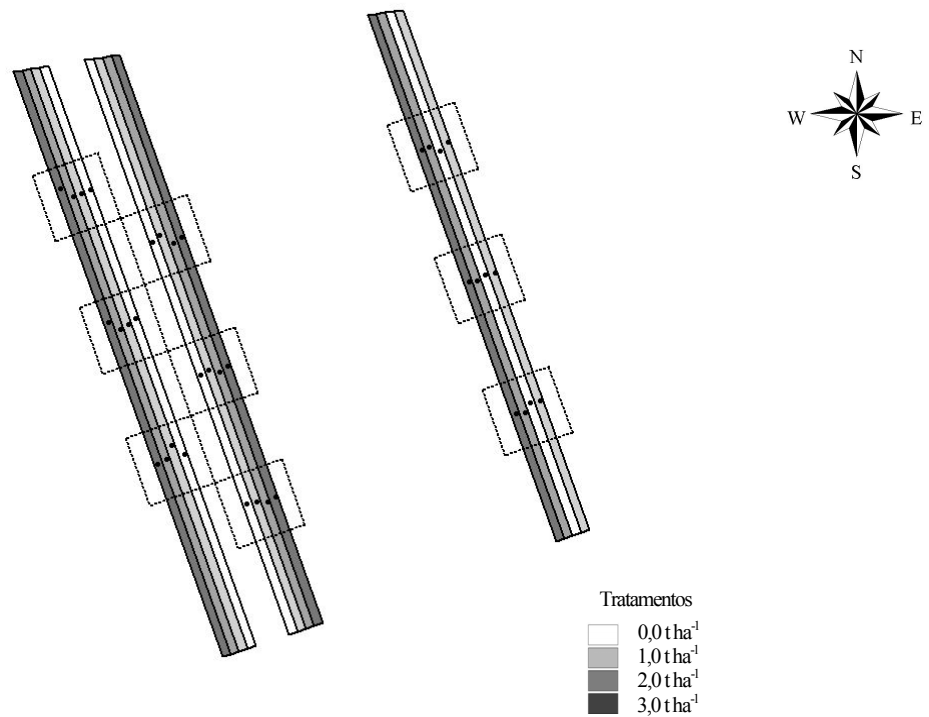


Figura 2.2 - Mapa com as células (linha pontilhada) e com os pontos de amostragem (nove subamostras de solo por ponto – amostra composta) em diferentes camadas dentro de cada tratamento

2.2.4 Análise química do solo

As amostras de solo foram secas ao ar, passadas em peneiras com malha de 2 mm e analisadas quimicamente (rotina) em relação a pH em água, pH em CaCl_2 0,01 mol L^{-1} , acidez total (H+Al) com solução de acetato de cálcio, matéria orgânica (MO) pelo método espectrofotométrico (RAIJ et al., 2001).

As determinações dos macronutrientes fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), foram realizadas utilizando a Resina como extrator e de acordo com metodologia descrita em Raij et al.(2001). As determinações dos micronutrientes cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e ferro (Fe) foram realizadas usando como solução extratora o DTPA a pH 7,3 (LINDSAY; NORVELL, 1978). O enxofre (S-SO_4^{2-}) e o boro (H_3BO_3) no solo foram determinados pelo método do Fosfato Monobásico de Cálcio e extração em água quente, respectivamente (RAIJ et al., 2001).

De posse dos resultados da análise do solo, foram calculados os seguintes parâmetros de fertilidade: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V).

2.2.5 Análise estatística

As médias dos resultados da análise química do solo nas diferentes camadas (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40) foram avaliadas quanto a diferença estatística entre elas pelo procedimento GLM (General Linear Models) para experimentos desbalanceados (SAS). Comprovada a diferença estatística entre as médias as mesmas foram comparadas pelo teste Tukey entre os tratamentos para cada camada de solo amostrada. O nível de significância considerado para o teste F na análise de variância pelo procedimento GLM e no teste Tukey foi o de 5% de probabilidade.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Alterações nos atributos de fertilidade nas faixas de aplicação de calcário

Na Tabela 2.1 estão as médias para os atributos de fertilidade do solo na camada de 0-5 cm de profundidade nas diferentes doses de calcário ao longo das faixas em 2006 após o cultivo do milho.

Tabela 2.1 - Resultado de comparação de médias dos atributos de fertilidade do solo na camada de 0-5 cm de profundidade em consequência das doses de calcário aplicadas em faixas na superfície do solo após o cultivo de milho (2005/2006)

Atributos	Calcário (t ha ⁻¹)				P > F ²	DMS ³	CV ⁴
	0,0	1,0	2,0	3,0			
MO (g kg ⁻¹)	50,76a ¹	53,27a	54,83a	52,64a	0,734	9,89	14,6
pH água	5,86c	6,30b	6,68ab	6,82a	0,000	0,27	3,3
pH CaCl ₂	5,32c	5,80b	6,11a	6,35a	0,000	0,39	5,1
P (mg kg ⁻¹)	21,44a	23,44a	26,37a	26,73a	0,309	8,64	27,5
K (mmol _c kg ⁻¹)	5,85a	6,45a	7,01a	6,08a	0,272	1,67	20,5
Ca (mmol _c kg ⁻¹)	51,55c	65,51bc	81,06ab	86,23a	0,000	20,13	22,1
Mg (mmol _c kg ⁻¹)	20,40b	33,77b	51,92a	57,93a	0,000	-	30,5
H+Al (mmol _c kg ⁻¹)	34,01a	25,68b	20,32c	18,23c	0,000	5,05	16,0
SB (mmol _c kg ⁻¹)	77,81c	105,73bc	134,39ab	150,24a	0,000	33,24	22,2
T (mmol _c kg ⁻¹)	111,81c	131,41bc	154,71ab	168,47a	0,000	33,59	18,5
V (%)	69,14c	80,07b	86,58a	88,52a	0,000	4,98	4,8
Cu (mg kg ⁻¹)	1,08a	0,96a	0,86a	0,84a	0,759	0,66	54,9
Fe (mg kg ⁻¹)	31,56a	26,39ab	22,90b	22,21b	0,009	7,64	23,1
Mn (mg kg ⁻¹)	9,05a	7,49a	6,59a	7,03a	0,508	4,62	47,8
Zn (mg kg ⁻¹)	5,86a	4,91a	4,80a	4,99a	0,229	1,52	23,0

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 5% de significância

² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em $P \leq 0,05$

³ Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade

⁴ Coeficiente de Variação

O resultado da comparação entre as médias dos atributos de fertilidade do solo na camada de 5-10 cm de profundidade são apresentados na Tabela 2.2. Nesta camada apenas as médias do teor de magnésio e a soma de bases diferiram significativamente. Para esse último atributo a diferença entre as suas médias foi em resposta as diferenças para as médias do teor de magnésio.

Tabela 2.2 - Resultado de comparação de médias dos atributos de fertilidade do solo na camada de 5-10 cm de profundidade em consequência das doses de calcário aplicadas em faixas na superfície do solo após o cultivo de milho (2005/2006)

Atributos	Calcário (t ha ⁻¹)				P > F ²	DMS ³	CV ⁴
	0,0	1,0	2,0	3,0			
MO (g kg ⁻¹)	39,17a ¹	38,07a	38,38a	36,50a	0,754	6,79	13,9
pH água	5,38a	5,42a	5,45a	5,61a	0,115	0,27	3,8
pH CaCl ₂	4,76a	4,77a	4,79a	4,92a	0,260	0,24	3,8
P (mg kg ⁻¹)	38,80a	31,28a	42,43a	48,52a	0,233	22,58	43,8
K (mmol _c kg ⁻¹)	2,52a	2,40a	3,08a	2,46a	0,400	1,21	36,0
Ca (mmol _c kg ⁻¹)	23,91a	22,21a	23,63a	28,62a	0,116	7,33	23,3
Mg (mmol _c kg ⁻¹)	8,46b	8,41b	10,54ab	12,14a	0,010	3,26	25,7
H+Al (mmol _c kg ⁻¹)	46,63a	46,94a	46,44a	42,33a	0,589	10,39	17,8
SB (mmol _c kg ⁻¹)	34,88ab	33,02b	37,25ab	43,22a	0,056	10,15	21,4
T (mmol _c kg ⁻¹)	81,51a	79,96a	83,69a	85,55a	0,637	12,44	11,7
V (%)	42,39a	41,71a	44,43a	49,56a	0,168	10,17	17,8
Cu (mg kg ⁻¹)	1,32a	0,93a	1,10a	0,99a	0,583	0,81	58,3
Fe (mg kg ⁻¹)	33,08a	32,75a	34,88a	31,65a	0,563	6,20	14,6
Mn (mg kg ⁻¹)	3,91a	3,28a	3,66a	3,74a	0,948	2,97	63,5
Zn (mg kg ⁻¹)	4,22a	3,39a	4,76a	3,99a	0,379	2,12	40,5

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 5% de significância

² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em $P \leq 0,05$

³ Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade

⁴ Coeficiente de Variação

O resultado da comparação entre as médias dos atributos de fertilidade do solo para as camadas abaixo da camada de 0-10 cm considerada com referencia para o sistema de plantio direto consolidado segundo Anghinoni (2007) são apresentados nas Tabelas 2.3 e 2.4, respectivamente. Dentre os atributos com diferenças significativas entre as suas médias destaque novamente para o teor de magnésio e soma de bases na camada de 10-20 cm (Tabela 2.3). Os demais atributos que apresentaram diferenças significativas entre suas médias para essas duas camadas, muito provavelmente, não tiveram essas diferenças como resposta aos tratamentos. Nessas camadas mais profundas a aplicação de doses de calcário em superfície provavelmente não afetaria o valor desses atributos logo no primeiro ano após a aplicação da calagem, devido a baixa mobilidade de percolação do calcário no solo.

Tabela 2.3 - Resultado de comparação de médias dos atributos de fertilidade do solo na camada de 10-20 cm de profundidade em consequência das doses de calcário aplicadas em faixas na superfície do solo após o cultivo de milho (2005/2006)

Atributos	Calcário (t ha ⁻¹)				P > F ²	DMS ³	CV ⁴
	0,0	1,0	2,0	3,0			
MO (g kg ⁻¹)	31,96a ¹	33,37a	32,90a	34,78a	0,793	7,69	18,0
pH água	5,31a	5,29a	5,32a	5,48a	0,101	0,22	3,2
pH CaCl ₂	4,63a	4,62a	4,61a	4,77a	0,090	0,19	3,2
P (mg kg ⁻¹)	9,39a	11,88a	9,85a	10,27a	0,787	6,99	52,7
K (mmol _c kg ⁻¹)	2,02a	2,08a	2,22a	2,08a	0,953	0,96	35,7
Ca (mmol _c kg ⁻¹)	15,41a	15,18a	13,96a	19,29a	0,069	5,48	26,8
Mg (mmol _c kg ⁻¹)	4,68b	4,63b	4,54b	6,45a	0,012	1,70	26,1
H+Al (mmol _c kg ⁻¹)	46,59a	47,91a	46,53a	42,23a	0,515	10,77	18,3
SB (mmol _c kg ⁻¹)	22,11ab	21,89ab	20,71b	27,82a	0,030	6,63	22,4
T (mmol _c kg ⁻¹)	68,70a	69,80a	67,25a	70,05a	0,934	13,02	14,7
V (%)	32,60ab	32,26ab	30,42b	39,61a	0,022	8,07	18,7
Cu (mg kg ⁻¹)	0,59a	0,61a	0,58a	0,63a	0,413	0,67	86,6
Fe (mg kg ⁻¹)	31,09a	31,54a	31,37a	29,71a	0,787	5,38	13,6
Mn (mg kg ⁻¹)	2,87a	2,54a	2,12a	2,89a	0,812	2,48	74,3
Zn (mg kg ⁻¹)	2,45a	2,36a	1,74a	2,87a	0,370	1,73	57,2

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 5% de significância

² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em $P \leq 0,05$

³ Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade

⁴ Coeficiente de Variação

Tabela 2.4 - Resultado de comparação de médias dos atributos de fertilidade do solo na camada de 20-40 cm de profundidade em consequência das doses de calcário aplicadas em faixas na superfície do solo após o cultivo de milho (2005/2006)

Atributos	Tratamentos (t ha ⁻¹)				P > F ²	DMS ³	CV ⁴
	0,0	1,0	2,0	3,0			
MO (g kg ⁻¹)	30,24a ¹	27,26a	27,73a	26,95a	0,773	9,43	26,2
pH água	5,29ab	5,32ab	5,26b	5,47a	0,034	0,20	2,9
pH CaCl ₂	4,64ab	4,68ab	4,61b	4,80a	0,045	0,19	3,1
P (mg kg ⁻¹)	4,42a	3,96a	3,49a	3,83a	0,554	1,76	35,0
K (mmol _c kg ⁻¹)	1,61a	1,56a	1,83a	1,70a	0,618	0,59	27,4
Ca (mmol _c kg ⁻¹)	11,11a	11,55a	10,51a	14,18a	0,115	4,25	28,0
Mg (mmol _c kg ⁻¹)	3,79a	4,03a	4,49a	5,67a	0,114	2,18	37,9
H+Al (mmol _c kg ⁻¹)	40,85a	40,71a	41,59a	36,11a	0,456	10,18	19,9
SB (mmol _c kg ⁻¹)	16,50a	17,14a	16,83a	21,55a	0,104	6,10	26,4
T (mmol _c kg ⁻¹)	57,36a	57,85a	58,42a	57,66a	0,995	11,49	15,5
V (%)	29,10a	30,09a	28,74a	36,16a	0,103	8,91	22,4
Cu (mg kg ⁻¹)	0,43a	0,41a	0,43a	0,42a	1,000	0,46	85,2
Fe (mg kg ⁻¹)	25,09a	25,45a	24,59a	21,96a	0,335	5,60	18,0
Mn (mg kg ⁻¹)	1,41a	1,35a	1,24a	1,23a	0,936	0,90	53,8
Zn (mg kg ⁻¹)	0,77a	1,57a	0,78a	0,73a	0,213	1,24	100,7

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 5% de significância

² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em $P \leq 0,05$

³ Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade

⁴ Coeficiente de Variação

Considerando os resultados para a camada de 0-5 cm houve diferença significativa entre as médias dos atributos pH em água, pH em CaCl₂, cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (T) e saturação por bases (V). Esses atributos sofrem efeito direto da aplicação de calcário. O pH tanto em água como em CaCl₂ são a medida do inverso da atividade dos íons H⁺ na solução do solo, que diminui com a liberação de íons hidroxila pela reação do calcário no solo. Essa reação também promove a precipitação do Al³⁺, um dos componentes da acidez potencial, na solução do solo como hidróxido de alumínio o que faz com que íons Al³⁺ retidos nos colóides sejam liberados para a solução do solo. A essas afirmações sobre acidez ativa e acidez potencial corroboram os resultados do teste Tukey, onde se observa um aumento no valor do pH do solo tanto para um quanto para o outro método de medição, e uma diminuição no valor de H+Al.

Houve aumento no teor dos cátions básicos Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo em virtude do calcário ser fornecedor desses elementos. Esses elementos juntamente com o enxofre (S-SO_4^{2-}) são considerados macronutrientes secundários, ou seja, nenhum dos três nutrientes tem um preço. Por se constituírem componentes de fertilizantes e corretivos comercializados, respectivamente, por seu conteúdo em macronutrientes primários ou por sua capacidade corretiva, eles não são valorizados diretamente. Isso leva a situações de deficiências desses elementos (RAIJ, 1991).

O aumento no teor de magnésio nas camadas de 5-10 e 10-20 cm em resposta as doses de calcário e a não alteração estatística no teor de cálcio se deve ao fato da maior mobilidade do primeiro nutriente no solo. Segundo a série liotrópica o cátion Ca^{2+} é retido nos colóides do solo com uma força maior do que em relação ao cátion Mg^{2+} . Isso pressupõe que a mobilidade do Mg^{2+} seja maior que a do Ca^{2+} , o que poderia explicar haver diferenças nas médias daquele nutriente e não haver para esse, sendo os dois fornecidos pela mesma fonte.

Dentre os micronutrientes apenas o ferro (Fe) apresentou diferença significativa entre as médias com decréscimo no seu valor em resposta ao aumento da dose de calcário. Todos os micronutrientes analisados tiveram redução na média do teor desses na camada de 0-5 cm. Porém para o nível de significância estipulado pode ter sido efeito do acaso e não especificamente efeito dos tratamentos. O cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) como formas catiônicas no solo reagem com o ânion hidroxila em solução e precipitam na forma de hidróxidos de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Alleoni, Cambri e Caires (2005) verificaram que a aplicação de calcário em excesso reduziu os teores de Mn e Fe no solo até a profundidade de 10 cm, quando realizada na superfície, e até 20 cm, quando incorporada, em consequência do aumento do pH proporcionado pela calagem.

Esses resultados corroboram aos obtidos por Alleoni, Cambri e Caires (2005) que estudaram os efeitos de doses crescentes de calcário aplicadas em superfície e incorporadas para avaliar a correção da acidez em camadas mais profundas do perfil de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico de Cerrado. Esses autores observaram que após seis meses da aplicação superficial de calcário houve aumento nos valores de pH, saturação por bases e nos teores de Ca e Mg trocáveis, bem como diminuição dos teores de acidez potencial somente na camada de 0-5 cm. Sendo que após 18 e 30 meses esses autores observaram que os efeitos se estenderam até 10 cm.

Caíres et al. (2005) mostraram que os efeitos da aplicação de calcário em superfície nas três variáveis relacionadas a acidez do solo (pH, Al e cátions básicos) foram significativos na camada de 0-5 e 5-10 cm depois de 1 ano e na camada de 10-20 cm de profundidade de pois de 2,5 anos da aplicação de doses de

calcário (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) em superfície. Permanecendo consistentes esses resultados por um período superior a 10 anos após aplicação do calcário.

Caires et al. (2003, 2004) avaliaram as alterações químicas do solo e as produções de soja e milho, respectivamente, ao calcário e gesso aplicados no estabelecimento do sistema de plantio direto em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa. Concluíram que a correção da acidez pela calagem na superfície foi mais acentuada na camada superficial do solo (0-5 cm) e houve maior reação nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, quando o calcário foi incorporado.

Tissi, Caires e Pauletti (2004) realizaram um experimento em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura muito argilosa, manejado a seis anos em sistema de plantio direto (SPD) observaram que a calagem em superfície utilizando as doses de 0, 1, 2 e 3 t ha⁻¹, após 22 meses, aumento o pH em CaCl₂, os teores de Ca e Mg trocáveis e saturação por bases, e reduziu os valores de acidez potencial, na camada superficial do solo. Esses autores observaram também que houve aumento nos teores de Ca trocável e redução de Al trocável no subsolo (20-40 cm), porém os teores de Cu Fe Mn e Zn não foram alterados com a aplicação de calcário em superfície.

A forma de aplicação do calcário no sistema de plantio direto (SPD) cria no solo um gradiente de concentração dos produtos de sua reação (GATIBONI et al., 2003). Gatiboni et al. (2003) trabalharam com dois tratamentos, sendo um tratamento testemunha (sem aplicação de calcário) e a reaplicação superficial de calcário para elevar o pH a 6,0. Oitenta e quatro meses após a aplicação dos tratamentos Gatiboni et al. (2003) observaram que a aplicação superficial de calcário proporcionou uma frente alcalinizante no perfil do solo e migração de Ca e Mg em todo o horizonte A.

2.3.2 Alterações nos atributos de fertilidade do solo em relação a necessidade de calagem ou em relação a saturação por bases

Considerando as três células selecionadas dentro de cada bloco, as mesmas foram agrupadas de acordo com a necessidade de calagem (NC) calculada pelo método de saturação por bases a partir dos resultados de análise de solo das amostras coletadas na malha de 200 x 200m em novembro de 2003 (Anexo A). Os grupos formados foram os seguintes: $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$, $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ e $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Para a apresentação dos resultados das alterações dos atributos de fertilidade do solo em relação a NC foram considerados somente os resultados obtidos na camada de 0-5 cm (Tabela 2.5) e 5-10 cm (Tabela 2.6)

de profundidade. Isto porque, como visto no item anterior, as alterações, nos atributos de fertilidade do solo ligados a acidez do solo, concentraram-se na camada de 0-5 cm. E também no caso da aplicação superficial de calcário, ocorre a incorporação parcial do corretivo na camada superficial do solo pela utilização das semeadoras. Em sistema consolidado (> 5anos), tem sido observado o efeito da calagem até 10 cm (ANGHINONI; NICOLODI, 2004), com diminuição da acidez e translocação de cátions de reação básica em profundidade.

Para a camada de 0-5 cm de profundidade houve alteração nas médias dos atributos pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+} trocáveis, H+Al, SB, T e V, em relação aos tratamentos, somente para o grupo com NC < 1,5 t ha⁻¹ (Tabela 2.5). O mesmo resultado obtido na comparação entre as médias dos tratamentos, sem considerar os grupos, para os valores analisadas e calculados dos atributos de fertilidade do solo para esta camada. Houve aumento nos valores de pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, SB, T e V com o aumento das doses de calcário. E redução nos valores de H+Al e Fe^{2+} trocável com o aumento dessas doses.

Nesta mesma camada de solo houve alteração nas médias do teor de Mg^{2+} trocável, e do valor de H+Al. Os teores de Mg^{2+} trocável aumentaram até a dose de 2,0 t ha⁻¹ de calcário aplicado em superfície, sendo o único dos tratamentos a diferir do tratamento controle. Os valores da acidez potencial (H+Al) diminuíram com o aumento das doses.

Tabela 2.5 - Teores médios para os atributos de fertilidade do solo medidos na camada de 0-5 cm em cada nível de necessidade de calagem (NC)

Tratamento	MO	pH	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	Cu	Fe	Mn	Zn
tha ⁻¹	g kg ⁻¹	H ₂ O	CaCl ₂	mg kg ⁻¹	mmol _c kg ⁻¹				%		mg kg ⁻¹				
NC < 1.5 t ha ⁻¹															
0,0	48,29a ¹	5,84b	5,32c	15,78a	6,12a	45,68c	19,82c	31,99a	71,61c	103,61b	68,58c	1,40a	32,81a	12,98a	6,91a
1,0	50,06a	6,42a	5,93b	20,12a	6,68a	62,29bc	34,23bc	22,26b	103,20bc	125,46b	81,48b	1,25a	23,42b	10,00a	5,48a
2,0	48,65a	6,77a	6,32ab	20,27a	6,93a	69,88ab	48,71ab	18,05bc	125,51ab	143,56ab	87,34ab	1,23a	21,39b	8,47a	5,88a
3,0	52,17a	6,83a	6,41a	25,43a	6,06a	88,74a	65,13a	16,93c	159,92a	176,86a	89,86a	1,10a	20,01b	8,20a	5,48a
Pr > F ²	0,853	0,000	0,000	0,072	0,719	0,001	0,001	0,000	0,001	0,003	0,000	0,526	0,000	0,107	0,242
DMS ³	15,25	0,46	0,45	9,60	2,80	22,14	23,72	4,87	43,99	42,15	7,59	0,60	6,04	5,87	2,32
CV ⁴	13,9	3,2	3,4	21,3	19,7	15,1	25,6	9,9	17,3	13,9	4,2	21,9	11,2	26,8	17,7
1.5 ≤ NC ≤ 2.5 t ha ⁻¹															
0,0	53,58a	5,97a	5,35a	22,96a	5,35a	56,66a	20,24b	35,55a	82,24a	118,79a	68,73a	0,50a	29,95a	4,91a	3,97a
1,0	56,40a	6,42a	5,81a	21,82a	5,79a	67,59a	35,58ab	27,27ab	108,96a	136,23a	79,83a	0,66a	27,60a	5,22a	4,13a
2,0	69,80a	6,61a	5,55a	35,99a	6,90a	87,97a	60,13a	24,22ab	155,00a	179,22a	86,48a	0,51a	29,69a	5,39a	3,88a
3,0	61,34a	6,84a	6,33a	28,18a	5,94a	86,00a	54,25ab	19,76b	146,18a	165,94a	88,07a	0,63a	32,80a	7,23a	5,00a
Pr > F	0,155	0,057	0,405	0,258	0,356	0,096	0,043	0,048	0,063	0,093	0,057	0,418	0,968	0,710	0,698
DMS	25,15	0,87	2,48	29,16	3,55	43,52	38,603	15,61	82,81	78,58	20,73	0,48	52,21	10,12	4,87
CV	8,6	2,8	8,9	22,2	12,3	12,1	18,8	12,0	13,9	10,9	5,3	17,5	36,0	36,9	23,8
NC > 2.5 t ha ⁻¹															
0,0	52,17a	5,83b	5,31b	27,98a	5,84a	55,98a	21,29a	35,01a	83,11a	118,11a	70,18b	1,03a	30,96a	6,57a	5,73a
1,0	55,46a	6,05ab	5,63ab	28,96a	6,58a	68,42a	31,96a	29,17ab	106,97a	136,14a	78,35ab	0,78a	29,54ab	5,65a	4,69a
2,0	53,11a	6,62ab	6,20a	28,10a	7,19a	91,38a	50,88a	20,75b	132,49a	153,24a	85,63ab	0,60a	20,39ab	4,88a	3,99a
3,0	47,47a	6,78a	6,31a	27,51a	6,21a	83,04a	50,79a	18,93b	140,04a	158,97a	87,02a	0,65a	18,10b	5,35a	4,35a
Pr > F	0,317	0,022	0,009	0,995	0,413	0,211	0,190	0,016	0,196	0,328	0,036	0,133	0,023	0,215	0,165
DMS	13,60	0,84	0,72	19,28	2,67	53,85	-	12,89	86,57	75,88	16,04	0,57	12,02	2,45	2,36
CV	9,2	4,7	4,3	24,2	14,6	25,5	42,3	17,6	26,5	19,0	7,1	26,4	17,2	15,5	17,8

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância

² comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em $P \leq 0,1$

³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade pelo teste t

⁴ Coeficiente de Variação

Tabela 2.6 - Teores médios para os atributos de fertilidade do solo medidos na camada de 5-10 cm em cada nível de necessidade de calagem (NC)

Tratamento	MO	pH	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	Cu	Fe	Mn	Zn
t ha ⁻¹	g kg ⁻¹	H ₂ O	CaCl ₂	mg kg ⁻¹	mmol kg ⁻¹				%		mg kg ⁻¹				
NC < 1.5 t ha ⁻¹															
0,0	38,07a ¹	5,44a	4,88a	28,38a	2,72a	22,62 ^a	9,48a	39,91a	34,82a	74,73a	46,25a	1,70a	31,97a	6,01a	5,47a
1,0	34,90a	5,51a	4,83a	21,16a	2,53a	20,84 ^a	8,60a	40,09a	31,97a	72,06a	44,25a	1,35a	31,08a	4,87a	3,67a
2,0	32,43a	5,57a	4,96a	40,32a	3,29a	24,96 ^a	12,29a	38,95a	40,54a	79,48a	51,38a	1,60a	33,71a	5,53a	6,73a
3,0	33,14a	5,67a	4,98a	46,17a	2,47a	26,06 ^a	13,51a	36,44a	42,03a	78,47a	52,12a	1,33a	31,63a	4,98a	4,21a
Pr > F ²	0,094	0,314	0,646	0,234	0,354	0,447	0,102	0,469	0,231	0,126	0,397	0,200	0,559	0,191	0,144
DMS ³	6,53	0,36	0,41	38,22	1,49	10,47	6,11	7,73	15,93	9,58	16,18	0,59	5,85	1,66	3,96
CV ⁴	8,5	3,0	3,8	50,9	24,4	20,1	25,2	9,0	19,3	5,7	15,1	18,0	8,3	14,1	35,7
1.5 ≤ NC ≤ 2.5 t ha ⁻¹															
0,0	46,53a	5,42a	4,72a	35,99a	2,52a	29,07 ^a	8,75a	51,97a	40,33a	92,30a	42,82a	0,65a	35,30a	2,15a	2,89a
1,0	42,30a	5,55a	4,79a	39,58a	2,41a	25,23 ^a	9,19a	49,06a	36,83a	85,89a	43,32a	0,50a	32,17a	1,76a	2,52a
2,0	47,94a	5,26a	4,61a	45,11a	2,93a	21,14 ^a	8,29a	58,00a	32,36a	90,36a	35,43a	0,67a	45,37a	1,89a	2,79a
3,0	43,71a	5,58a	4,90a	54,07a	2,38a	33,73 ^a	12,16a	50,87a	48,27a	99,13a	48,34a	0,71a	33,22a	2,57a	3,62a
Pr > F	0,663	0,577	0,616	0,785	0,742	0,404	0,336	0,522	0,457	0,215	0,560	0,398	0,260	0,328	0,665
DMS	22,91	1,15	1,02	88,82	2,64	31,49	9,14	27,36	42,91	22,71	39,93	0,52	27,43	1,83	4,19
CV	10,5	4,4	4,5	42,1	21,4	23,9	19,7	10,8	22,5	5,1	19,5	17,2	15,6	18,2	29,4
NC > 2.5 t ha ⁻¹															
0,0	35,72a	5,27a	4,66a	54,57a	2,24a	22,18 ^a	6,91a	52,03a	31,33a	83,36a	36,94a	1,25a	33,10a	2,30a	3,45a
1,0	39,48a	5,23a	4,66a	39,25a	2,22a	22,03 ^a	7,63a	54,67a	31,87a	86,54a	37,24a	0,66b	35,37a	2,17a	3,59a
2,0	39,95a	5,42a	4,69a	43,45a	2,91a	23,53 ^a	9,69a	48,73a	36,13a	84,86a	41,16a	0,71b	29,47a	2,34a	3,45a
3,0	36,19a	5,56a	4,85a	47,95a	2,49a	28,64 ^a	10,29a	44,49a	41,43a	85,92a	46,95a	0,72b	30,63a	2,87a	3,95a
Pr > F	0,499	0,570	0,700	0,791	0,604	0,571	0,445	0,363	0,513	0,767	0,561	0,012	0,427	0,638	0,920
DMS	11,37	0,88	0,65	54,24	1,90	17,81	7,83	19,00	24,78	11,00	26,37	0,45	12,42	1,95	2,89
CV	10,6	5,8	4,8	41,4	27,4	26,1	32,1	13,4	24,9	4,6	23,0	19,2	13,7	28,6	28,4

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância

² comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em P ≤ 0,1

³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade pelo teste t

⁴ Coeficiente de Variação

Ainda na camada amostrada de solo de 0-5 cm e considerando agora os grupos com $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ houve alterações significativas entre as médias de pH em água e em CaCl_2 , H+Al, V e nos teores de Fe^{2+} trocável. Os valores de pH e V aumentaram com as doses de calcário ao passo que os valores médios de H+Al e Fe^{2+} diminuíram.

Para os resultados médios dos atributos de fertilidade do solo analisados na camada de 5-10 cm somente houve alteração significativa para os teores de Cu^{2+} trocável no grupo com maior exigência em calcário ($NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$). Os teores desse micronutriente diminuíram com as doses de calcário.

Novamente pode-se observar que as alterações dos atributos de fertilidade do solo promovidas pela aplicação superficial do calcário concentram-se na camada de 0-5 cm após aproximadamente 13 meses da aplicação dos tratamentos. Pode-se observar também que essas alterações foram mais pronunciadas no grupo com $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$. O poder tampão do solo certamente influencia nestes resultados. Segundo Rajj (1991) os solos diferem nas necessidades de calcário, para que seja obtido um mesmo valor de pH. Diz-se que os solos diferem em poder tampão, que é a resistência que eles apresentam na variação do pH pela adição de pequenas quantidades de base. A diferença entre solos deve-se à capacidade de troca de cátions, que é maior em solos mais ricos em matéria orgânica ou com teores mais elevados de argila e, ainda, quando a argila apresenta maior atividade de superfície.

O teor médio de matéria orgânica para cada grupo de necessidade de calcário, calculado a partir dos resultados da análise química de amostras de solo na camada de 0-20 cm coletadas em setembro de 2003 (ANEXO A), foi de 29, 44 e 37 g kg^{-1} para os grupos com $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$, $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ e $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. Já o teor médio de argila para cada grupo foi de 54, 67 e 67 dag kg^{-1} para os grupos com $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$, $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ e $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

Nas Figuras 2.3 e 2.4 podem-se visualizar as médias para os valores dos atributos de fertilidade do solo afetados significativamente pela calagem entre os tratamentos em cada um dos grupos de recomendação de calagem considerados nas camadas amostradas do perfil do solo. Na Figura 2.3 são apresentados as médias de pH em água, pH em CaCl_2 e os teores de cálcio e magnésio, para cada nível de recomendação de calagem dentro de cada tratamento. Na Figura 2.4 são apresentadas as médias da acidez potencial e dos parâmetros calculados de soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação por bases.

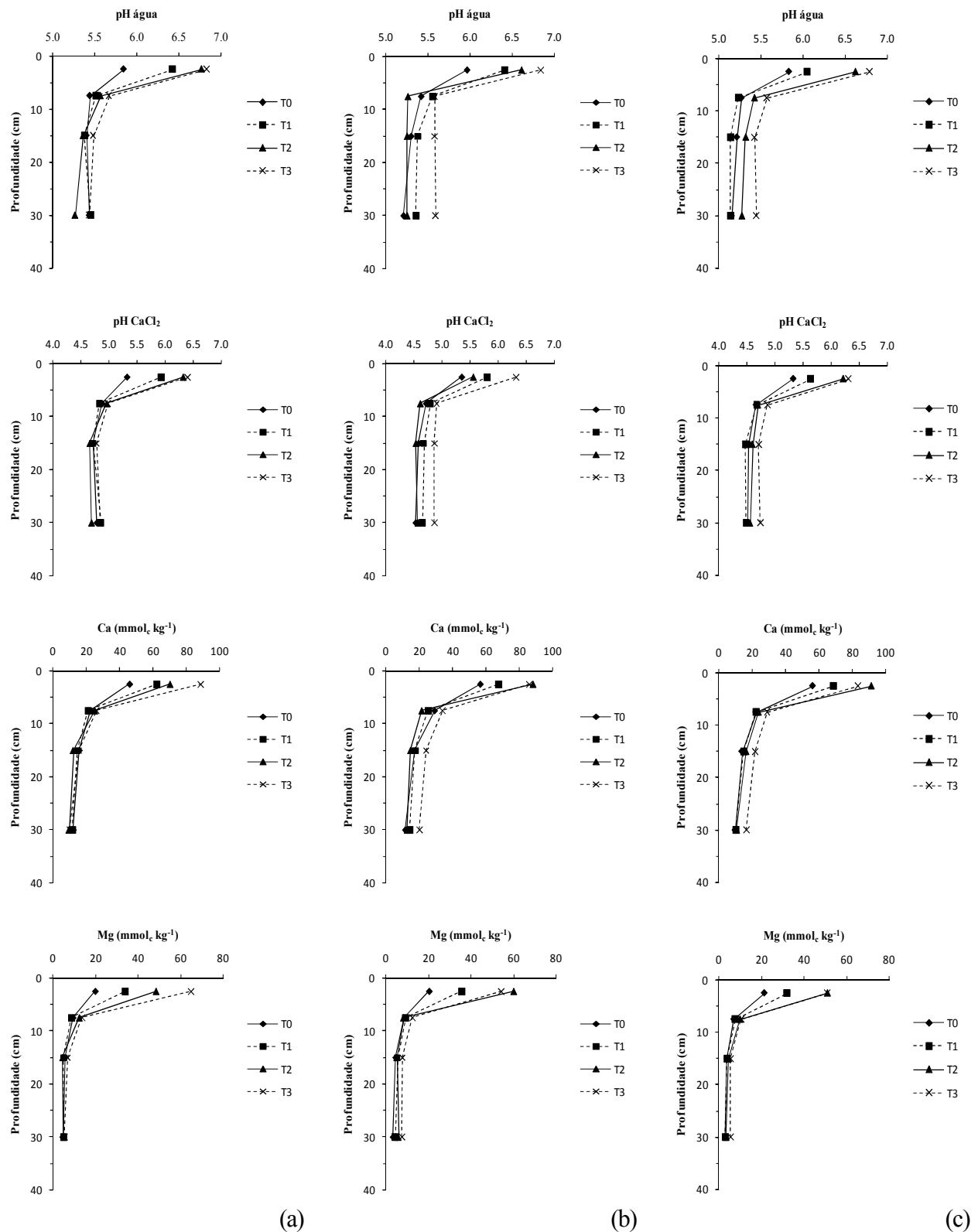


Figura 2.3 - Índice pH em água e em CaCl₂, teor de Ca e de Mg no perfil do solo após a aplicação de 0 (T0), 1 (T1), 2 (T2) e 3 (T3) t ha⁻¹ de calcário agrupadas pela necessidade de calagem: NC < 1,5 t ha⁻¹ (a), 1,5 ≤ NC ≤ 2,5 t ha⁻¹ (b) e NC > 2,5 t ha⁻¹ (c)

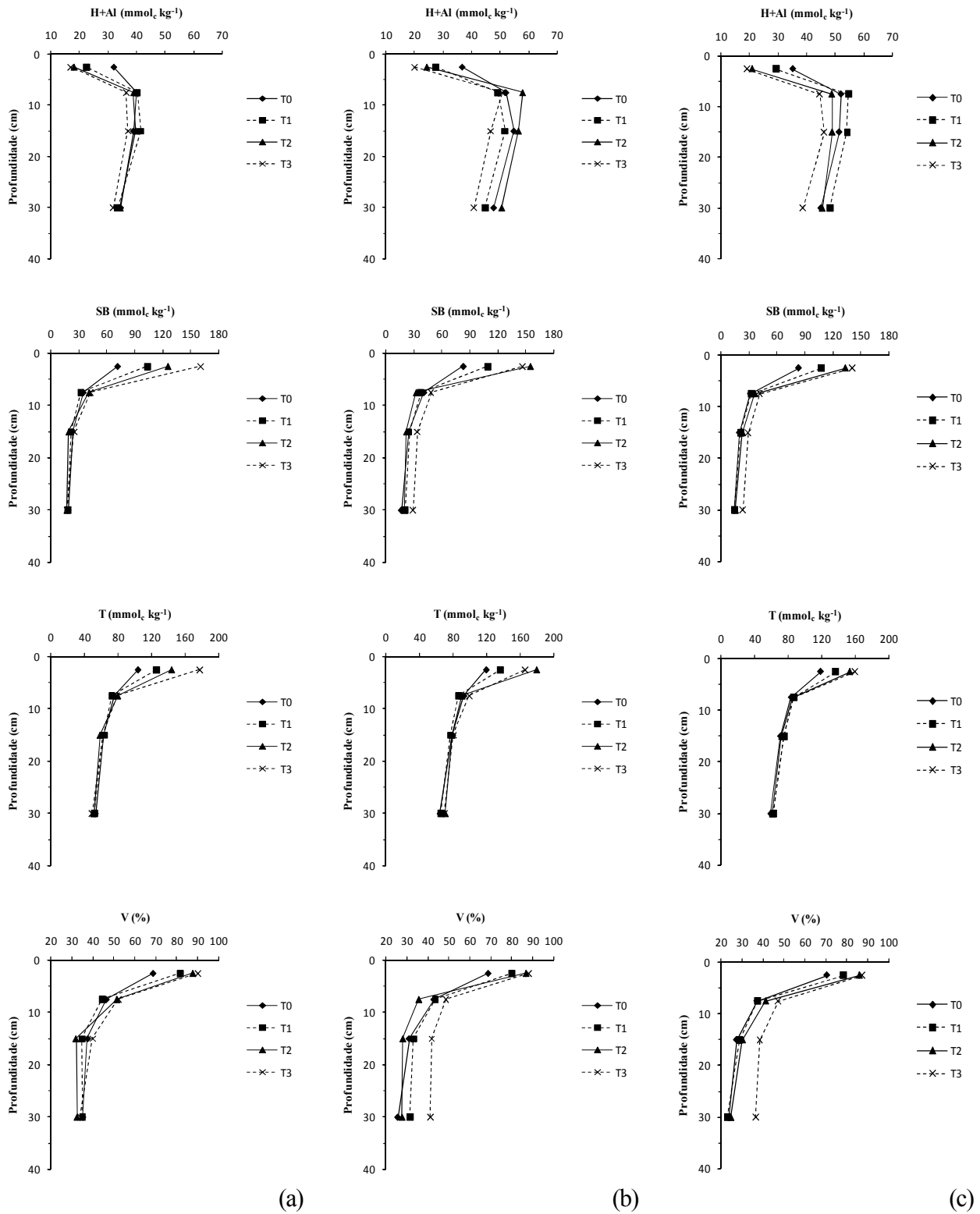


Figura 2.4 - Acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), CTC potencial (T) e saturação por bases (V) no perfil do solo após a aplicação de 0 (T0), 1 (T1), 2 (T2) e 3 (T3) t ha⁻¹ de calcário agrupadas pela necessidade de calagem: NC < 1,5 t ha⁻¹ (a), 1,5 ≤ NC ≤ 2,5 t ha⁻¹ (b) e NC > 2,5 t ha⁻¹ (c)

2.4 Considerações Finais

As alterações nos atributos de fertilidade do solo ligados a acidez do solo se concentraram na camada de 0-5 cm. Nesta camada houve diferença significativa entre as médias de pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e Fe^{2+} trocáveis, H+Al, SB, T e V.

Houve aumento no teor dos cátions básicos Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo em virtude do calcário ser fornecedor desses elementos. O aumento no teor de magnésio nas camadas de 5-10 e 10-20 cm em resposta as doses de calcário e a não alteração estatística no teor de cálcio se deve ao fato da maior mobilidade do primeiro nutriente no solo.

Dentre os micronutrientes apenas o ferro (Fe) apresentou diferença significativa entre as médias com decréscimo no seu valor em resposta ao aumento da dose de calcário.

Esses mesmos resultados ocorreram para as áreas com NC menores que $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ na mesma camada. Para os outros dois níveis de NC a maioria dos resultados para esses atributos só foi significativa para probabilidades de significância acima de 5%.

Referências

ADÂMOLI, J.; MACÊDO, J.; AZEVEDO, L.G.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1987. cap. 2, p.33-74.

ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 923-934, 2005.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 15, p. 873-928.

BONGIOVANNI, R; LOWENBERG-DEBOER, J. Economics of variable rate lime in Indiana. **Precision Agriculture**, Warwick, v. 2, n. 1, p. 55-70, Sept. 2000.

CAIRES, E.F.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; BARTH, G. Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 791-798, May/June 2005.

CAIRES, E.F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUJO, F.J.; KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 275-286, 2003.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUJO, F.J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 125-136, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 2006. 306 p.

FRAZEN, D.W.; PECK, T.R. Sampling for side-specific application. In: ROBERT, P.C. (Ed.) **Site-Specific Management for Agricultural Systems**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1995a. p. 535-551.

_____. Spatial variability of plant analysis calcium and magnesium levels before and after liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 26, p. 2253-2277, 1995b.

GATIBONI, L.C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J.P.C.; RHEINHEIMER, D.S.; KAMINSKI, J. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 283-290, mar./abr. 2003.

GOEDERT, W.J. Região dos Cerrados: potencial agrícola e política para seu desenvolvimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 1-17, 1989.

KAMPATH, E.J. Exchangeable Al as a criteria for liming leached mineral soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 34, p. 252-254, 1970.

LATHWELL, D.J.; PEECH, M. **Interpretation of chemical tests**. Ithaca: Cornell University, 1964. 39 p.

LINDSAY, W.L.; NORVELL, W.A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 42, p. 421-428, 1978.

LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162 p.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

PIERCE, F.J.; WARNCKE, D.D. Soil and crop response to variable-rate liming for two Michigan fields. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 774-780, Mar. 2000.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C de; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004a. 416 p.

_____. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004b. cap. 3, p. 81-96.

SUMNER, M.E.; NOBLE, A.D. Soil acidification: the world story. In: RENGEL, Z. (Ed.) **Handbook of soil acidity**. New York: Marcel Dekker, 2003. chap. 1, p. 1-28.

TISSI, J.A.; CAIRES, E.F.; PAULETTI, V. Efeitos da calagem em semeadura direta de milho. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 405-413, 2004.

WEISZ, R.; HEINIGER, R.; WHITE, J.G.; KNOX, B.; REED, L. Long-term variable rate lime and phosphorus application for Piedmont no-till field crops. **Precision Agriculture**, Warwick, v. 4, p. 311-330, 2003.

3 ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS NUMA ROTAÇÃO MILHO E SOJA APÓS CALAGEM EM FAIXAS DE APLICAÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO

Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar o estado nutricional das plantas por meio da concentração foliar dos macro e micronutrientes após a calagem em faixas de aplicação, e correlacionar com a produtividade de grãos do milho e da soja cultivados em sucessão em sistema de plantio direto numa lavoura de produção de grãos na região do Cerrado. O experimento foi conduzido na Fazenda Alto Alegre localizada no município de Planaltina-GO em uma área de produção comercial de grãos com 373 ha. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso representando cada um uma área de 16 ha do campo. Cada área é composta de 4 faixas paralelas com 25 m de largura onde foram aplicados os tratamentos: 0 (controle), 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário distribuídos de forma casualizada dentro de cada bloco. As aplicações de calcário foram feitas em dose única na superfície no mês de setembro de 2005. Foram cultivados na área o milho (2005/2006), a soja (2006/2007) e o milho (2007/2008). A amostragem de folha indicadora das culturas para determinação das concentrações dos nutrientes foi realizada para os tratamentos nas faixas. Os dados de produtividade do talhão foram obtidos no momento da colheita das culturas, por meio de colhedora equipada com monitor de produtividade. O calcário se mostrou eficiente fonte de Mg para a nutrição mineral do milho e da soja e restringiu a absorção de Mn por essas culturas. No caso desse nutriente a aplicação de calcário em superfície deve ser criteriosa no sentido de se evitar uma deficiência nutricional ou toxidez de Mn às plantas nos diferentes grupos de NC. A absorção de N e P pelo milho (2005/06) foi prejudicada pelo período de estiagem prolongado ocorrido durante o florescimento da cultura. As concentrações de P e Cu ficaram abaixo das consideradas adequadas para a soja (2006/07). A dose de calcário adequada a uma NC menor promoveu a melhor nutrição das plantas de milho (2007/08) em Mn e Zn. Nos grupos com NC maiores que 1,5 t ha⁻¹ houve aumento nas concentrações de N no milho (2007/08) com as doses de calcário.

Palavras chave: Agricultura de precisão; Nutrição de plantas; Plantio direto; Cerrado

Abstract

The objective of the work was to evaluate the nutritional state of corn and soybean plants by the leaf macro and micronutrients concentration after lime application in strips, and correlate with the grain yields of these crops grown in rotation and no-till in a Cerrado farm. The experiment was carried out in Alto Alegre Farm, Planaltina, GO, Brazil in a commercial grain production area with 373 ha. The experimental design was randomized block, representing each one an area with 16 ha of the field. Each area was composed by four 25 m wide parallel strips, where the treatments were applied: 0 (control), 1, 2 and 3 t ha⁻¹ of lime distributed randomly within each block. The lime was applied in one single application on surface in September 2005 in strips. Corn (2005/2006), soybean (2006/2007) and corn (2007/2008) were grown. Leaf samples were collected for the determination of nutrients contents for each treatment applied in

the strips. The N and P uptake by the corn grown in 2005/06 was affected by the extended drought period occurred during crop flowering stage. The P and Cu were below the adequate levels for soybean (2006/07). The lime rate adequate for lower lime requirement (LR) promoted better corn plant nutrition (2007/08) for Mn and Zn. In the groups of LR higher than 1.5 t ha⁻¹. There was an increase in corn N content (2007/08) with increasing lime rates.

Keywords: Precision agriculture; Plant nutrition; Liming; No tillage; Savannah

3.1 Introdução

A produtividade das culturas de importância agrônômica varia em resposta ao pH do solo, respondendo à aplicação de calcário somente se os níveis de pH limitam a performance dessas culturas (BLACK, 1993). McLean e Brown (1984) resumiram as respostas das culturas em relação ao pH do solo e mostraram que o milho frequentemente não responde para pH entre 5 e 6.

Doses uniformes de calcário podem deixar áreas subcalciadas ou aplicar o corretivo em porções do campo onde o pH do solo está próximo de 7. Diferentemente de alguns outros fertilizantes, o calcário pode produzir um efeito negativo na resposta da cultura se for aplicado em excesso. Os efeitos negativos de uma supercalagem, considerando o aspecto do estado nutricional das plantas, estão geralmente ligados a uma deficiência nutricional das plantas, para os micronutrientes catiônicos, induzida pelo alto pH (ADAMS, 1984).

O método para calcular a quantidade recomendada de calcário, que vem sendo muito usado na região do Cerrado, é o que utiliza a saturação por bases do solo (SOUSA; LOBATO, 2004). A eq. (1) para o cálculo foi deduzida por Quaggio (1983) e Quaggio, Rajj e Malavolta (1985), e pelo novo sistema de unidades é expressa como.

$$NC(\text{tha}^{-1}) = \frac{CTC \times (V_2 - V_1)}{10 \times PRNT} \quad (1)$$

Onde:

V₁ é a saturação por bases atual

V₂ é a saturação por bases que se deseja

Os valores de V_2 dependem da tolerância à acidez ou resposta da cultura a calagem (QUAGGIO, 2000). Segundo as recomendações do Instituto Agrônomo de Campinas para os solos do Estado de São Paulo, esses valores são de 70 e 60% para as culturas do milho e da soja, respectivamente (RAIJ et al., 1996). Para Sousa e Lobato (2004) os dados obtidos experimentalmente indicam que a produtividade de grãos das culturas de sequeiro (soja, milho, trigo e feijão) aumenta com a saturação por bases até 40%, estabiliza entre os valores de 40 e 60% e diminui quando a saturação por bases é maior que 60%. Para valores de saturação por bases maiores que 60%, o pH em água do solo será maior que 6,3 e, nessa situação, poderá ser induzida a deficiência de zinco, cobre, ferro e manganês, essa última muito freqüente na região do Cerrado. Na região do Cerrado, o rendimento das culturas não é afetado quando a saturação por bases estiver em torno de 50% e o pH em água próximo a 6,0, ambos determinados em amostras coletadas na camada de 0-20cm, desde que a relação Ca:Mg trocáveis no solo ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) esteja entre 1:1 e 10:1, com um mínimo de $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (SOUSA; LOBATO, 2004).

O manejo da calagem em plantio direto ainda carece de muitas informações, uma vez que a matéria orgânica, a mineralogia e a textura do solo influenciam sensivelmente a formação de cargas e o poder tampão do solo (SÁ, 1999). Como no sistema de plantio direto a dinâmica do Al é alterada, com diminuição de sua toxidez às plantas, os critérios para a calagem, utilizados no sistema convencional podem não ser adequados ao plantio direto. Os critérios para a calagem são diferenciados conforme a fase do sistema de plantio direto: na instalação ou na consolidação (ANGHINONI, 2007).

Os limitados estudos de campo, sobre aplicação de calcário a taxas variáveis, têm demonstrado um aumento no pH do solo em áreas onde o calcário foi aplicado, reduzindo a variabilidade espacial do pH no campo experimental e aumentando a produtividade da soja, porém não afetando a produtividade do milho (FRANZEN; PECK, 1995a, 1995b; PIERCE; WARNEKE, 2000). As respostas comparativas das culturas para o calcário (KAMPRATH, 1970; LATHELL; PEECH, 1964) demonstram que as produções de milho aumentam até pH 5 e 5,5, respectivamente, enquanto algumas leguminosas respondem a pH 6 ou maior, são consistentes com esses resultados da aplicação de calcário a taxas variáveis. Conseqüentemente, parece provável que a aplicação de calcário a taxas variáveis será mais tecnicamente eficiente para a soja do que para o milho (WEISZ et al., 2003).

Embora a aplicação de calcário a taxas variáveis seja freqüentemente identificada como um importante benefício da agricultura de precisão poucos estudos publicados tem avaliado as respostas da planta para este tipo de manejo (PIERCE; WARNCKE, 2000). Considerando mais especificamente a avaliação do estado nutricional das plantas para experimento de manejo “sítio específico” da calagem,

levando-se em conta a variabilidade dos atributos ligados a acidez do solo, muito poucos trabalhos tem sido encontrados na literatura.

As hipóteses do trabalho são: 1) A concentração dos nutrientes no tecido foliar das plantas de milho e soja varia conforme a dose de calcário nas faixas de aplicação; 2) Os resultados das concentrações de macro e micronutrientes se correlacionam aos dados de produtividade de grãos para os três anos safra após a aplicação dos tratamentos.

O objetivo do trabalho foi avaliar o estado nutricional das plantas por meio da concentração foliar dos macro e micronutrientes após a calagem em faixas de aplicação, e correlacionar com a produtividade de grãos do milho e da soja cultivados em sucessão em sistema de plantio direto numa lavoura de produção de grãos na região do Cerrado.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Histórico do local de condução do experimento

O estudo foi conduzido nas safras de 2005/2006 a 2007/2008, em lavoura de sequeiro, na Fazenda Alto Alegre, localizada no município de Planaltina-GO (15°22'S e 47°27'O, altitude média de 1050 m). A região apresenta clima tropical com duas estações bem definidas: seca e chuvosa. A precipitação média anual varia entre 1.300 mm a 1.750 mm. A duração do período seco é de quatro a cinco meses, sendo a temperatura média anual de 20°C.

A área experimental que estava sob vegetação natural de Cerrado foi desmatada de 1987 a 1989 para o cultivo da soja até 1994, e representa um talhão de 373 ha. Após 1994, a área foi cultivada com a sucessão milho-soja em sistema de plantio direto no período chuvoso. No período seco, a área apresenta ocorrência expressiva de *Brachiaria* spp., *Panicum* spp. e outras gramíneas, as quais servem ao pastejo bovino no período da entressafra. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (EMBRAPA, 2006).

A última aplicação de calcário foi realizada no ano safra de 2000/2001 com 800 kg ha⁻¹ de maneira uniforme. Seguindo a recomendação de calagem pelo método da saturação por bases da aplicação quando o índice de saturação por bases for menor que 35% para lavoura de sequeiro planejou-se a reaplicação de calcário no ano de 2005/2006.

Em novembro de 2003 foi realizada uma amostragem de solo na camada de 0-20 cm de profundidade utilizando uma malha com células de 200 x 200m. O GPS Etrex Vista[®] foi utilizado para traçar uma poligonal da área. De posse do polígono procedeu-se divisão da área em 80 células de quatro hectares cada. As células dos limites da bordadura foram desconsideradas para fins de amostragem. Foram coletadas 12 subamostras em pontos georeferenciados ao longo da diagonal de cada célula distanciados em aproximadamente 15 metros entre um e outro, para compor uma amostra composta representativa de cada célula (ANEXO A). Os resultados obtidos foram para avaliar a variabilidade espacial dos atributos de fertilidade do solo (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006).

Os resultados do estudo de variabilidade espacial dos atributos de fertilidade do solo foram utilizados para implantar em 2005 um delineamento experimental em blocos ao acaso em faixas com doses de calcário em superfície ao longo dessas faixas

3.2.2 Delineamento experimental

Foi considerado no planejamento deste experimento a variabilidade espacial dos atributos de fertilidade diretamente ligados a acidez do solo, como pH, os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, e H+Al (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006). A variabilidade espacial do teor de argila avaliada por esses autores foi também considerada. Portanto, a espacialização dos resultados desses atributos mais o do parâmetro calculado de saturação por bases (ANEXO B) produziram o mapa da necessidade de calagem (ANEXO B) segundo o critério de recomendação de calcário proposto por Sousa e Lobato (2004) para atingir a saturação por bases desejada de 50%.

O delineamento experimental em blocos ao acaso em faixas foi composto por três áreas (blocos) de 16 ha cada um em três posições transversais a uma área de produção de 373 ha. Cada uma daquelas áreas foram subdivididas em 4 faixas paralelas com 25 m de largura onde foram aplicados os tratamentos: 0 (controle), 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário distribuídos de forma casualizada dentro de cada bloco (Figura 3.1).

As aplicações de calcário dolomítico em superfície tanto nas faixas de aplicação foram feitas no mês de setembro de 2005 por uma distribuidora de calcário da marca Nevoeiro[®], com regulagem para aplicar uma dose de 1,0 t ha⁻¹. Na aplicação das doses 2,0 e 3,0 t ha⁻¹ repetiu-se a aplicação na mesma passada 2 e 3 vezes, respectivamente. O calcário dolomítico aplicado apresentou teores de CaO de 29,2% e de MgO de 20,8%, com um PN de 102% e PRNT de 90,54%. As quantidades das frações retidas na peneira de 2 mm

(10 mesh) foi 0,0%, na 0,84 mm (20 mesh) foi 2,8%, na 0,3 mm (50 mesh) foi 22,5% e 74,7% passou na peneira de 0,3 mm.

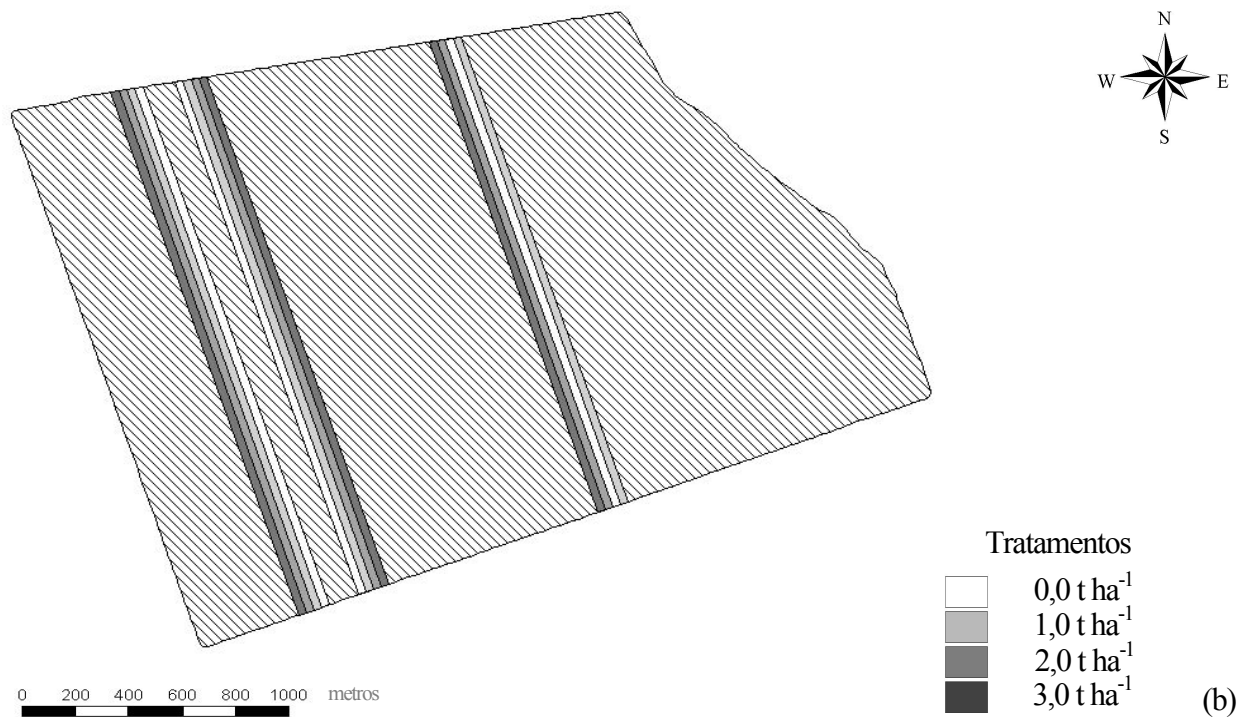


Figura 3.1 - Mapa do delineamento experimental de blocos ao acaso em faixas de aplicação de calcário

3.2.3 Amostragem de folhas

Foi realizada amostragem de folha indicadora da cultura do milho (safra 2005/2006), da soja (safra 2006/2007) e do milho (safra 2007/2008) em fevereiro de 2006, em janeiro de 2007 e em fevereiro de 2008, respectivamente. Segundo recomendação de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), a amostragem das folhas de milho se deu na época do aparecimento da inflorescência feminina e o tipo de folha coletado ou folha indicadora foi a folha oposta e abaixo da espiga. Foi coletada a folha inteira não descartando a nervura central. Segundo a recomendação contida em Oliveira (2004), a amostragem das folhas de soja foi realizada no florescimento das plantas e o tipo de folha coletado foi o terceiro trifólio com pecíolo a partir do ápice da planta.

A amostragem de folhas nas faixas de aplicação de calcário e na faixa com o tratamento controle foi realizada em todas as células ao longo de todo o comprimento das faixas. Para o milho (safra 2005/2006 e

2007/2008) foram coletadas as folhas de seis e nove plantas, respectivamente, ao redor do ponto central de cada célula ao longo da faixa. Na amostragem das folhas de soja (safra 2006/2007) essas foram coletadas em nove pontos de subamostragem ao redor do ponto central da faixa em cada célula (Figura 3.2). Porém em cada ponto de subamostragem coletou-se a folha indicadora de três plantas de soja em cada uma das três linhas de plantio próximas ao ponto.

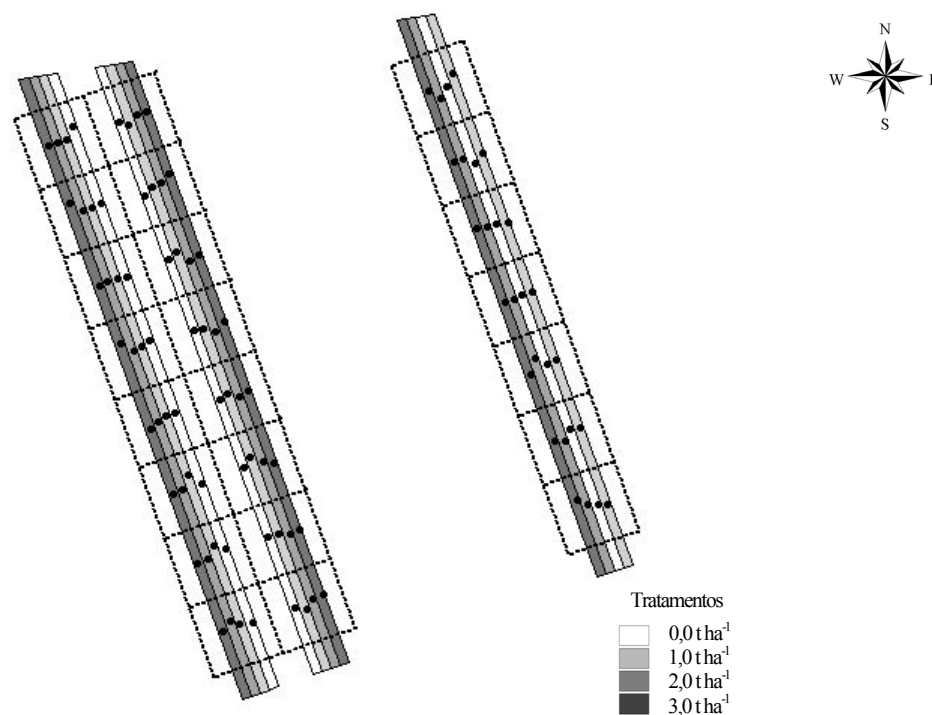


Figura 3.2 - Mapa com as células (linha pontilhada) e com os pontos de amostragem (seis subamostras para o milho e nove subamostras para soja por ponto – amostra composta) para as folhas de milho (2005/2006), soja (2006/2007) e milho (2007/2008)

3.2.4 Análise química das folhas

O material vegetal coletado (folhas) foi seco em estufa de circulação forçada de ar com temperatura constante ajustada a 65°C por um período de 48 horas. O material seco foi moído em moinho tipo Wiley, passando as amostras em peneira de 20 mesh.

Para as determinações de macro e micronutrientes a exceção do N, o material vegetal foi submetido à digestão nítrico-perclórica conforme descrito em Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). No extrato nítrico-perclórico, a concentração de P foi determinada por espectrofotometria do metavanadato + molibdato,

a de potássio (K) por fotometria de emissão de chama, as concentrações de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrometria de absorção atômica e a de S por turbidimetria do sulfato de bário. Para a determinação de N, submeteu-se o material vegetal à digestão sulfúrica e posterior destilação do extrato pelo método micro-Kjeldahl.

3.2.5 Obtenção dos dados de produtividade

As colheitas do milho (safra 2005/2006), da soja (safra 2006/2007) e do milho (safra 2007/2008) nas faixas de aplicação de calcário foram realizadas, respectivamente, em julho de 2006, abril de 2007 e junho de 2008. Os dados brutos de produtividade das faixas foram obtidos no momento da colheita, por meio de colhedora New Holland TC 59 equipada com Sistema de Posicionamento Global (GPS), sensor de fluxo de grãos por placa de impacto, sensor de umidade de grãos, sensor de velocidade de deslocamento da colhedora e sensor de controle de altura da plataforma. Essas informações foram gerenciadas pelo monitor de rendimento de grãos AgLEADER PFAdvantage[®], que fez as leituras de produtividade, altitude e umidade de grãos a cada dois segundos, durante a colheita da cultura.

Os dados foram armazenados num cartão de memória do monitor de rendimento de grãos. Os arquivos com os dados no cartão de memória foram abertos num PC utilizando o software SMS Basic (AgLEADER Technology). Dentro desse software os arquivos foram então convertidos para o formato texto e exportados. Cada linha do arquivo representa um ponto contendo os dados de posicionamento (latitude e longitude) e uma série de outras informações, sendo a produtividade corrigida pelo teor de umidade, uma delas. Esses arquivos no formato texto foram abertos no Excel (Microsoft) para posterior filtragem dos dados.

3.2.6 Filtragem dos dados de produtividade

A planilha contendo os dados de produtividade passou por um processo de filtragem obedecendo a critérios específicos. Esses critérios foram organizados em cinco passos de filtragem dos dados. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcView foi utilizado para a visualização dos dados brutos e filtrados de produtividade de grãos das culturas.

Primeiramente durante a obtenção dos dados de produtividade os arquivos foram separados por passadas (“Load”) na colheita das faixas com os tratamentos. O monitor registrou então os dados de produtividade a cada 2 segundos para cada passada da colhedora nas faixas de calcário. Considerando a

largura da plataforma de colheita de milho de 4,20 m e de soja de 6,48 m, tem-se que cada unidade experimental em faixa contou com seis e quatro arquivos (“Load”), respectivamente. Esses arquivos passaram individualmente pelos cinco passos de filtragem para os dados de produtividade do milho safra 2005/2006 e soja safra 2006/2007. Para os dados de milho safra 2007/2008 esses arquivos foram agrupados num arquivo único referente a cada unidade experimental em faixa e depois passaram pelos passos de filtragem. Para as áreas entre as faixas, todos os dados de produtividade foram registrados em um único arquivo (“Load”) para cada cultura em cada ano safra.

O primeiro passo da filtragem consistiu na conversão das coordenadas geográficas (latitude e longitude) para cada ponto coletado de produtividade em coordenadas métricas (UTM). Utilizou-se para isso o software GPS Trackmaker.

O segundo passo foi calcular a distância entre pontos consecutivos coletados de produtividade utilizando a eq. (2).

$$DN = \sqrt{ID(N)^2 + ID(L)^2} \quad (2)$$

Onde:

DN é a distância entre pontos consecutivos coletados de produtividade

ID(N) é o índice de deslocamento na direção Norte-Sul

ID(L) é o índice de deslocamento na direção Leste-Oeste

Com base nas coordenadas métricas de cada ponto foram propostos os índices de deslocamento na direção norte-sul (ID(N)) e leste-oeste (ID(L)), que informam o sentido e direção e a distância de deslocamento da colhedora. Através das seguintes eq. (3) e eq. (4) pode-se calcular esses índices. Com base na distância entre pontos consecutivos (DN) foi possível identificar pontos coletados no mesmo lugar, com distância nula. Esses pontos foram então excluídos da planilha.

$$ID(N) = X(i) - X(i+1) \quad (3)$$

$$ID(L) = Y(j) - Y(j+1) \quad (4)$$

Onde:

X é a coordenada Norte da colhedora

i é o ponto na direção N-S e sentido considerado

Y é a coordenada Leste da colhedora

j é o ponto na direção L-O e sentido considerado

O terceiro passo consistiu em eliminar todos os pontos com DN menores que 1,0m.

No quarto passo foi realizada uma análise estatística exploratória dos dados, com o cálculo da média, mediana, quartil superior e inferior e variância. Com base nos quartis superior e inferior foi calculado o limite superior (LS) e inferior (LI) para os valores de produtividade para determinação de limites para os dados discrepantes. As eq. (5) e eq. (6) mostram como foram calculados esses limites. Os valores de produtividade acima do LS e abaixo do LI foram excluídos da planilha.

$$LS = QS + 1,5 \times AI \quad (5)$$

$$LI = QI - 1,5 \times AI \quad (6)$$

Onde:

LS é o limite superior

LI é o limite inferior

QS é o quartil superior

QI é o quartil inferior

AI é a amplitude interquartilica

Utilizando as funções lógicas do Microsoft Excel[®] pode-se no quinto passo de filtragem criar um algoritmo para análise e classificação do dado de produtividade de um ponto em relação a média dos dados de produtividade dos cinco pontos anteriores a este. O algoritmo trabalha os dados um a um, comparando-os à média dos cinco dados anteriores. O critério imposto pelo algoritmo é saber se o valor do dado de produtividade do ponto em questão é 30% maior que a média dos cinco anteriores. Quando o valor de produtividade do ponto é 30% maior que a média aparece como resultado do algoritmo a expressão “APAGA”, ou seja, o ponto (linha) é descartado da planilha. Caso contrário, aparece como resultado do algoritmo a expressão “DEIXA”, ou seja, o ponto (linha) é mantido na planilha. A função lógica utilizada “SE” é utilizada para compor o algoritmo abaixo a eq. (7).

$$SE(X > 1.3 \times \text{MÉDIA}; "APAGA"; "DEIXA") \quad (7)$$

Onde:

X é o valor do dado de produtividade avaliado

MÉDIA é a média dos dados de produtividade dos cinco pontos anteriores

Concluído os cinco passos de filtragem os arquivos com os dados filtrados na planilha Excel foram então convertidos para o formato DBF IV. Os arquivos neste formato foram abertos no SIG (ArcView) para visualização dos pontos contendo os dados de produtividade, e posteriormente convertidos para o formato shape (arquivo nativo do ArcView). Um arquivo shape com as linhas que representam as curvas de nível de toda área experimental foi sobreposto aos pontos. Foi criado um “buffer” com cinco metros de distância de cada lado das linhas que representam as curvas de nível e os pontos inseridos neste buffer foram excluídos do arquivo shape dos dados filtrados de produtividade de grãos.

3.2.7 Análise estatística

Considerando as células por onde cruzam as faixas com os tratamentos de calcário dentro de cada um dos três blocos, as mesmas foram agrupadas de acordo com a necessidade de calagem (NC) calculada pelo método da saturação por bases a partir dos resultados de análise de solo das amostras coletadas na malha de 200 x 200 m em novembro de 2003 (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006). Os grupos formados foram os seguintes: área com baixa condição de acidez do solo ($NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$), com média condição de acidez do solo ($1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$) e com alta condição de acidez do solo ($NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$).

As médias dos resultados da análise foliar para as folhas amostradas das diferentes culturas foram avaliadas quanto a diferença estatística entre elas pelo procedimento GLM (General Linear Models) para experimentos desbalanceados. O resultado do teste F utilizado para a comparação entre as médias foi significativo a 10% de probabilidade. Comprovada a diferença estatística entre as médias as mesmas foram comparadas pelo teste t entre os tratamentos e entre os tratamentos para cada nível de necessidade de calagem definido previamente. O nível de significância considerado para o teste t foi também de 10% de significância.

A justificativa para a escolha do nível de significância dos testes está fundamentada no fato de ser um experimento de campo onde as diferenças em resposta aos tratamentos são consideradas sutis em relação a enormidade de fatores atuando de forma isolada e em interação nas variáveis respostas. Mesmo tomando os cuidados com os princípios da experimentação de repetição, casualização e controle local. Aliado a isto Berndtsson e Bahri (1995) verificaram que os teores dos nutrientes no solo apresentaram maior variação que as concentrações dos nutrientes na planta. Resultados semelhantes são verificados comparando-se os coeficientes de variação encontrados por Montezano, Corazza e Muraoka (2006) para os macronutrientes e micronutrientes determinados em amostras de solo com os coeficientes de variação para os nutrientes em amostras de folha (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2008), na mesma área de estudo. Outro comentário importante refere-se aos limites de concentração dos nutrientes nas plantas, mais estreitos que as faixas de teor dos elementos no solo. A planta possui uma composição química mais definida, o que influencia em menor dispersão nas observações e na distribuição de frequências (CAMELO et al., 1993).

Foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson (ρ) entre as concentrações dos macro e micronutrientes e as produtividades do milho, da soja e novamente do milho nos anos safra 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008, respectivamente. Junto deste coeficiente foi calculado também o nível de significância para rejeição da hipótese nula ($\rho = 0$), a qual considera que as variáveis correlacionadas são independentes, ou seja, não há uma relação linear entre elas. Essa hipótese foi rejeitada considerando o nível de significância de 5 %.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Estado nutricional do milho e da soja nas faixas de calagem

As concentrações dos macro e micronutrientes no tecido foliar das plantas de milho cultivadas no ano safra 2005/2006 estão representadas como média das concentrações para o tratamento controle (T0) e as doses de 1 (T1), 2 (T2) e 3 t ha⁻¹ (T3) de calcário (Tabela 3.1).

Somente os valores médios das concentrações de magnésio (Mg) e de manganês (Mn) diferiram significativamente em consequência da calagem realizada. Houve aumento na concentração de Mg com o aumento na dose de calcário em relação ao tratamento controle. Inversamente, houve diminuição nas concentrações de Mn com o aumento na dose de calcário em relação ao tratamento controle. Segundo

Oliveira (2004) o intervalo de concentrações foliares consideradas adequadas de Mg e de Mn para a cultura do milho são, respectivamente, de 1,5 a 5,0 g kg⁻¹ e de 20 a 200 mg kg⁻¹. Portanto as concentrações de Mn ficaram próximas do limite inferior, no intervalo das concentrações adequadas para este nutriente, nas plantas da faixa que recebeu as doses mais elevadas de calcário para esse experimento. No caso do Mg as concentrações estão todas dentro do intervalo considerado adequado, mesmo no tratamento controle.

Esses resultados corroboram com os obtidos por Oliveira, Parra e Costa (1997) que avaliaram as respostas da cultura do milho cultivado à aplicação de doses de 0, 2,2, 4,4, 6,6 e 8,8 t ha⁻¹ em LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO Álico, as quais mostraram que a calagem aumentou significativamente a concentração de Mg no tecido foliar do milho e diminuiu, significativamente, a concentração de Mn naquele tecido.

Miranda et al. (2005) avaliaram os efeitos da calagem no sistema de plantio direto (SPD) e convencional de cultivo da soja e milho em rotação sob LATOSSOLO VERMELHO argiloso na região do Cerrado. Esses também constataram incrementos nos teores foliares de Ca e Mg e diminuição no teor foliar de Mn com o aumento das doses de calcário, tanto no plantio direto quanto no plantio convencional, para a cultura do milho no segundo e no quarto cultivo após a aplicação dos tratamentos.

Caires et al. (2004) fizeram a aplicação dos tratamentos sem calcário e 4,5 t ha⁻¹ de calcário na superfície, em dose total e 1/3 da dose por ano, durante três anos, e incorporado em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa. Esses observaram que a calagem não alterou os teores foliares de N, P, Ca e S, mas proporcionou acréscimos significativos na concentração de Mg nas folhas de milho cultivado 39 meses, aproximadamente, após a aplicação dos tratamentos, principalmente quando o calcário foi aplicado de forma parcelada na superfície ou incorporado no solo.

Tabela 3.1 - Resultado da comparação das médias de concentração de macro e micronutrientes nas folhas de milho em consequência da aplicação de calcário em faixas no ano safra 2005/2006

Atributos	Calcário (t ha ⁻¹)				P > F ²	DMS ³	CV ⁴
	0,0	1,0	2,0	3,0			
N (g kg ⁻¹)	24,29a ¹	24,02a	24,16a	23,84a	0,913	1,08	9,2
P (g kg ⁻¹)	1,51a	1,47a	1,48a	1,50a	0,865	0,08	11,3
K (g kg ⁻¹)	27,47a	27,77a	28,16a	27,72a	0,549	0,79	5,8
Ca (g kg ⁻¹)	4,90a	4,82a	5,02a	5,05a	0,217	0,20	8,4
Mg (g kg ⁻¹)	2,37b	2,44b	2,74a	2,72a	0,000	0,17	13,7
S (g kg ⁻¹)	1,93a	1,90a	1,97a	1,93a	0,798	0,12	12,7
Cu (mg kg ⁻¹)	7,92a	7,67a	8,00a	7,59a	0,717	0,69	18,2
Fe (mg kg ⁻¹)	95,61a	91,13a	101,63a	94,52a	0,175	7,92	16,9
Mn (mg kg ⁻¹)	23,20a	21,47ab	20,71b	20,59b	0,100	1,92	18,3
Zn (mg kg ⁻¹)	25,02a	23,82a	25,48a	24,09a	0,272	1,59	13,2

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância

² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em $P \leq 0,1$

³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade

⁴ Coeficiente de Variação

As concentrações médias dos macro e micronutrientes no tecido foliar das plantas de soja cultivadas na safra 2006/2007 para o tratamento controle (T0) e as doses de 1 (T1), 2 (T2) e 3 t ha⁻¹ (T3) de calcário são apresentadas na Tabela 3.2.

Como ocorreu para os resultados da análise foliar do milho na safra 2005/2006 também para os resultados da análise foliar da soja houve diferença estatística nas concentrações médias de Mg e Mn entre os tratamentos. Novamente houve aumento na concentração de Mg com o aumento na dose de calcário em relação ao tratamento controle, e diminuição nas concentrações de Mn com o aumento na dose de calcário. A função primária do calcário é a de corrigir o pH do solo. Além disso, dependendo do tipo de calcário, ele pode desempenhar a função de fornecedor de Ca e/ou Mg. Por isso era de se esperar uma maior absorção de Mg pela planta. Mas essa maior absorção, no caso da soja, pode ocorrer também em virtude da melhoria da capacidade de troca de cátions do solo devido as cargas elétricas geradas na superfície dos colóides minerais e orgânicos e que são dependentes dos valores de pH do meio.

Tabela 3.2 - Resultado da comparação das médias de concentração nas folhas de soja de macro e micronutrientes em consequência da aplicação de calcário em faixas no ano safra 2006/2007

Atributos	Calcário (t ha ⁻¹)				P > F ²	DMS ³	CV ⁴
	0,0	1,0	2,0	3,0			
N (g kg ⁻¹)	49,84a ¹	51,24a	51,08a	51,20a	0,284	1,39	5,6
P (g kg ⁻¹)	2,33a	2,34a	2,34a	2,35a	0,908	0,06	5,0
K (g kg ⁻¹)	28,46a	27,43bc	28,01ab	27,28c	0,030	0,72	5,3
Ca (g kg ⁻¹)	9,88a	9,87a	9,86a	9,80a	0,978	0,33	6,8
Mg (g kg ⁻¹)	3,33b	3,40b	3,42ab	3,53a	0,045	0,11	6,7
S (g kg ⁻¹)	2,61a	2,61a	2,60a	2,68a	0,539	0,09	7,3
Cu (mg kg ⁻¹)	8,48a	7,74a	7,66a	7,45a	0,340	0,99	25,8
Fe (mg kg ⁻¹)	105,94a	113,10a	110,77a	108,03a	0,648	9,91	18,5
Mn (mg kg ⁻¹)	37,85a	35,97ab	33,95bc	32,94c	0,023	2,80	16,2
Zn (mg kg ⁻¹)	51,65a	51,89a	49,58a	48,14a	0,186	3,27	13,3

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância

² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em $P \leq 0,1$

³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade

⁴ Coeficiente de Variação

A aplicação de calcário em superfície no sistema de plantio direto (SPD) deve ser realizada de forma criteriosa pois uma dose excessiva de calcário pode promover uma deficiência nutricional de Mn às plantas de soja e a aplicação de subdoses de calcário promover o oposto, ou seja, uma toxidez de Mn. Isso se torna importante quando se extrapola, os resultados da pesquisa sobre recomendação de calagem para o SPD, para as áreas de produção normalmente extensas.

Caires e Fonseca (2000) avaliaram a absorção de nutrientes pela soja em função das doses de calcário de 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ aplicados a lanço na superfície de LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO Distrófico textura média e constataram que houve aumento na absorção de P e de Mg e de redução de Zn e Mn pela cultura. Esses autores explicaram que o aumento da absorção de P foi proporcional ao aumento do pH do solo até a profundidade de 20 cm, ao passo que a maior absorção de Mg foi ocasionada pelo aumento de seus teores no solo, devido ao uso de calcário dolomítico. Eles observaram também redução da absorção de Zn e Mn relacionada ao aumento de pH do solo nas camadas superficiais de 0-5 cm e 5-10 cm.

Lima et al. (2004), trabalhando com solos (LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO e AREIA QUARTZOSA) com fortes limitações nutricionais às plantas, tanto pela acidez quanto pelo excesso de Mn trocável, avaliaram os efeitos de um fatorial com cinco doses de calcário e com cinco doses de Mn na

nutrição mineral da soja. Comparando os tratamentos com e sem calagem observaram a ocorrência de deficiências de Ca e Mg e toxidez de Mn. Esses autores encontraram relações significativas das acumulações foliares de Ca, Mg e Mn em função das doses de calagem e de manganês. Concluíram que a calagem, além de seus efeitos benéficos conhecidos, mostra-se importante em prevenir a toxidez de Mn na soja.

As concentrações médias dos macro e micronutrientes no tecido foliar das plantas de milho cultivadas na safra 2007/2008 para o tratamento controle (T0) e as doses de 1 (T1), 2 (T2) e 3 t ha⁻¹ (T3) de calcário são apresentadas na Tabela 3.3.

Os valores médios das concentrações de potássio (K), de cálcio (Ca) e de manganês (Mn) diferiram significativamente entre os tratamentos. A concentração foliar de K na dose de 3,0 t ha⁻¹ de calcário foi menor em relação os demais tratamentos. Provavelmente isso se deve ao fato de que altas concentrações de Mg²⁺ no solo podem inibir competitivamente a absorção de K, causando, as vezes, deficiência desse nutriente (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

Tabela 3.3 - Resultado da comparação das médias de concentração de macro e micronutrientes nas folhas de milho em consequência da aplicação de calcário em faixas no ano safra 2007/2008

Atributos	Calcário (t ha ⁻¹)				P > F ²	DMS ³	CV ⁴
	0,0	1,0	2,0	3,0			
N (g kg ⁻¹)	26,79b ¹	27,11b	28,03a	27,99a	0,001	0,61	4,4
P (g kg ⁻¹)	2,13a	2,13a	2,20a	2,9a	0,186	0,07	6,1
K (g kg ⁻¹)	25,99a	25,75a	25,72a	24,92b	0,029	0,62	4,7
Ca (g kg ⁻¹)	6,84ab	7,08a	6,56b	6,82ab	0,031	0,28	8,0
Mg (g kg ⁻¹)	3,20b	3,50a	3,39ab	3,51a	0,040	0,20	11,6
S (g kg ⁻¹)	2,33a	2,29a	2,34a	2,29a	0,777	0,09	7,8
Cu (mg kg ⁻¹)	7,66a	7,45a	7,63a	7,77a	0,853	0,61	15,5
Fe (mg kg ⁻¹)	112,62a	108,77a	112,74a	110,19a	0,498	5,09	8,9
Mn (mg kg ⁻¹)	29,78a	27,34a	27,52a	27,22a	0,106	1,98	13,8
Zn (mg kg ⁻¹)	28,48a	28,45a	30,10a	29,61a	0,634	2,57	17,2

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância

² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em P ≤ 0,1

³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade

⁴ Coeficiente de Variação

3.3.2 Estado nutricional do milho e da soja nas faixas em relação a necessidade de calagem ou em relação a saturação por bases

Considerando as células dentro de cada bloco, essas foram agrupadas de acordo com a necessidade de calagem (NC) calculada pelo método de saturação por bases a partir dos resultados de análise de solo das amostras coletadas na malha de 200 x 200m em novembro de 2003 (ANEXO B). Os grupos formados foram os seguintes: $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$, $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ e $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$.

As concentrações médias dos macro e micronutrientes no tecido foliar das plantas de milho cultivadas na safra 2005/2006 foram comparadas entre os tratamentos aplicados em faixa para cada nível de necessidade de calagem previamente definido (Tabela 3.4).

Para as concentrações médias dos nutrientes no grupo com $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$ somente o Mn respondeu significativamente aos tratamentos, reduzindo a sua concentração no tecido foliar das plantas com o aumento da dose de calcário. Considerando como referência as concentrações adequadas para os macro e micronutrientes para as principais culturas no Cerrado publicadas por Oliveira (2004) nota-se que as concentrações de N e P estão abaixo do limite inferior das concentrações adequadas para estes dois nutrientes. Provavelmente a absorção das plantas para estes dois elementos foi prejudicada pelo período de estiagem prolongado ocorrido durante o florescimento da cultura.

Para as concentrações médias dos nutrientes no grupo com $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ houve resposta significativa para as concentrações de N, Cu e Mn, sendo que para os três houve redução das concentrações com o aumento da dose de calcário. Para o N e Mn os resultados são mais preocupantes, pois mesmo a maior concentração desses nutrientes ficou abaixo da faixa considerada adequada (OLIVEIRA, 2004). Porém não foram observados sintomas visuais de deficiência para esses nutrientes nas plantas de milho. As concentrações de P estão abaixo da faixa adequada como foi relatado para o primeiro grupo.

Para os macro e micronutrientes no grupo com $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ houve diferença significativa para as concentrações de Ca e Mg em resposta aos tratamentos. Com o aumento da dose de calcário as concentrações desses dois nutrientes também aumentaram no tecido foliar do milho. As concentrações de N e P estão abaixo da faixa adequada também para este grupo e a redução que houve nas concentrações de Mn e que foram significativas para os dois primeiros grupos, neste não foram para o nível de significância considerado.

Tabela 3.4 - Concentrações médias para os macro e micronutrientes em tecido foliar de plantas de milho safra 2005/2006 para cada nível de necessidade de calagem (NC)

Calcário	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
--- t ha ⁻¹ ---	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
NC < 1,5 t ha ⁻¹										
0,0	22,76a ¹	1,40a	26,30a	4,82a	2,33a	1,84a	8,30a	86,18a	26,82a	26,14a
1,0	23,08a	1,40a	27,31a	4,88a	2,43a	1,78a	7,88a	82,52a	24,11ab	23,63a
2,0	23,34a	1,35a	27,87a	4,90a	2,65a	1,88a	8,65a	84,87a	23,29b	26,13a
3,0	22,91a	1,42a	27,68a	5,02a	2,65a	1,86a	8,43a	83,43a	22,67b	25,19a
Pr > F ²	0,891	0,859	0,101	0,781	0,200	0,649	0,343	0,677	0,095	0,192
DMS ³	1,32	0,14	1,11	0,34	0,30	0,14	0,73	5,44	2,87	2,18
CV ⁴	7,13	12,51	5,06	8,66	14,70	9,34	10,83	8,01	14,67	10,71
1,5 ≤ NC ≤ 2,5 t ha ⁻¹										
0,0	26,04a	1,60a	29,50a	4,98a	2,60a	2,07a	7,90a	100,98a	18,92a	24,26a
1,0	23,89b	1,51a	29,03a	5,00a	2,58a	2,02a	6,84bc	91,43a	16,80b	21,30b
2,0	24,34b	1,53a	28,28a	4,98a	2,78a	1,96a	7,11ab	112,44a	16,67b	22,38ab
3,0	23,90b	1,52a	28,28a	5,13a	2,94a	1,98a	6,12c	93,71a	17,12b	20,36b
Pr > F	0,090	0,276	0,378	0,918	0,268	0,891	0,034	0,126	0,072	0,026
DMS	1,57	0,09	1,42	0,44	0,35	0,26	0,94	15,68	1,53	2,05
CV	6,32	5,47	4,88	8,58	12,64	12,91	13,29	15,55	8,69	9,16
NC > 2,5 t ha ⁻¹										
0,0	24,69a	1,56a	27,27a	4,93ab	2,24c	1,92a	7,52a	102,18a	22,33a	24,34a
1,0	25,17a	1,54a	27,34a	4,62b	2,36bc	1,95a	8,06a	100,58a	22,02a	25,91a
2,0	24,94a	1,59a	28,40a	5,20a	2,80a	2,09a	7,93a	112,38a	20,83a	27,08a
3,0	24,84a	1,59a	27,34a	5,02a	2,65ab	1,99a	7,73a	107,60a	20,86a	25,67a
Pr > F	0,978	0,676	0,575	0,080	0,017	0,485	0,789	0,385	0,300	0,329
DMS	1,91	0,08	1,60	0,37	0,30	0,20	0,97	12,68	1,66	2,48
CV	8,93	6,29	6,74	8,68	14,01	11,46	14,50	13,94	8,94	11,20

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em P ≤ 0,1³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade pelo teste t⁴ Coeficiente de Variação

Na Tabela 3.5 é apresentada as concentrações médias de macro e micronutrientes no tecido foliar das plantas de soja cultivadas na safra 2006/2007 para cada um dos grupos de necessidade de calagem definidas previamente.

Para as concentrações médias dos macro e micronutrientes no grupo de $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$ houve diferenças significativas somente para as concentrações de Mn, com redução na concentração em resposta ao aumento da dose de calcário. As concentrações de P estão um pouco abaixo do limite inferior da faixa considerada adequada para as concentrações desse nutriente nas folhas de soja (OLIVEIRA, 2004). Para o Cu, mesmo não sendo significativa a sua diminuição nas folhas de soja com o aumento das doses de calcário, vale ressaltar que a concentração desse elemento passou de adequada, ou seja, dentro da faixa dos valores publicados por Oliveira, no tratamento controle, para fora dessa faixa nos tratamentos relativos a doses de calcário.

No grupo de $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ houve diferença significativa nas concentrações de K, Mn e Zn em resposta aos tratamentos. Em todos os casos houve redução das concentrações com o aumento das doses de calcário em superfície. As concentrações de P e Cu ficaram abaixo da faixa adequada neste grupo de NC como ocorreu no primeiro grupo.

Os valores das concentrações médias dos nutrientes no tecido foliar das plantas de soja referentes ao grupo com $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação aos tratamentos a exceção das concentrações de Cu. Houve redução das concentrações desse nutriente com o aumento da dose de calcário aplicado em superfície. Todos os valores para as concentrações de Cu ficaram abaixo do limite inferior da faixa de valores considerada adequada independente do tratamento. Vale a pena observar as concentrações de Cu para cada um dos grupos de NC, apesar de não ter sido comparado estatisticamente. Para uma mesma dose de calcário as concentrações de Cu aumentam em valor com a diminuição da dose de calcário necessário para elevar a saturação por bases a 50%. Para os grupos com necessidade de calagem maiores as concentrações desse elemento se distanciaram mais da faixa adequada. As concentrações de P para os três grupos ficaram abaixo dos valores adequados para a cultura da soja.

Tabela 3.5 - Concentrações médias para os macro e micronutrientes em tecido foliar de plantas de soja safra 2006/2007 para cada nível de necessidade de calagem (NC)

Calcário	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
--- t ha ⁻¹ ---	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
NC < 1,5 t ha ⁻¹										
0,0	49,33a ¹	2,27a	28,22a	9,85a	3,39a	2,63a	10,21a	103,64a	41,75a	58,19a
1,0	52,21a	2,26a	27,29a	10,01a	3,35a	2,50a	8,77a	112,48a	40,97ab	59,11a
2,0	51,42a	2,26a	27,86a	10,20a	3,48a	2,49a	8,65a	102,05a	35,75bc	54,04a
3,0	51,38a	2,28a	27,72a	9,82a	3,50a	2,69a	8,46a	108,58a	34,66c	53,95a
Pr > F ²	0,261	0,926	0,432	0,558	0,224	0,234	0,492	0,632	0,089	0,440
DMS ³	2,50	0,05	0,96	0,50	0,14	0,19	2,13	15,15	5,55	6,82
CV ⁴	5,7	2,7	4,0	5,9	4,7	8,8	27,5	16,5	16,9	14,1
1,5 ≤ NC ≤ 2,5 t ha ⁻¹										
0,0	48,71a	2,41a	29,25a	9,95a	3,39a	2,52a	7,52a	103,64a	36,18a	47,16a
1,0	47,49a	2,38a	29,06a	9,53a	3,39a	2,56a	7,18a	111,85a	31,09b	46,18ab
2,0	48,28a	2,45a	28,58a	9,73a	3,46a	2,61a	7,37a	102,87a	30,43bc	43,94bc
3,0	49,86a	2,46a	27,14b	9,46a	3,57a	2,62a	6,99a	102,07a	28,95c	41,27c
Pr > F	0,562	0,237	0,042	0,733	0,398	0,633	0,401	0,444	0,000	0,009
DMS	2,92	0,07	1,26	0,83	0,21	0,15	0,56	11,59	1,86	2,73
CV	5,9	3,0	4,4	8,5	5,9	5,7	7,6	10,9	5,8	6,0
NC > 2,5 t ha ⁻¹										
0,0	52,25a	2,31a	27,92a	9,94a	3,26a	2,75a	7,23a	114,98a	35,39a	48,81a
1,0	52,85a	2,36a	26,28a	10,10a	3,37a	2,74a	6,69b	118,44a	34,81a	48,00a
2,0	53,32a	2,33a	27,60a	9,77a	3,25a	2,75a	6,56b	130,32a	35,42a	47,67a
3,0	51,91a	2,29a	26,28a	10,16a	3,49a	2,72a	6,46b	115,92a	34,19a	45,41a
Pr > F	0,783	0,614	0,244	0,336	0,293	0,969	0,023	0,424	0,943	0,146
DMS	2,56	0,09	1,72	0,39	0,24	0,12	0,42	17,56	4,00	2,51
CV	5,3	4,0	6,9	4,2	7,6	4,7	6,7	15,8	12,3	5,7

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em P ≤ 0,1³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade pelo teste t⁴ Coeficiente de Variação

A comparação entre os tratamentos de calcário aplicados em faixas com relação as concentrações médias de macro e micronutrientes no tecido foliar de plantas de milho cultivadas na safra 2007/2008 para cada grupo de necessidade de calagem estão apresentadas na Tabela 3.6.

No grupo com $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$ houve diferença estatisticamente significativa entre as concentrações de K, Cu, Mn e Zn. Na dose de $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário a concentração de K foi maior e as concentrações de Cu e Mn foram menores em relação ao tratamento controle. Elas não diferiram das concentrações obtidas na dose de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário para o K e o Cu. A concentração de Zn atingiu o mais alto valor na dose de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ não diferindo para a concentração desse nutriente obtida no tratamento $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário. Os tratamentos referentes as doses $1,0$ e $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ são os mais condizentes à necessidade de calagem desse grupo. Pode-se observar também que as concentrações de N estão fora da faixa considerada adequada para esse nutriente na cultura do milho (OLIVEIRA, 2004). A dose de calcário adequada à necessidade de calagem para este grupo promoveu a melhor nutrição das plantas em Mn e Zn, principalmente no caso do Mn que saiu de uma condição onde suas concentrações estavam fora da faixa adequada de concentração para uma condição de concentração dentro da faixa na dose de calcário mais condizente a necessidade de calagem neste grupo.

As concentrações dos macro e micronutrientes no grupo de $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ diferiram significativamente apenas para o caso N, P, Mg e S. Houve aumento nas concentrações desses nutrientes com o aumento da dose de calcário melhorando a nutrição mineral das plantas de milho nesses macronutrientes, principalmente para o N. As concentrações de N aumentaram com os tratamentos, sendo que somente a concentração desse macronutriente, a partir da dose de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, atingiu a faixa de concentração adequada para as plantas.

Para as concentrações de nutrientes nas folhas de milho no grupo de $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ os valores para N, K, Mg e Mn foram significativamente diferentes entre os tratamentos. As concentrações de N e Mg aumentaram e as concentrações de Mn diminuíram com o aumento das doses de calcário aplicado na superfície. O valor das concentrações de K flutuou entre os tratamentos. Apesar das concentrações de K serem significativamente diferentes, o resultado não poderá ser explicado biologicamente. O estado nutricional das plantas com relação ao N melhorou com aumento das doses de calcário. A concentração de N atingiu a faixa adequada na máxima dose de calcário aplicado neste grupo onde a necessidade de calagem, ou melhor, as doses necessárias para elevar a saturação por bases até 50% foram maiores em relação aos outros dois grupos. Doses elevadas de calcário não melhorarão o estado nutricional das plantas em relação ao N para condições onde foi baixa a necessidade de calagem para atingir a saturação por bases a 50%.

Tabela 3.6 - Concentrações médias para os macro e micronutrientes em tecido foliar de plantas de milho safra 2007/2008 para cada nível de necessidade de calagem (NC)

Calcário	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
--- t ha ⁻¹ ---	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----				
NC < 1,5 t ha ⁻¹										
0,0	26,67a	2,16a ¹	25,48bc	7,08a	3,79a	2,34a	8,69a	109,04a	30,58a	29,87c
1,0	27,19a	2,21a	26,20a	6,92a	3,71a	2,32a	8,18b	107,06a	28,19b	31,33bc
2,0	27,44a	2,18a	25,88ab	6,48a	3,46a	2,35a	8,54ab	108,41a	31,08a	35,22a
3,0	27,03a	2,17a	25,16c	6,92a	3,67a	2,26a	8,83a	110,32a	29,31ab	34,11ab
P > F ²	0,768	0,786 ²	0,076	0,229	0,396	0,714	0,070	0,822	0,076	0,056
DMS ³	1,28	0,09	0,68	0,50	0,34	0,14	0,41	6,01	1,94	3,47
CV ⁴	5,1	4,6	2,9	7,9	10,0	6,6	5,2	6,0	7,0	11,5
1,5 ≤ NC ≤ 2,5 t ha ⁻¹										
0,0	27,21b	2,08b	26,56a	6,47a	2,75b	2,28b	6,76a	112,70a	27,36a	25,21a
1,0	27,44b	2,13b	26,00a	7,23a	3,39a	2,28b	6,68a	106,05a	23,58a	25,39a
2,0	28,92a	2,27a	25,81a	6,79a	3,35a	2,44a	6,74a	113,40a	23,56a	27,75a
3,0	29,09a	2,28a	25,34a	6,75a	3,47a	2,46a	7,08a	107,40a	24,32a	27,78a
P > F	0,016	0,040	0,449	0,171	0,001	0,095	0,499	0,505	0,187	0,315
DMS	1,11	0,13	1,29	0,56	0,27	0,15	0,49	10,16	3,32	3,11
CV	3,9	5,9	4,9	8,2	8,2	6,4	7,1	9,1	13,3	11,6
NC > 2,5 t ha ⁻¹										
0,0	26,59b	2,14a	26,00a	6,91a	3,01b	2,36a	7,42a	115,70a	30,90a	29,72a
1,0	26,80b	2,06a	25,16ab	7,11a	3,40a	2,28a	7,39a	112,32a	29,43ab	28,23a
2,0	27,87a	2,16a	25,51a	6,47b	3,37a	2,25a	7,50a	116,03a	27,39b	27,40a
3,0	28,00a	2,13a	24,38b	6,80ab	3,41a	2,20a	7,36a	112,17a	27,56b	27,06a
P > F	0,024	0,289	0,046	0,073	0,063	0,321	0,951	0,669	0,044	0,239
DMS	0,89	0,09	0,93	0,39	0,27	0,15	0,43	7,04	2,27	2,35
CV	3,8	4,9	4,3	6,7	9,7	7,5	6,7	7,2	9,1	9,7

¹ As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste F ao nível de 10% de significância² Comparação entre as médias dos tratamentos não significativa em P ≤ 0,1³ Diferença Mínima Significativa a 10% de probabilidade pelo teste t⁴ Coeficiente de Variação

3.3.3 Correlação entre os nutrientes e a produtividade de grãos nas faixas de calagem

Os coeficientes de correlação de Pearson (ρ), bem como os resultados do teste de significância para esses coeficientes são apresentados na Tabela 3.7. Nessa tabela as correlações entre as concentrações de macro e micronutrientes no tecido foliar e as produtividades do milho na safra 2005/2006, da soja na safra 2006/2007 e do milho na safra 2007/2008 foram calculadas para cada uma das doses de calcário aplicadas em superfície.

Tabela 3.7 - Correlação de Pearson entre as concentrações foliares de macro e micronutrientes com a produtividade média de grãos para os três anos safra avaliados durante o período do experimento

Produtividade	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
Calcário 0,0 t ha ⁻¹ (T0)										
Milho 2005/2006	0,20 ^{ns}	0,23 ^{ns}	-0,09 ^{ns}	0,62*	0,19 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,29 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Soja 2006/2007	-0,75*	0,37 ^{ns}	0,60*	-0,56*	-0,17 ^{ns}	-0,77*	0,27 ^{ns}	-0,38 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,44*
Milho 2007/2008	0,31 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,51*	0,60*	0,20 ^{ns}	0,46*	0,47*
Calcário 1,0 t ha ⁻¹ (T1)										
Milho 2005/2006	0,30 ^{ns}	0,43*	0,22 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Soja 2006/2007	-0,25 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,41 ^{ns}	-0,42*	-0,21 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	0,54*	-0,62*	0,33 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Milho 2007/2008	-0,09 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,26 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Calcário 2,0 t ha ⁻¹ (T2)										
Milho 2005/2006	0,28 ^{ns}	0,42*	0,24 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,55*	0,23 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
Soja 2006/2007	-0,61*	0,66*	0,50*	-0,34 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	-0,43*
Milho 2007/2008	-0,53*	-0,43 ^{ns}	0,51*	-0,47*	-0,21 ^{ns}	-0,44*	0,58*	-0,16 ^{ns}	0,73*	0,28 ^{ns}
Calcário 3,0 t ha ⁻¹ (T3)										
Milho 2005/2006	0,19 ^{ns}	0,43*	0,26 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,59*	0,31 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,32 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,36 ^{ns}
Soja 2006/2007	0,24 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	-0,52*	0,16 ^{ns}	0,19 ^{ns}	-0,46*	0,43*	-0,20 ^{ns}
Milho 2007/2008	-0,45*	-0,41 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,64*	0,53*	0,30 ^{ns}	0,47*	-0,29 ^{ns}

* Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} Correlação não significativa ao nível de 5% de probabilidade

Para o tratamento controle (sem calcário) as concentrações de N e de K só se correlacionaram com os dados de produtividade da soja (2006/2007), respectivamente, de forma negativa e positiva. As

concentrações de Ca correlacionaram positiva e negativamente com os dados de produtividade de milho (2005/2006) e da soja (2006/2007). As concentrações de Cu e Mn só se correlacionaram positivamente com os dados de produtividade do milho (2007/2008). Para os dados de produtividade de soja (2006/2007) e de milho (2007/2008) as correlações significativas foram para o S e o Zn, em ambos os casos de maneira negativa para a soja e positiva para o milho.

Para a dose de $1,0 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário houve correlação positiva para o P e o Cu em relação aos dados de produtividade de milho (2005/2006) e soja (2006/2007), respectivamente. Houve também correlação negativa para Ca e Fe ambas em relação aos dados de produtividade da soja (2006/2007).

Na dose de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$ as correlações de P e de Fe foram positivas em relação aos dados de produtividade do milho (2005/2006). As concentrações de N e Zn se correlacionaram de forma negativa enquanto que as concentrações de P e K se correlacionaram positivamente com os dados de produtividade da soja (2006/2007). As concentrações de N, Ca e S se correlacionaram negativamente enquanto as concentrações de K, Cu e Mn se correlacionaram de forma positiva aos dados de produtividade do milho (2007/2008).

Para a dose de $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ as correlações entre as concentrações de P e Mg foram positivas para com os dados de produtividade do milho (2005/2006), mas negativas para o Mg com os dados de produtividade da soja (2006/2007) assim como para as concentrações de Fe com esses mesmos dados. Porém, foram positivas as correlações de Mn com os dados de produtividade da soja (2006/2007). No caso do milho (2007/2008) as correlações foram negativas entre as concentrações de N e S e positivas para Cu e Mn com os dados de produtividade dessa cultura.

Considerando apenas os macronutrientes primários pode-se observar que em todos os casos onde a correlação foi significativa entre as concentrações desses elementos e os dados de produtividade das culturas, as mesmas foram sempre positivas para o P e o K e negativas para o N. Considerando agora somente os micronutrientes pode-se perceber que em todos os casos também, onde as correlações foram significativas, elas sempre foram positivas entre as concentrações desses nutrientes com os dados de produtividade. Para os demais nutrientes as correlações significativas alternaram em positivas e negativas em relação aos dados de produtividade de grãos.

O que se observou nos resultados da análise foliar para culturas, nestes anos safra avaliados, foi no geral uma situação crítica para o N, P, Cu e Mn. Para o Mn em muitos casos, a diminuição das concentrações foi em resposta ao aumento das doses de calcário aplicado. No caso do K não se observou concentrações abaixo da faixa adequada segundo Oliveira (2004). Esses resultados podem indicar que nos

futuros experimentos nesta mesma área seria interessante trabalhar a interação e/ou doses de P e Mn, exemplo, com os tratamentos doses de calcário aplicado em superfície.

3.4 Considerações Finais

O calcário se mostrou eficiente fonte de Mg para a nutrição mineral do milho e da soja e restringiu a absorção de Mn por essas culturas. No caso desse nutriente a aplicação de calcário em superfície deve ser criteriosa no sentido de se evitar uma deficiência nutricional ou toxidez de Mn às plantas nos diferentes grupos de NC.

A absorção de N e P pelo milho (2005/06) foi prejudicada pelo período de estiagem prolongado ocorrido durante o florescimento da cultura. As concentrações de P e Cu ficaram abaixo das consideradas adequadas para a soja (2006/07).

A dose de calcário adequada a uma NC menor promoveu a melhor nutrição das plantas de milho (2007/08) em Mn e Zn. Nos grupos com NC maiores que 1,5 t ha⁻¹ houve aumento nas concentrações de N no milho (2007/08) com as doses de calcário.

Considerando apenas os macronutrientes primários as correlações significativas entre as concentrações desses elementos e os dados de produtividade das culturas foram sempre positivas para o P e o K e negativas para o N. Considerando somente os micronutrientes todos os casos onde as correlações foram significativas, elas sempre foram positivas entre as concentrações desses nutrientes com os dados de produtividade.

Referências

ADAMS, F. **Soil acidity and liming**. 2th ed. Madison: American Society of Agronomy, 1984. 380 p.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 15, p.873-928.

BERNDTSSON, R.; BAHRI, A. Field variability of element concentrations in wheat and soil. **Soil Science**, Madison, v. 159, n. 5, p. 311-320, 1995.

BLACK, C.A. **Soil fertility evaluation and control**. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. 741 p.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F. Absorção de nutrientes pela soja cultivada no sistema de plantio direto em função da calagem na superfície. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 213-220, 2000.

CAIRES, E.F.; KUSMAN, M.T.; BARTH, G.; GARBUJO, F.J.; PADILHA, J.M. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 125-136, 2004.

CAMELO, L.G.L.; SIERRA, J.; FUMAGALLI, C.; MIGUEZ, S.R. Variabilidade espacial de fosforo en suelo y planta en um Argiudol Típico bajo cultivo de maiz. **Revista de la Facultad de Agronomia**, Maracaibo, v. 14, p. 1-18, 1993.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 2006. 306 p.

FRAZEN, D.W.; PECK, T.R. Sampling for side-specific application. In: ROBERT, P.C. (Ed.) **Site-specific management for agricultural systems**. Madison: ASA; CSSA; SSSA, 1995a. p. 535-551.

_____. Spatial variability of plant analysis calcium and magnesium levels before and after liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 26, p. 2253-2277, 1995b.

KAMPRATH, E.J. Exchangeable Al as a criteria for liming leached mineral soils. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, v. 34, p. 252-254, 1970.

LATHWELL, D.J.; PEECH, M. **Interpretation of chemical tests**. Ithaca: Cornell University, 1964. 39 p.

LIMA, D.V.; KLIEMANN, H.J.; MORAES, M.F.; LEANDRO, W.M. Relações entre doses de calcário e manganês na nutrição mineral da soja na região de Rio Verde (GO). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 2, p. 65-73, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

McLEAN, E.O.; BROWN, J.R. Crop response to lime in the midwestern United States. In: ADAMS, F. (Ed.). **Soil acidity and liming**. 2th ed. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 267-303.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

_____. Variabilidade de nutrientes em plantas de milho cultivado em talhão manejado homogeneamente. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 817-825, 2008

OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 65-70, 1997.

OLIVEIRA, S.A. Análise foliar. In: SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004. cap. 10, p. 245-256.

PIERCE, F.J.; WARNCKE, D.D. Soil and crop response to variable-rate liming for two Michigan fields. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 774-780, Mar. 2000.

QUAGGIO, J.A. **Crítérios para calagem em solos do Estado de São Paulo**. 1983. 76 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.

_____. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111 p.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 16, p. 245-260, 1985.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1996. 300 p.

SÁ, J.C. Manejo da fertilidade do solo no sistema de plantio direto. In: SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; FAQUIM, V.; FURTINI NETO, A.E.; CARVALHO, J.G. (Ed.). **Interrelações fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Universidade Federal de Lavras, 1999. p. 267-319.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004. 416 p.

WEISZ, R.; HEINIGER, R.; WHITE, J.G.; KNOX, B.; REED, L. Long-term variable rate lime and phosphorus application for Piedmont no-till field crops. **Precision Agriculture**, Heidelberg, v. 4, p. 311-330, 2003.

4 ANÁLISE ESPACIAL DOS MAPAS DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS APÓS CALAGEM EM FAIXAS DE APLICAÇÃO SOB PLANTIO DIRETO NO CERRADO

Resumo

O Objetivo do trabalho é comparar as médias de produtividade de grãos entre os tratamentos nas faixas de aplicação de calagem pelo método da saturação por bases e comparar os mapas de produtividade de grãos para as culturas de milho e soja em rotação sob sistema de plantio direto no Cerrado nas áreas com doses de calcário em faixas considerando os níveis de recomendação de calagem. O experimento foi conduzido na Fazenda Alto Alegre localizada no município de Planaltina-GO em uma área de produção comercial de grãos com 373 ha. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso representando cada um uma área de 16 ha do campo. Cada área foi composta de quatro faixas paralelas com 25 m de largura onde foram aplicados os tratamentos: 0 (controle), 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário distribuídos de forma casualizada dentro de cada bloco. As aplicações de calcário foram feitas em dose única na superfície no mês de setembro de 2005 nas faixas. As colheitas do milho (safra 2005/2006), da soja (safra 2006/2007) e do milho (safra 2007/2008) nas faixas de aplicação de calcário foram realizadas, respectivamente, em julho de 2006, abril de 2007 e junho de 2008. Os dados brutos de produtividade após passarem por uma filtragem foram interpolados pelo método da krigagem a partir de um modelo que mais se ajustou ao semivariograma. Não houve diferenças visuais nas produtividades do milho (2005/2006) entre os tratamentos aplicados nas faixas.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Mapas de produtividade; Krigagem; Calagem; Plantio direto; Cerrado

Abstract

The objective of this work was to compare the grain productivity of lime treatments in strips by the base saturation method and compare the grain productivity maps for corn and soy bean crops in rotation under no-till system in Cerrado in areas with lime rates in strips considering the lime recommendation rates. The experiment was carried out in Alto Alegre Farm, Planaltina, GO, Brazil in a commercial grain production area with 373 ha. The experimental design was randomized block, representing each one an area with 16 ha of the field. Each area was composed by four 25 m wide parallel strips, where the treatments were applied: 0 (control), 1, 2 and 3 t ha⁻¹ of lime distributed randomly within each block. The lime was applied in one single application on surface in September 2005 in strips. Corn (2005/2006), soy bean (2006/2007) and corn (2007/2008) were grown. The soil sampling for fertility analysis was done after first corn crop at 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm depth for each treatment applied in the strips and. The gross productivity data after filtration were interpolated by krigagem method from a model which most adjusted to semivariogram. There was no visual differences in corn productivity (2005/06) among the treatments.

Keywords: Precision agriculture; Yield maps; Krigagem; Liming; No tillage; Savannah

4.1 Introdução

De acordo com Cambardella e Karlen (1999) a agricultura de precisão contém três componentes primários: o sistema de posicionamento global (GPS) que fornece a posição onde o equipamento está localizado, mecanismos para controle de aplicação de nutrientes, defensivos agrícolas, água ou outros insumos em tempo real, e um banco de dados que fornece a informação necessária para desenvolver as relações causa efeito e as respostas à aplicação de insumos a várias condições especificamente localizadas (MENEGATTI; MOLIN, 2003).

O mapeamento da produtividade é considerado, por muitos pesquisadores, como sendo uma parte essencial da agricultura de precisão (MAKEPEACE, 1996). Molin (2000) reforça que essa informação é o ponto de partida tido por usuários e pesquisadores para se visualizar a variabilidade espacial das lavouras, por materializar a resposta da cultura. Um mapa de produtividade evidencia regiões com alta e baixa produtividade, mas não explica a causa de tal variação, que pode ser por doenças, baixo pH, estresse hídrico e outras; se a causa específica não é determinada, nenhuma resposta ao gerenciamento pode ser obtida (LARK; STAFFORD, 1997).

A coleta automática de dados permite que uma grande quantidade de dados seja obtida com custo relativamente baixo. Os mapas de produtividade são elaborados a partir de dados coletados automaticamente e existe um considerável número de erros sistemáticos introduzidos, sendo que apenas alguns desses erros são eliminados por determinados programas computacionais (MOORE, 1998). Os dados brutos devem ser cuidadosamente analisados antes da elaboração de um mapa de produtividade (MISSOTTEN; STRUBBE; BAERDEMAEKER, 1996).

Em agricultura de precisão, alguns dos métodos mais utilizados para interpolação de dados são os métodos do inverso da distância, vizinho mais próximo e krigagem. A krigagem é um dos mais flexíveis e complexos métodos de interpolação e extrapolação de valores para quase todos os tipos de dados. É um método de interpolação mais refinado, que leva em consideração um modelo de dependência espacial para estimar dados em pontos não amostrados e sua utilização requer o tratamento preliminar dos dados através da geração de um modelo de variabilidade espacial, denominado semivariograma que é utilizado para explorar a dependência espacial (ISAACS, 1989).

A construção do semivariograma foi discutida por Isaaks e Srivastava (1989), sendo que quatro parâmetros básicos podem ser estabelecidos. O alcance (*range*) é a distância em que a variância da amostragem se torna aleatória, a partir da qual não há mais dependência espacial. Patamar (*sill*) é a semivariância atingida pelas amostras no platô, e pode ser equivalente à variância das amostras. Efeito pepita (*nugget*) é a porção da variância aleatória e não explicada pela amostragem. O quarto parâmetro é o modelo de equação que foi ajustado aos dados no semivariograma. Esses parâmetros podem ser inseridos em um processo de interpolação por krigagem para a produção de superfícies contínuas de produtividade. A validação cruzada é uma técnica que permite a comparação de valores estimados pelo interpolador, baseado no modelo ajustado aos dados na análise de dependência espacial com valores reais. Os resultados da validação cruzada podem ser avaliados com ferramentas da estatística como, por exemplo, a análise de correlação linear como índice qualitativo (MENEGATTI; MOLIN, 2004).

A medição da produtividade é um processo automático, a partir de sensores instalados em colhedoras, capazes de definir com relativa acurácia a quantidade de produto que está sendo colhida e a área onde foi produzida. Um receptor de GPS fornece o posicionamento georreferenciando da produção para possibilitar seu mapeamento. Por ser automático, o processo permite que grande quantidade de dados seja coletada e como consequência, erros são introduzidos (MENEGATTI; MOLIN, 2004).

É necessário obter-se um mapa de produtividade que represente com exatidão as reais produtividades de grãos do talhão para se ter um retorno do investimento feito nesta nova tecnologia e melhorar as decisões agrônômicas de manejo das culturas (SIMBAHAN; DOBERMANN; PING, 2004).

Os dados de produtividade de grãos obtidos por colhedoras equipadas com sistema de posicionamento global (GPS), sensores de fluxo de grãos e monitores de produtividade, são afetados por várias fontes, sistemáticas e aleatórias, de variação na produtividade medida (STAFFORD et al., 1996; DOERGE, 2002; ASLAN; COLVIN, 2002), incluindo: 1) Variação na produtividade devido as características da relação solo-paisagem; 2) Variação na produção induzida pelo manejo; 3) Erros de medição durante a obtenção dos dados. Nas variações devido a relação solo-paisagem as mudanças na produtividade são mais graduais. Os erros de medição da produtividade estão relacionados aos sensores de fluxo de grãos e outros que equipam a colhedora (umidade, velocidade e altura da plataforma), aos problemas de georeferenciamento, aos erros do operador e do processamento dos dados (SHEARER et al., 1997; BLACKMORE; MOORE, 1999; ASLAN; COLVIN, 2002). Para a maioria das posições dentro de um talhão, ambas as fontes de erro 2) e 3) representam variações aleatórias em curta distância que diferem de ano para ano (SIMBAHAN; DOBERMANN; PING, 2004).

Várias técnicas de filtragem dos dados de produtividade têm sido propostas. As aplicações dessas técnicas tem geralmente mostrado que a filtragem dos dados de produtividade melhora a distribuição de frequência, a estrutura espacial e a correlação dos mapas de produtividade com as imagens obtidas por sensoriamento remoto (THYLEN; ALGERBO; GIEBEL, 2001; KLEINJAN et al., 2002; NOACK; MUHR; DEMMEL, 2003) (SIMBAHAN; DOBERMANN; PING, 2004).

A variação da produção agrícola é potencialmente influenciada por alguns fatores atuando simultaneamente. Nem todos são relatados como variações dependentes das condições de campo ou manejo da cultura. Prejuízo com pragas, por exemplo, pode ser uma característica regular em certas partes do campo pela proximidade com uma margem florestada (TAYLOR et al., 2003).

Dos fatores que podem influenciar a produção das culturas em uma dada localização, desenvolvido por Earl et al. (1996), pode-se citar entre aqueles de baixo controle, a textura do solo, a topografia e o clima da região; e aqueles nos quais um certo controle pode ser exercido que são a estrutura do solo, disponibilidade de água, os níveis de macro e micronutrientes, pH do solo, pragas, doenças e competição das culturas com plantas invasoras. Esses fatores podem ser manipulados de uma maneira espacialmente variável conduzindo a benefícios econômicos, pelo aumento na produção, ou economia nos custos dos insumos, sem efeitos prejudiciais sobre a produção das culturas (GODWIN et al., 2003). A produtividade das culturas de importância agrônômica varia em resposta ao pH do solo, respondendo a aplicação de calcário somente de os níveis de pH limitam a performance dessas culturas (BLACK, 1993).

As hipóteses do trabalho são: 1) Há diferenças nas médias de produtividade entre os tratamentos nas faixas de aplicação para cada um dos níveis de recomendação de calagem considerados; 2) Há diferenças visuais nos mapas de produtividade de grãos para as culturas de milho e soja entre as doses de calcário e o tratamento controle aplicados nas faixas de aplicação ao longo de toda área experimental; 3) Há diferenças visuais nos mapas de produtividade de grãos para as culturas de milho e soja entre as doses de calcário e o tratamento controle aplicados nas faixas para cada um dos níveis recomendação de calagem.

O Objetivo do trabalho é comparar as médias de produtividade de grãos entre os tratamentos nas faixas de aplicação de calagem pelo método da saturação por bases e comparar os mapas de produtividade de grãos para as culturas de milho e soja em rotação sob sistema de plantio direto no Cerrado nas áreas com doses de calcário em faixas considerando os níveis de recomendação de calagem.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Local de condução do experimento

O estudo foi conduzido nas safras de 2005/2006 a 2007/2008, em lavoura de sequeiro, na Fazenda Alto Alegre, localizada no município de Planaltina-GO (15°22'S e 47°27'O, altitude média de 1050 m). A região apresenta clima tropical com duas estações bem definidas: seca e chuvosa. A precipitação média anual varia entre 1.300 mm a 1.750 mm. A duração do período seco é de quatro a cinco meses, sendo a temperatura média anual de 20°C.

A área experimental que estava sob vegetação natural de Cerrado foi desmatada de 1987 a 1989 para o cultivo da soja até 1994, e representa um talhão de 373 ha. Após 1994, a área foi cultivada com a sucessão milho-soja em sistema de plantio direto no período chuvoso. No período seco, a área apresenta ocorrência expressiva de *Brachiaria* spp., *Panicum* spp. e outras gramíneas, as quais servem ao pastejo bovino no período da entressafra. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (EMBRAPA, 2006).

A última aplicação de calcário foi realizada no ano safra de 2000/2001 com 800 kg ha⁻¹ de maneira uniforme. Seguindo a recomendação de calagem pelo método da saturação por bases da aplicação quando o índice de saturação por bases for menor que 35% para lavoura de sequeiro planejou-se a reaplicação de calcário no ano de 2005/2006.

4.2.2 Delineamento experimental

Foi considerado no planejamento deste experimento a variabilidade espacial dos atributos de fertilidade diretamente ligados a acidez do solo, como pH, os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis, e H+Al (MONTEZANO; CORAZZA; MURAOKA, 2006). A variabilidade espacial do teor de argila avaliada por esses autores foi também considerada. Portanto, a espacialização dos resultados desses atributos mais o do parâmetro calculado de saturação por bases (ANEXO B) produziram o mapa da necessidade de calagem (ANEXO B) segundo o critério de recomendação de calcário proposto por Sousa e Lobato (2004) para atingir a saturação por bases desejada de 50%.

O delineamento experimental em blocos ao acaso em faixas foi composto por três áreas (blocos) de 16 ha cada um em três posições transversais a uma área de produção de 373 ha. Cada uma daquelas áreas

foram subdivididas em 4 faixas paralelas com 25 m de largura onde foram aplicados os tratamentos: 0 (controle), 1, 2 e 3 t ha⁻¹ de calcário distribuídos de forma casualizada dentro de cada bloco (Figura 4.1).

As aplicações de calcário dolomítico em superfície tanto nas faixas de aplicação foram feitas no mês de setembro de 2005 por uma distribuidora de calcário da marca Nevoeiro[®], com regulagem para aplicar uma dose de 1,0 t ha⁻¹. Na aplicação das doses 2,0 e 3,0 t ha⁻¹ repetiu-se a aplicação na mesma passada 2 e 3 vezes, respectivamente. O calcário dolomítico aplicado apresentou teores de CaO de 29,2% e de MgO de 20,8%, com um PN de 102% e PRNT de 90,54%. As quantidades das frações retidas na peneira de 2 mm (10 mesh) foi 0,0%, na 0,84 mm (20 mesh) foi 2,8%, na 0,3 mm (50 mesh) foi 22,5% e 74,7% passou na peneira de 0,3 mm.

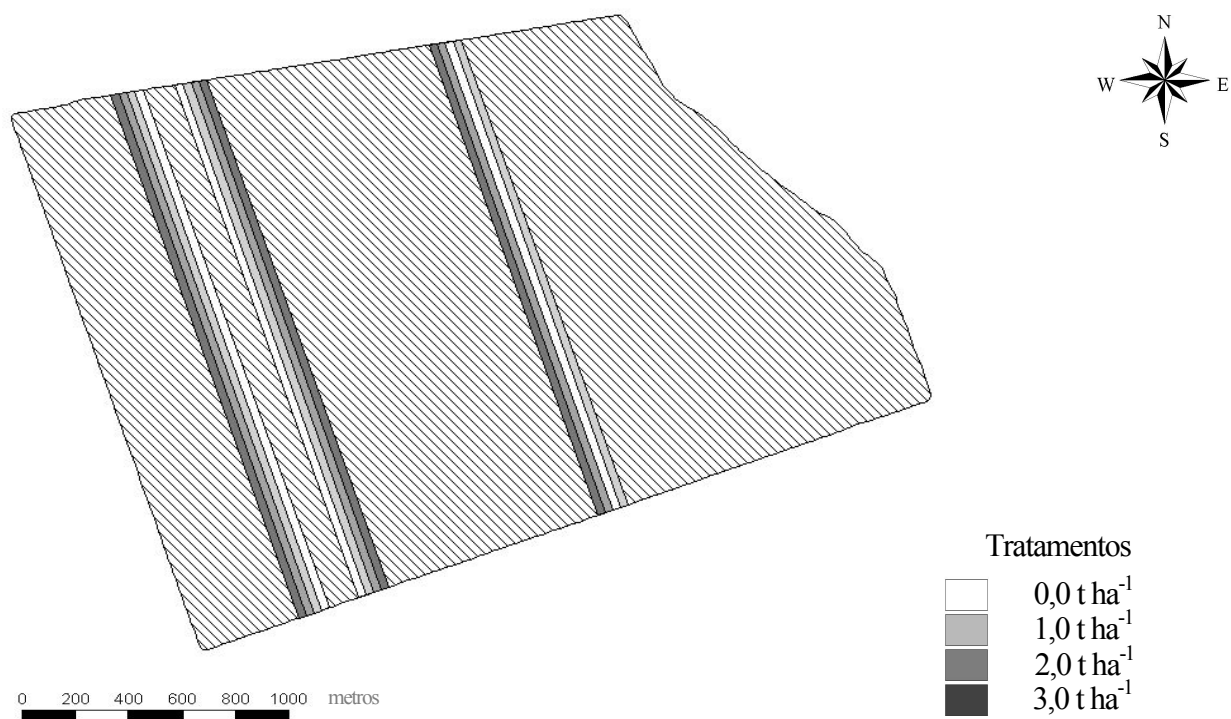


Figura 4.1 - Mapa do delineamento experimental de blocos ao acaso em faixas de aplicação de calcário

4.2.3 Obtenção dos dados de produtividade

As colheitas do milho (safra 2005/2006), da soja (safra 2006/2007) e do milho (safra 2007/2008) nas faixas de aplicação de calcário foram realizadas, respectivamente, em julho de 2006, abril de 2007 e junho de 2008. Os dados brutos de produtividade das faixas foram obtidos no momento da colheita, por meio de

colhedora New Holland TC 59 equipada com Sistema de Posicionamento Global (GPS), sensor de fluxo de grãos por placa de impacto, sensor de umidade de grãos, sensor de velocidade de deslocamento da colhedora e sensor de controle de altura da plataforma. Essas informações foram gerenciadas pelo monitor de rendimento de grãos AgLEADER PFAdvantage[®], que fez as leituras de produtividade, altitude e umidade de grãos a cada dois segundos, durante a colheita da cultura.

Os dados foram armazenados num cartão de memória inserido dentro do monitor de rendimento de grãos. Os arquivos com os dados no cartão de memória foram abertos num PC utilizando o software SMS Basic (AgLEADER). Dentro desse software os arquivos foram então convertidos para o formato texto e exportados. Cada linha do arquivo representa um ponto contendo os dados de posicionamento (latitude e longitude) e uma série de outras informações, sendo a produtividade corrigida pelo teor de umidade, uma delas. Esses arquivos no formato texto foram abertos no Excel (Microsoft) para posterior filtragem dos dados.

4.2.4 Filtragem dos dados de produtividade

A planilha contendo os dados de produtividade passou por um processo de filtragem obedecendo a critérios específicos. Esses critérios foram organizados em cinco passos de filtragem dos dados. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcView foi utilizado para a visualização dos dados brutos e filtrados de produtividade de grãos das culturas.

Primeiramente durante a obtenção dos dados de produtividade os arquivos foram separados por passadas (“Load”) na colheita das faixas com os tratamentos. O monitor registrou então os dados de produtividade para cada passada da colhedora nas faixas de calcário. Considerando a largura da plataforma de colheita de milho de 4,20 m e de soja de 6,48 m, tem-se que cada unidade experimental em faixa contou com seis e quatro arquivos (“Load”), respectivamente. Esses arquivos passaram individualmente pelos cinco passos de filtragem para os dados de produtividade do milho safra 2005/06 e soja safra 2006/07. Para os dados de milho safra 2007/08 esses arquivos foram agrupados num arquivo único referente a cada unidade experimental em faixa e depois passaram pelos passos de filtragem. Para as áreas de aplicação de calcário entre as faixas, todos os dados de produtividade foram registrados em um único arquivo (“Load”) para cada cultura em cada ano safra.

O primeiro passo da filtragem consistiu na conversão das coordenadas geográficas (latitude e longitude) para cada ponto coletado de produtividade em coordenadas métricas (UTM). Utilizou-se para isso o software GPS Trackmaker.

O segundo passo foi calcular a distancia entre pontos consecutivos coletados de produtividade utilizando a eq. (1).

$$DN = \sqrt{ID(N)^2 + ID(L)^2} \quad (1)$$

Onde:

DN é a distância entre pontos consecutivos coletados de produtividade

ID(N) é o índice de deslocamento na direção Norte-Sul

ID(L) é o índice de deslocamento na direção Leste-Oeste

Com base nas coordenadas métricas de cada ponto foram propostos os índices de deslocamento na direção norte-sul (ID(N)) e leste-oeste (ID(L)), que informam o sentido e direção e a distância de deslocamento da colhedora. Através das seguintes eq. (2) e eq. (3) pode-se calcular esses índices.

$$ID(N) = X(i) - X(i+1) \quad (2)$$

$$ID(L) = Y(j) - Y(j+1) \quad (3)$$

Onde:

X é a coordenada Norte da colhedora

i é o ponto na direção N-S e sentido considerado

Y é a coordenada Leste da colhedora

j é o ponto na direção L-O e sentido considerado

A Tabela 4.1 mostra a interpretação dos resultados para os índices de deslocamento.

Tabela 4.1 - Interpretação do índice de deslocamento da colhedora (ID)

	Valor	Direção	Sentido
ID(N)	Negativo	N-S	Sul-Norte
	Positivo	N-S	Norte-Sul
ID(L)	Positivo	L-O	Leste-Oeste
	Negativo	L-O	Oeste-Leste

Com base na distância entre pontos consecutivos (DN) foi possível identificar pontos coletados no mesmo lugar, com distância nula. Esses pontos foram então excluídos da planilha.

O terceiro passo consistiu em eliminar todos os pontos com DN menor que 1,0m.

No quarto passo foi realizada uma análise estatística exploratória dos dados, com o cálculo da média, mediana, quartil superior e inferior e variância. Utilizou-se para isso o software Statistica for Windows. Com base nos quartis superior e inferior foi calculado o limite superior e inferior para os valores de produtividade para determinação de limites para os dados discrepantes. As eq. (4) e eq. (5) mostram como foram calculados esses limites.

$$LS = QS + 1,5 \times AI \quad (4)$$

$$LI = QI - 1,5 \times AI \quad (5)$$

Onde:

LS é o limite superior

LI é o limite inferior

QS é o quartil superior

QI é o quartil inferior

AI é a amplitude interquartilica

Os valores de produtividade acima do LS e abaixo do LI foram excluídos da planilha.

Utilizando as funções lógicas do Microsoft Excel[®] pode-se no quinto passo de filtragem criar um algoritmo para análise e classificação do dado de produtividade de um ponto em relação a média dos dados de produtividade dos cinco pontos anteriores a este. O algoritmo trabalha os dados um a um, comparando-os à média dos cinco dados anteriores.

O critério imposto pelo algoritmo é saber se o valor do dado de produtividade do ponto em questão é 30% maior que a média dos cinco anteriores. Quando o valor de produtividade do ponto é 30% maior que a média aparece como resultado do algoritmo a expressão “APAGA”, ou seja, o ponto (linha) é descartado da planilha. Caso contrário, aparece como resultado do algoritmo a expressão “DEIXA”, ou seja, o ponto (linha) é mantido na planilha.

A função lógica utilizada “SE” é utilizada para compor o algoritmo abaixo da eq. (6).

$$SE(X > 1.3 \times MÉDIA; "APAGA"; "DEIXA") \quad (6)$$

Onde:

X é o valor do dado de produtividade avaliado

MÉDIA é a média dos dados de produtividade dos cinco pontos anteriores

Concluído os cinco passos de filtragem os arquivos com os dados filtrados na planilha Excel foram então convertidos para o formato DBF IV. Os arquivos neste formato foram abertos no SIG (ArcView) para visualização dos pontos contendo os dados de produtividade, e posteriormente convertidos para o formato shape (arquivo nativo do ArcView). Um arquivo shape com as linhas que representam as curvas de nível de toda área experimental foi sobreposto aos pontos. Foi criado um buffer com cinco metros de distância de cada lado das linhas que representam as curvas de nível e os pontos inseridos neste buffer foram excluídos do arquivo shape dos dados filtrados de produtividade de grãos.

4.2.5 Interpolação dos dados de produtividade

Os arquivos shape do ArcView sem os dados próximos a cinco metros das linhas representando as curvas de nível foram convertidos para o formato texto para serem abertos no software GeoR onde foi feita a análise geoestatística para os dados de produtividade dos grãos em cada tratamento para cada bloco separadamente. Através de linhas de comando foi possível, primeiramente retirar a tendência do conjunto dos dados e depois calcular o semivariograma unidirecional. Foi ajustado ao semivariograma os modelos esférico, exponencial e gaussiano escolhendo-se aquele com o maior coeficiente de determinação (r^2) e pela

análise de validação cruzada utilizando-se o software GS+. A interpolação por krigagem foi realizada pelo software GeoR e após foram confeccionados os mapas de isolinhas com o auxílio do software ArcView.

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Mapas de produtividade do milho safra 2005/06

Os parâmetros dos modelos geoestatísticos utilizados para se ajustar aos semivariograma dos dados de produtividade do milho na safra 2005/06 são apresentados na Tabela 4.2. Os dados de produtividade foram avaliados separadamente para cada tratamento em cada um dos três blocos. Para a grande maioria dos conjuntos de dados de produtividade do milho na safra 2005/06 para cada tratamento em cada um dos blocos, o modelo esférico foi que melhor se ajustou aos semivariogramas gerados. Somente em dois conjuntos de dados, tratamento 2,0 t ha⁻¹ de calcário no bloco II e tratamento 1,0 t ha⁻¹ no bloco III, os modelos que mais se ajustaram ao semivariograma foram, respectivamente, o gaussiano e o esférico.

Considerando a média dos valores do coeficiente de determinação do modelo em relação aos pontos do semivariograma para todos os conjuntos de dados os modelos que mais se ajustaram foram o esférico e o exponencial com coeficientes médios na ordem de 0,92 e 0,90, respectivamente. O valor médio dos coeficientes para o modelo gaussiano foi de 0,79.

Onde houve empate no valor do coeficiente de determinação entre dois modelos para um conjunto de dados os mesmos foram testados pela validação cruzada entre os dados de produtividade estimados pelo modelo e os dados reais gerados no momento da colheita. A validação cruzada é uma técnica que permite a comparação de valores estimados pelo interpolador, baseado no modelo ajustado aos dados na análise de dependência espacial, com valores reais. Os resultados da validação cruzada podem ser avaliados com ferramentas da estatística como, por exemplo, a análise de correlação linear, como índice qualitativo. (MENEGATTI; MOLIN, 2004). No caso das produtividades do milho safra 2005/06 somente houve empate no conjunto de dados do tratamento 0,0 t ha⁻¹ no bloco III e pela validação cruzada os dados estimados pelo modelo esférico se correlacionaram melhor com os dados reais.

Tabela 4.2 - Parâmetros geoestatísticos para os dados de produtividade do milho safra 2005/06 para as faixas com as doses de calcário

(continua)

Tratamento	Modelo	Nugget	Sill	Range	r ²
--- t ha ⁻¹ ---		----- t ha ⁻¹ -----			
Bloco I					
0,0	Esférico	0,629	1,032	310,929	0,97
	exponencial	0,574	1,049	122,008	0,96
	Gaussiano	0,680	1,033	151,827	0,81
1,0	Esférico	0,549	1,016	678,876	0,92
	exponencial	0,474	1,027	245,984	0,87
	Gaussiano	0,606	1,015	324,879	0,77
2,0	Esférico	0,486	0,838	661,856	0,76
	exponencial	0,407	0,838	209,326	0,69
	Gaussiano	0,531	0,838	316,471	0,58
3,0	Esférico	0,565	0,891	246,777	0,97
	exponencial	0,518	0,900	93,212	0,94
	Gaussiano	0,607	0,892	120,667	0,82
Bloco II					
0,0	Esférico	0,533	0,862	159,598	0,91
	exponencial	0,395	0,863	45,001	0,89
	Gaussiano	0,586	0,863	79,652	0,74
1,0	Esférico	0,560	0,847	95,350	0,98
	exponencial	0,508	0,852	33,078	0,94
	Gaussiano	0,596	0,847	45,891	0,82
2,0	Esférico	0,440	0,605	69,009	0,79
	exponencial	0,397	0,606	21,856	0,84
	Gaussiano	0,462	0,605	33,205	0,86
3,0	esférico	0,561	1,185	737,653	0,93
	exponencial	0,537	1,318	431,127	0,91
	gaussiano	0,643	1,198	374,660	0,70

Tabela 4.2 - Parâmetros geoestatísticos para os dados de produtividade do milho safra 2005/06 para as faixas com as doses de calcário

Tratamento --- t ha ⁻¹ ---	Modelo	Nugget	Sill	Range	(conclusão)
					r ²
Bloco III					
0,0	esférico	0,307	0,451	104,135	0,97
	exponencial	0,282	0,456	38,542	0,97
	gaussiano	0,327	0,451	50,468	0,86
1,0	esférico	0,441	0,605	143,216	0,91
	exponencial	0,407	0,613	52,320	0,96
	gaussiano	0,449	0,599	56,129	0,91
2,0	esférico	0,404	0,495	120,216	0,95
	exponencial	0,381	0,495	39,472	0,93
	gaussiano	0,417	0,495	58,895	0,83
3,0	esférico	0,391	0,487	106,930	0,94
	exponencial	0,360	0,487	30,865	0,92
	gaussiano	0,404	0,487	51,585	0,77

Os mapas com os dados filtrados de produtividade do milho na safra 2005/06 e dos dados interpolados pelo método da krigagem podem ser visualizados na Figura 4.2. O mapa dos dados filtrados é representado por pontos classificados dentro das faixas de produtividade especificadas na legenda do mapa. Pode-se observar que o método de interpolação foi eficiente em delimitar as manchas de produtividade referente a cada uma das faixas especificadas na legenda. A krigagem é um método de interpolação mais refinado, que leva em consideração um modelo de dependência espacial para estimar dados em pontos não amostrados (MENEGATTI; MOLIN, 2004).

Não houve diferenças visuais nas produtividades do milho entre os tratamentos aplicados nas faixas. As diferenças visuais marcantes são entre os blocos contendo as faixas com os tratamentos. As produtividades médias para os blocos I, II e III foram 5,11, 4,31 e 5,79 t ha⁻¹, respectivamente. As produtividades para este ano safra foram muito baixas em virtude de um período prolongado de estiagem durante a fase de florescimento das plantas. As produtividades médias entre os tratamentos para cada um dos blocos são apresentadas na Figura 4.3.

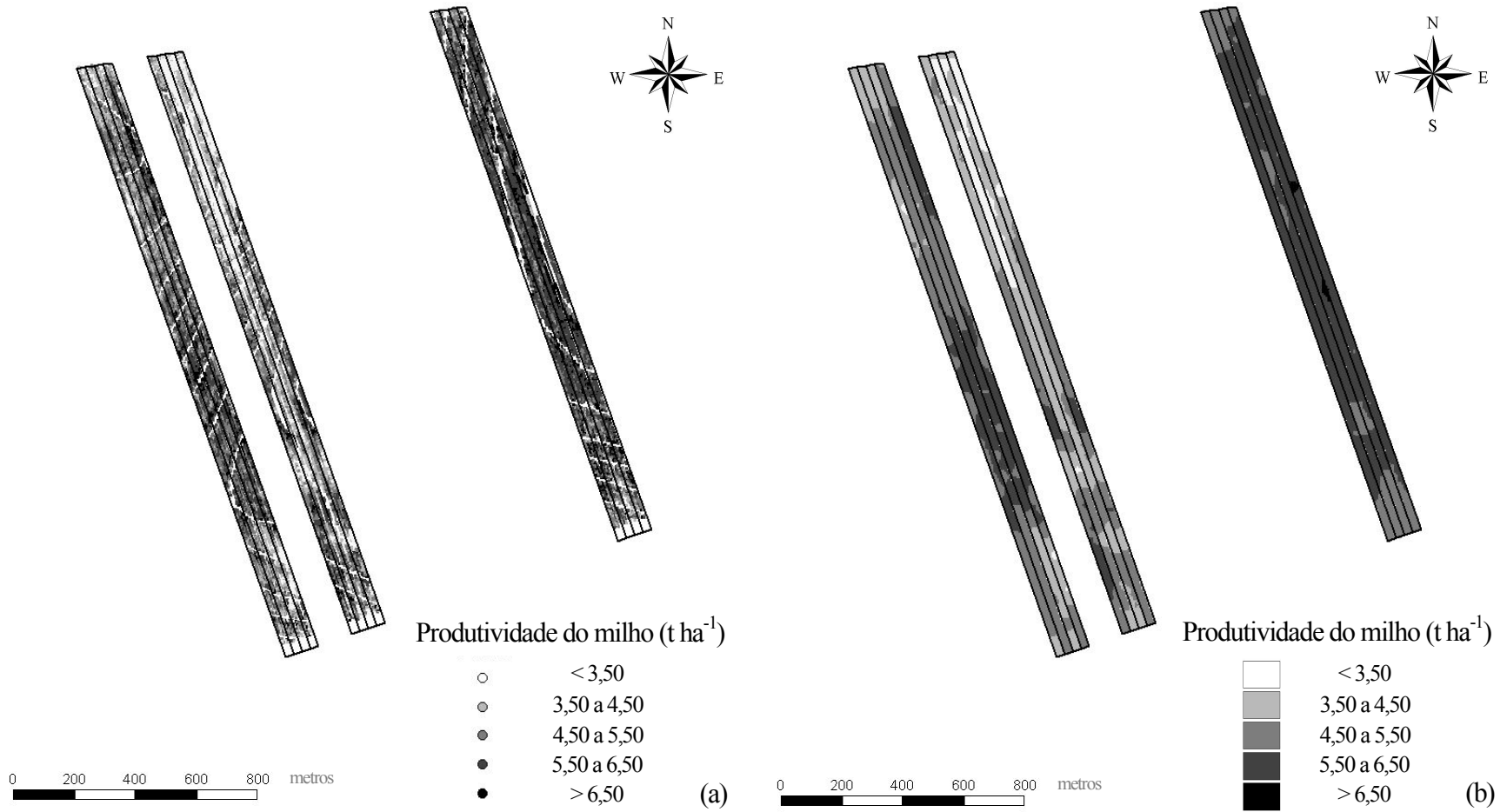


Figura 4.2 - Mapas dos dados de produtividade filtrados (a) e o mapa interpolado das produtividades (b) de milho na safra 2005/2006

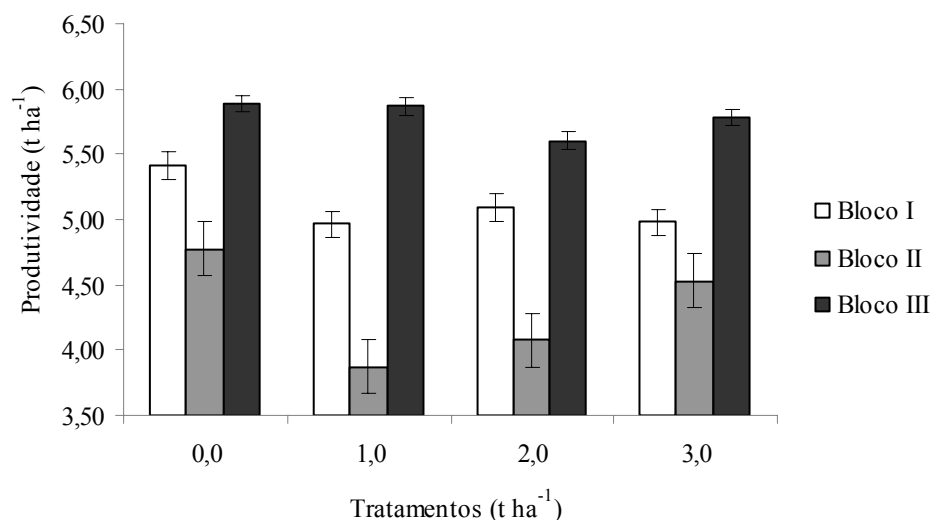


Figura 4.3 - Produtividade média do milho safra 2005/06 entre os tratamentos de calcário aplicados em faixa para cada bloco

4.3.2 Mapas de produtividade da soja safra 2006/07

Os parâmetros dos modelos geoestatísticos utilizados para se ajustar aos semivariogramas dos dados de produtividade da soja na safra 2006/07 são apresentados na Tabela 4.3. Para os conjuntos de dados de produtividade da soja para cada tratamento em cada um dos blocos, o modelo exponencial foi que melhor se ajustou aos semivariogramas gerados em 50% dos arquivos. Somente no conjunto de dado, tratamento 3,0 t ha⁻¹ de calcário no bloco III o modelo gaussiano foi o que mais se ajustou ao semivariograma. Diferentemente do que ocorreu para os dados de produtividade do milho safra 2005/06 onde houve a supremacia do modelo esférico. Isso demonstra que não é recomendável trabalhar com um só modelo e que não há um modelo fixo para qualquer conjunto de dados de produtividade em qualquer ano e para qualquer cultura.

Considerando a média dos valores do coeficiente de determinação do modelo em relação aos pontos do semivariograma para todos os conjuntos de dados os modelos que mais se ajustaram foram o esférico e o exponencial com coeficientes médios na ordem de 0,84 e 0,85, respectivamente. Esses coeficientes foram bem menores em relação aos obtidos com os dados de produtividade do milho na safra 2005/06. O valor médio dos coeficientes para o modelo gaussiano foi de 0,73.

Novamente houve empate entre os modelos esférico e exponencial no ajuste do semivariograma para o conjunto de dados de produtividade da soja do tratamento 0,0 t ha⁻¹ no bloco III. Houve empate entre os

modelos neste mesmo conjunto para as produtividades do milho safra 2005/06. Alguns resultados de análise geoestatística referentes ao ajuste de modelos ao semivariograma podem se repetir na mesma área ao longo do tempo, e para dados de produtividade de culturas diferentes. Pela validação cruzada os dados estimados pelo modelo esférico se correlacionaram melhor com os dados reais de produtividade da soja.

Os mapas com os dados filtrados de produtividade da soja na safra 2006/07 e dos dados interpolados pelo método da krigagem podem ser visualizados na Figura 4.4. Pode-se observar que mais uma vez que os modelos escolhidos para compor o método de interpolação promoveram a eficiente método em delimitar as manchas de produtividade referente a cada uma das faixas especificadas na legenda do mapa de dados filtrados.

Pode-se observar diferenças visuais nas produtividades do milho em resposta aos tratamentos aplicados nas faixas, principalmente para aquelas no bloco I e bloco III. Como ocorreu no mapa das produtividades de milho safra 2005/06 para as produtividades de soja o bloco II visualmente apresenta as piores produções. As produtividades médias para os blocos I, II e III foram 3,10, 2,77 e 3,36 t ha⁻¹, respectivamente. Essa constância temporal de resultados de baixa produtividade de grãos na área do bloco II pode indicar a presença de fatores limitantes provavelmente ligados ao solo, e que por isso deveria ter um manejo diferenciado em relação aos outros 2 blocos. As produtividades médias entre os tratamentos para cada um dos blocos são apresentadas na Figura 4.5.

Tabela 4.3 - Parâmetros geoestatísticos para os dados de produtividade da soja safra 2006/2007 para as faixas com as doses de calcário

(continua)

Tratamento	Modelo	Nugget	Sill	Range	r ²
--- t ha ⁻¹ ---		----- t ha ⁻¹ -----			
Bloco I					
0,0	esférico	0,081	0,116	595,120	0,96
	exponencial	0,080	0,125	367,912	0,95
	gaussiano	0,086	0,117	293,933	0,74
1,0	esférico	0,095	0,126	509,802	0,95
	exponencial	0,094	0,132	283,732	0,94
	gaussiano	0,099	0,127	257,551	0,72
2,0	esférico	0,069	0,082	187,882	0,65
	exponencial	0,070	0,083	109,611	0,85
	gaussiano	0,072	0,082	96,323	0,49
3,0	esférico	0,112	0,127	200,005	0,77
	exponencial	0,106	0,127	51,255	0,78
	gaussiano	0,112	0,127	74,046	0,64
Bloco II					
0,0	esférico	0,062	0,093	50,590	0,95
	exponencial	0,055	0,094	17,660	0,98
	gaussiano	0,066	0,093	23,588	0,85
1,0	esférico	0,077	0,101	105,214	0,70
	exponencial	0,065	0,101	26,873	0,67
	gaussiano	0,081	0,101	51,907	0,61
2,0	esférico	0,077	0,087	400,001	0,64
	exponencial	0,073	0,087	92,731	0,53
	gaussiano	0,078	0,087	161,300	0,36
3,0	esférico	0,057	0,081	59,322	0,94
	exponencial	0,051	0,082	20,064	0,95
	gaussiano	0,060	0,081	27,409	0,87

Tabela 4.3 - Parâmetros geoestatísticos para os dados de produtividade da soja safra 2006/2007 para as faixas com as doses de calcário

					(conclusão)
Tratamento	Modelo	Nugget	Sill	Range	r ²
--- t ha ⁻¹ ---		----- t ha ⁻¹ -----			
Bloco III					
0,0	esférico	0,066	0,094	44,043	0,75
	exponencial	0,053	0,094	11,724	0,75
	gaussiano	0,071	0,094	22,153	0,73
1,0	esférico	0,058	0,089	61,541	0,98
	exponencial	0,053	0,091	24,113	0,98
	gaussiano	0,062	0,090	29,858	0,83
2,0	esférico	0,081	0,112	45,144	0,88
	exponencial	0,076	0,114	17,554	0,90
	gaussiano	0,086	0,113	21,887	0,98
3,0	esférico	0,071	0,112	34,423	0,87
	exponencial	0,061	0,113	11,587	0,89
	gaussiano	0,077	0,112	16,782	0,98

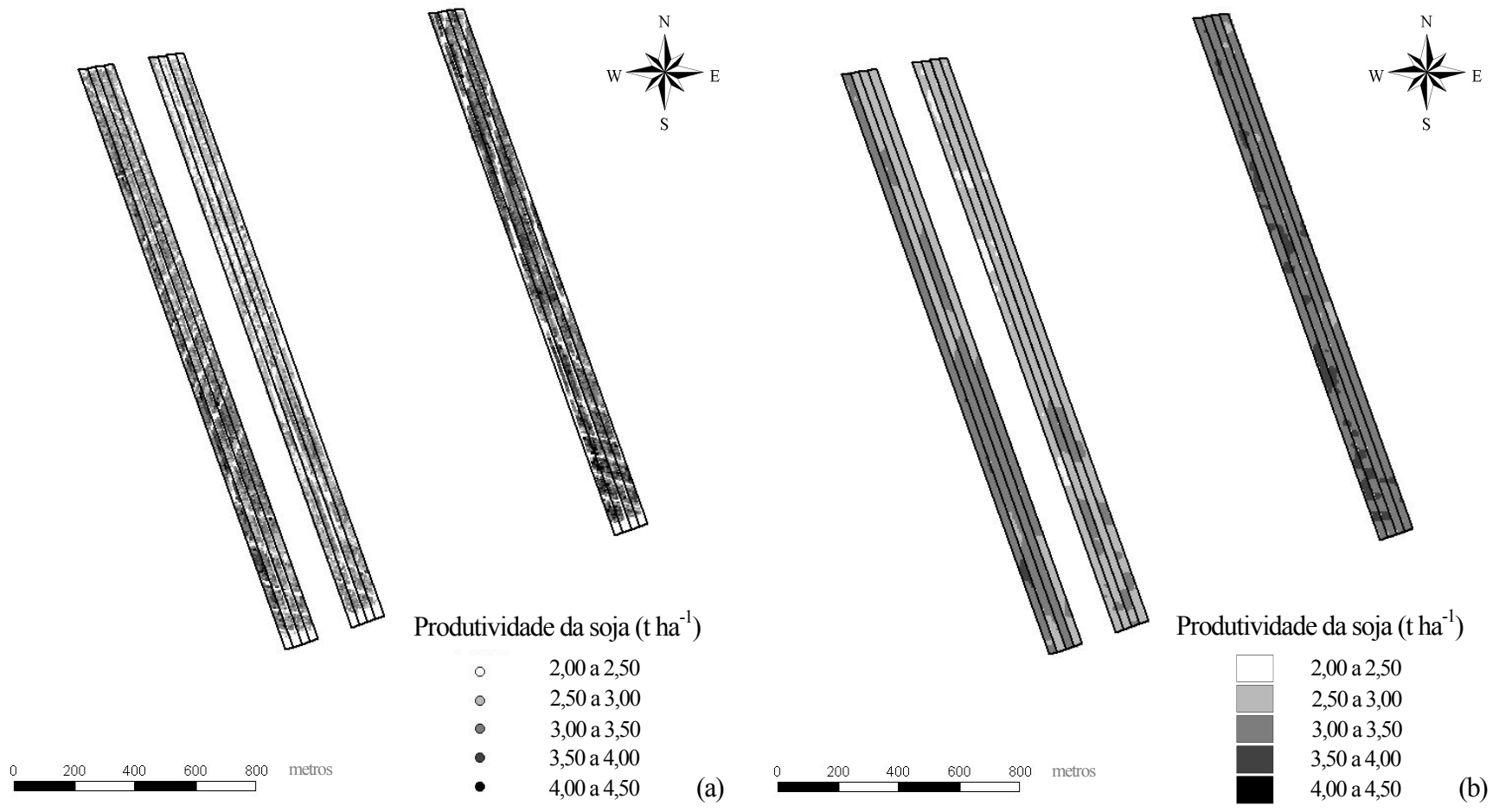


Figura 4.4 - Mapas dos dados de produtividade filtrados (a) e o mapa interpolado das produtividades (b) de soja na safra 2006/2007

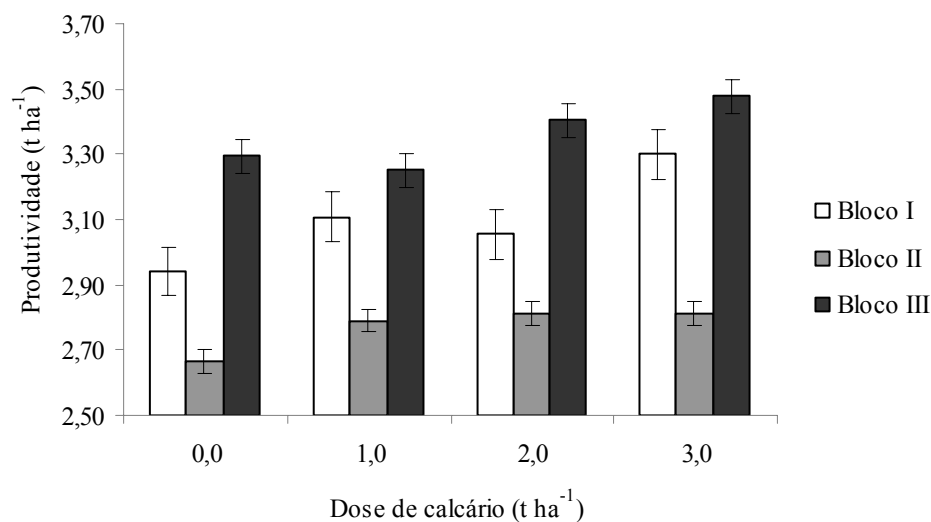


Figura 4.5 - Produtividade média da soja safra 2006/07 entre os tratamentos de calcário aplicados em faixa para cada bloco

4.3.3 Mapas de produtividade do milho safra 2007/08

Os parâmetros dos modelos geoestatísticos utilizados para se ajustar aos semivariograma dos dados de produtividade do milho na safra 2007/08 são apresentados na Tabela 4.4. Os modelos esférico e exponencial foram os que melhor se ajustaram aos semivariogramas, sendo que em 50% dos arquivos o melhor modelo de ajuste foi o esférico, e o modelo exponencial foi o melhor para os outros 50%. De posse desses resultados e dos obtidos para as produtividades de milho e soja dos anos safra anteriores, pode-se verificar a superioridade dos modelos acima citados sobre o modelo gaussiano.

Segundo os coeficientes de determinação do modelo em relação aos pontos do semivariograma tanto o esférico quanto o exponencial tiveram a mesma eficiência em modelar o semivariograma, com coeficientes médios entre todos os arquivos da ordem de 0,91 e 0,90, respectivamente. Para o modelo gaussiano o valor médio do coeficiente foi de 0,81. Comprovando mais uma vez a superioridade dos modelos esférico e exponencial sobre o modelo gaussiano para os semivariogramas gerados a partir dos dados de produtividade de grãos na área de aplicação dos tratamentos em faixas.

Houve empate entre os modelos esférico e exponencial no ajuste do semivariograma para o conjunto de dados de produtividade da soja do tratamento 1,0 e 3,0 t ha⁻¹ no bloco II. Pela validação cruzada os dados estimados pelo modelo exponencial se correlacionaram melhor com os dados reais de produtividade da soja

em relação ao modelo esférico no tratamento $1,0 \text{ t ha}^{-1}$. O que não ocorreu para o tratamento $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ no bloco II.

Os mapas com os dados filtrados de produtividade do milho na safra 2007/08 e dos dados interpolados pelo método da krigagem podem ser visualizados na Figura 4.6. Pode-se observar pelos dois mapas que as produtividades no bloco I foram superiores as produtividades dos outros dois blocos e que o bloco II, novamente tem as produtividades menores visualmente, mas que pode ser comprovado pelas produtividades médias de cada bloco. Portanto, as produtividades médias para os blocos I, II e III foram de $9,44$, $8,37$ e $8,64 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente. A região do talhão onde está inserido o bloco III sempre foi considerada como a região de maior produtividade de toda a área, o que pode ser comprovado pelas médias de produtividade para o milho (2005/06) e para a soja (2006/07) entre os blocos e também pelo mapa de produtividade do milho no ano safra de 2003/04 publicado por Montezano, Corazza e Muraoka (2006). Condições atmosféricas limitantes, como escassez de chuvas, podem variar de ano safra ao outro numa mesma área, como ocorreu para o ano safra 2005/06 prejudicando as produções de milho. Mas, também podem variar num talhão no mesmo ano safra, considerando que as produções comerciais de grãos normalmente se dá em áreas extensas como a deste estudo. Isso pode ser a razão das melhores produtividades no bloco I em relação ao demais e também a causa da falha de produtividade para o bloco II, a qual pode ser observada no mapa dos dados filtrado (Figura 4.6). Isso será discutido com mais detalhes no próximo item do capítulo. As produtividades médias entre os tratamentos para cada um dos blocos são apresentadas na Figura 4.7.

Tabela 4.4 - Parâmetros geoestatísticos para os dados de produtividade do milho safra 2007/2008 para as faixas com as doses de calcário

(continua)

Tratamento	Modelo	Nugget	Sill	Range	r ²
--- t ha ⁻¹ ---		----- t ha ⁻¹ -----			
Bloco I					
0,0	esférico	0,795	1,049	499,240	0,91
	exponencial	0,782	1,098	276,123	0,92
	gaussiano	0,827	1,052	247,053	0,67
1,0	esférico	0,801	0,930	77,414	0,98
	exponencial	0,784	0,940	32,996	0,97
	gaussiano	0,818	0,930	37,651	0,87
2,0	esférico	0,849	1,039	444,204	0,90
	exponencial	0,829	1,053	188,991	0,88
	gaussiano	0,872	1,039	214,594	0,73
3,0	esférico	0,651	0,863	20,348	0,91
	exponencial	0,605	0,874	7,823	0,95
	gaussiano	0,681	0,863	9,869	0,90
Bloco II					
0,0	esférico	0,693	1,235	433,564	0,96
	exponencial	0,658	1,309	217,789	0,92
	gaussiano	0,758	1,239	211,019	0,81
1,0	esférico	0,755	0,916	38,317	0,91
	exponencial	0,719	0,919	13,356	0,91
	gaussiano	0,778	0,916	18,612	0,87
2,0	esférico	0,770	0,934	77,805	0,94
	exponencial	0,749	0,955	36,402	0,95
	gaussiano	0,785	0,931	34,354	0,89
3,0	esférico	0,751	0,942	269,782	0,97
	exponencial	0,737	0,973	138,263	0,97
	gaussiano	0,776	0,944	134,127	0,84

Tabela 4.4 - Parâmetros geoestatísticos para os dados de produtividade do milho safra 2007/2008 para as faixas com as doses de calcário

					(conclusão)
Tratamento	Modelo	Nugget	Sill	Range	r ²
--- t ha ⁻¹ ---		----- t ha ⁻¹ -----			
Bloco III					
0,0	esférico	0,715	0,830	36,347	0,69
	exponencial	0,688	0,829	10,798	0,67
	gaussiano	0,731	0,831	17,714	0,68
1,0	esférico	0,779	0,931	122,667	0,89
	exponencial	0,740	0,931	37,603	0,88
	gaussiano	0,797	0,930	56,834	0,81
2,0	esférico	0,452	0,512	144,391	0,98
	exponencial	0,443	0,514	55,271	0,96
	gaussiano	0,460	0,512	70,200	0,82
3,0	esférico	0,606	0,697	28,532	0,87
	exponencial	0,574	0,697	8,236	0,86
	gaussiano	0,618	0,697	13,495	0,78

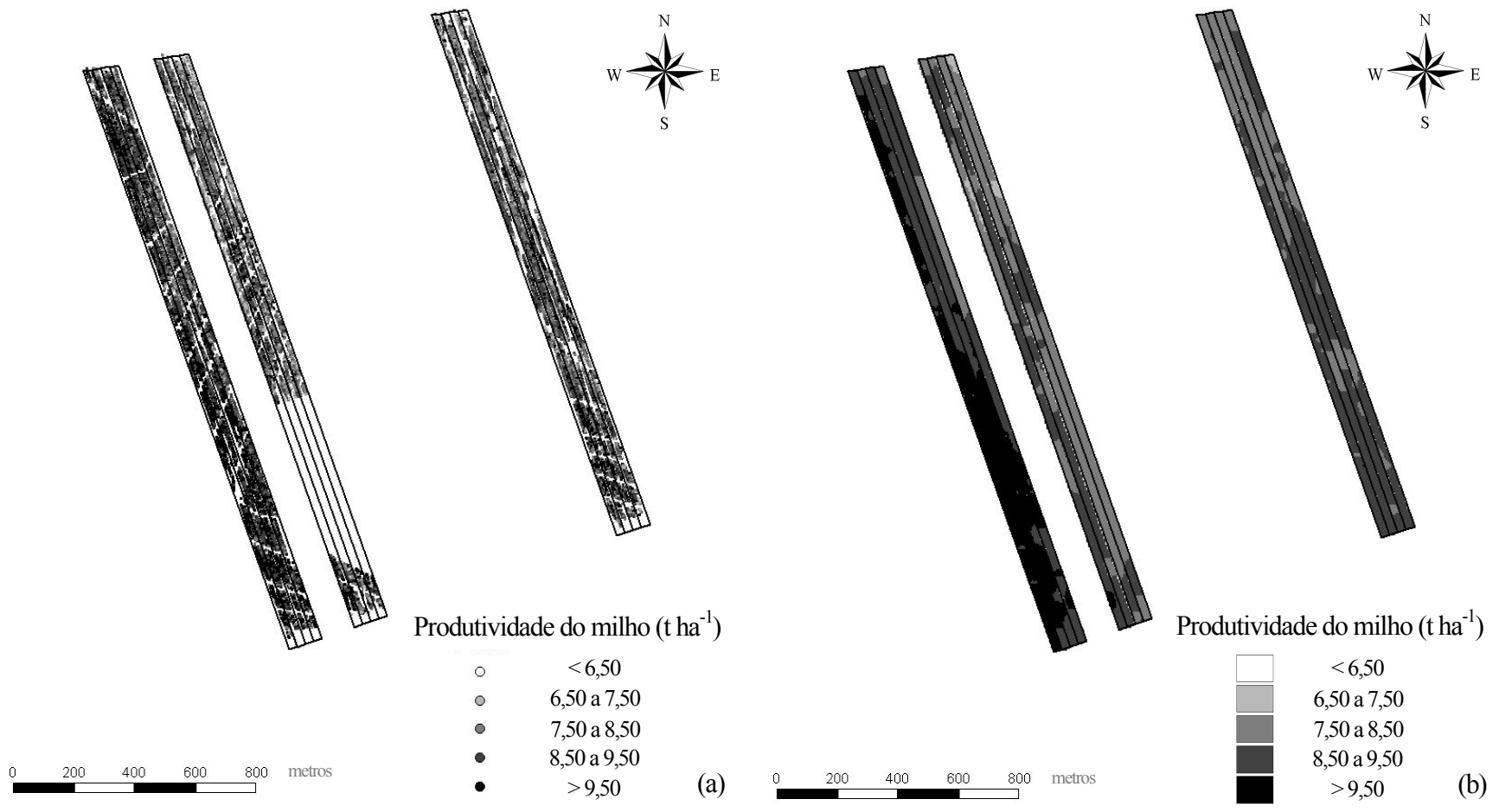


Figura 4.6 - Mapas dos dados de produtividade filtrados (a) e o mapa interpolado das produtividades (b) de milho na safra 2007/2008

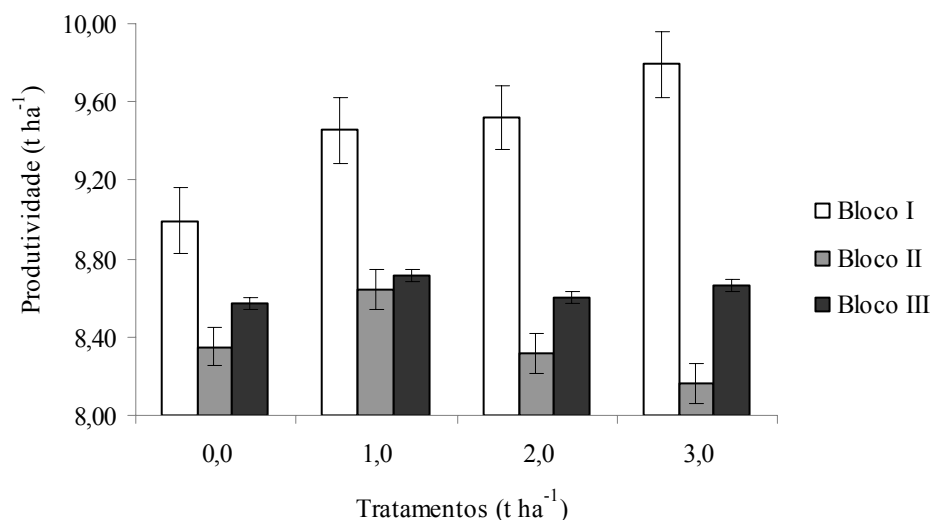


Figura 4.7 - Produtividade média do milho safra 2007/08 entre os tratamentos de calcário aplicados em faixa para cada bloco

Nicolodi, Anghinoni e Gianello avaliaram as relações entre os indicadores de acidez do solo e o rendimento de grãos em seis lavouras no sistema de plantio direto (SPD) representativas da região do planalto do Rio Grande do Sul. Esses autores concluíram que nenhum dos indicadores de acidez do solo (pH em água e CaCl_2 , índice SMP, teores de Ca, Mg, Al trocáveis, de MO, de P e K disponíveis), quando utilizados isoladamente, descreve de modo adequado o rendimento das plantas no solo cultivado no SPD consolidado.

É interessante avaliar a produtividade em resposta às doses de calcário para diferentes níveis de necessidade de calagem que pelo método de calcular utilizado no presente trabalho leva em conta a saturação que se pretende alcançar.

4.3.4 Análise visual dos mapas de produtividade

O mapa interpolado dos dados de produtividade do milho na safra 2005/06 para as faixas de calcário é apresentado na Figura 4.8. Como foi comentado no item 4.3.1 pode-se observar novamente nesta figura que não houve diferenças visuais nas produtividades do milho entre os tratamentos aplicados nas faixas. As alterações químicas nos atributos de fertilidade do solo após um ano da aplicação dos tratamentos se concentraram na camada de 0-5 cm de solo.

As produtividades do milho neste ano safra foram prejudicadas em virtude de período prolongado de estiagem que pode contribuir também para não resposta dos tratamentos. Alguns experimentos de campo

envolvendo resposta do solo, da planta e da produção com aplicação superficial de calcário sob sistema de plantio direto (SPD) relataram problemas parecidos. Com exemplo, Caires et al. (2006) estudaram os resultados de produção de trigo em resposta a aplicação de calcário na superfície de um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média sob SPD consolidado e constataram uma limitação a produção do trigo, provavelmente devido a um prolongado período de déficit hídrico ocorrido durante o desenvolvimento vegetativo da cultura.

Amado et al. (2007) avaliaram a variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja, milho e trigo, em uma lavoura comercial de 57 ha, não irrigada, manejada a mais de 10 anos sob SPD em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico. Esses autores observaram que nas culturas da soja e do milho, as maiores produtividades médias, nos três primeiros anos, podem ser justificadas pela adequada disponibilidade hídrica. Porém durante o ciclo da soja, safra 2003/2004, e do milho, safra 2004/2005, foram observados em fevereiro e março, valores de precipitação muito inferiores a média, fato que resultou na elevação do coeficiente de variação e reduções da produtividade média em, aproximadamente, 30 e 25%, respectivamente.

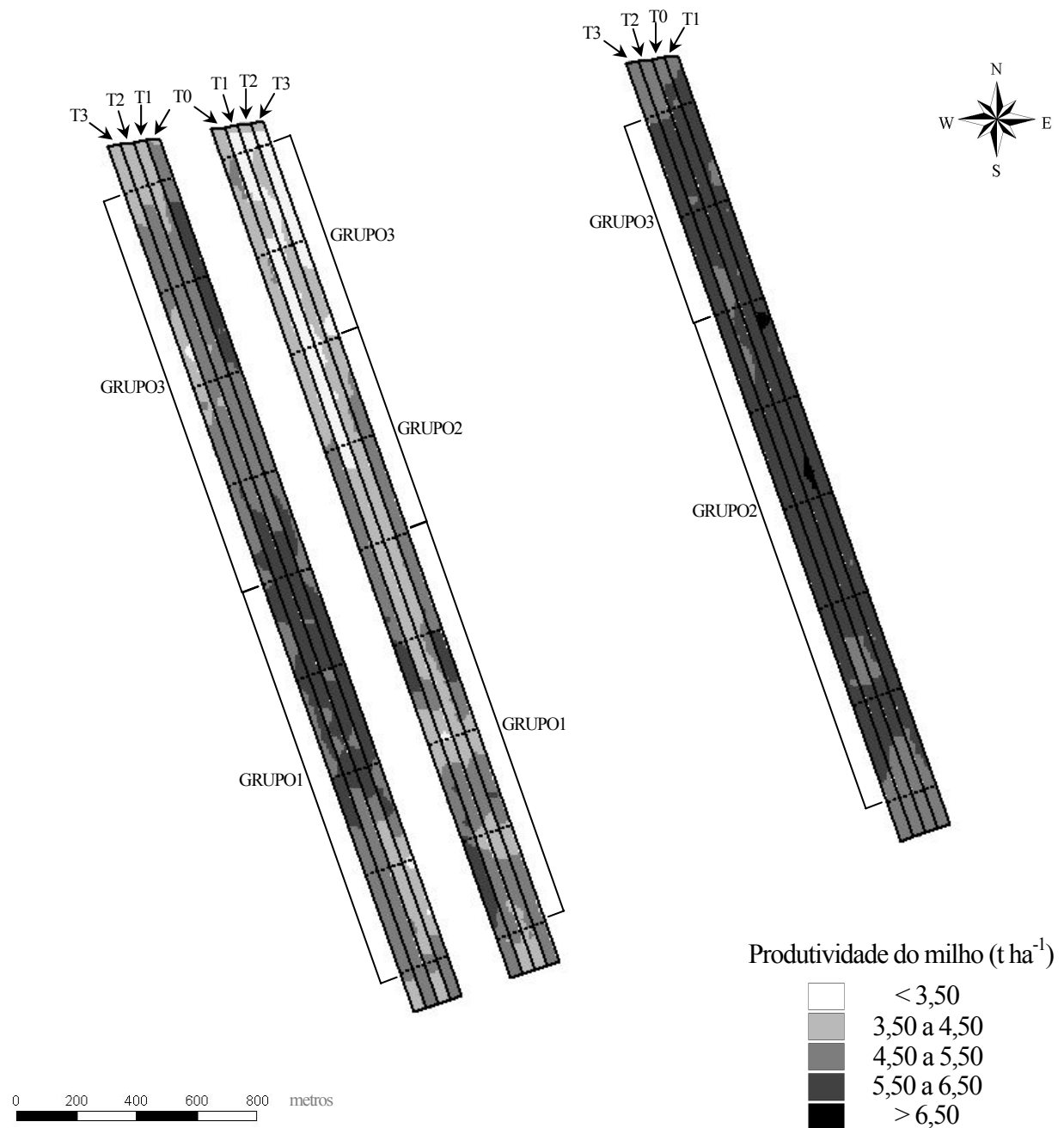


Figura 4.8 - Mapas dos dados de produtividade do milho na safra 2005/2006 interpolados com os tratamentos controle (T0 – sem calcário) e doses de calcário (T1 – $1,0\ t\ ha^{-1}$; T2 – $2,0\ t\ ha^{-1}$; T3 – $3,0\ t\ ha^{-1}$) nas faixas de aplicação ao longo dos grupos de necessidade de calagem (GRUPO1 – $NC < 1,5\ t\ ha^{-1}$; GRUPO2 – $1,5 < NC < 2,5\ t\ ha^{-1}$; GRUPO3 – $NC > 2,5\ t\ ha^{-1}$) calculada a partir dos resultados da análise de solo nas células de amostragem (linha pontilhada) antes da aplicação dos tratamentos

O mapa interpolado dos dados de produtividade da soja na safra 2006/07 para as faixas de calcário é apresentado na Figura 4.9. São discutidos a seguir os resultados da análise espacial das produtividades entre os tratamentos, separadamente para cada um dos três blocos de 16 ha e considerando grupos formados de acordo com a necessidade de calagem (NC) para cada célula. Essas células dentro de cada bloco foram agrupadas de acordo com a NC calculada pelo método de saturação por bases a partir dos resultados de análise de solo das amostras coletadas na malha de 200 x 200m em novembro de 2003 (ANEXO A). Os grupos formados foram os seguintes: $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$, $1,5 \leq NC \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ e $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Para o bloco I observa-se que nas células que correspondem a $NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$, visualmente não houve muita diferença entre os tratamentos, estando as produtividades concentradas na faixa de 3,0 a 3,5 t ha^{-1} de grãos. Na área com $NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário houve diferença visual nas produtividades sendo o tratamento T3 o que apresentou as maiores produções, estando elas contidas na faixa de 3,0 a 3,5 t ha^{-1} . O teor médio de argila para a área menos exigente em calcário ($NC < 1,5 \text{ t ha}^{-1}$) e para a mais exigente em calcário ($NC > 2,5 \text{ t ha}^{-1}$) é de 46,5 e 64,2 dag kg^{-1} , respectivamente. O poder tampão diferencial entre essas duas áreas, fez com que a faixa de produtividade para o T1 no primeiro caso fosse semelhante a do T3 no segundo caso.

Para o bloco II a faixa relativa ao tratamento T2 apresenta uma melhor uniformidade de produção, na faixa de 2,0 a 2,5 t ha^{-1} ao longo das áreas com NC maiores que 2,5 t ha^{-1} e entre 1,5 e 2,5 t ha^{-1} de calcário. Nas áreas menos exigentes em calcário a produtividade da soja foi visualmente melhor par a faixa com o tratamento T1.

No bloco III houve diferenças visuais nas produtividades de soja ao longo das áreas com NC maiores que 2,5 t ha^{-1} e entre 1,5 e 2,5 t ha^{-1} de calcário. Não há áreas menos exigentes em calcário neste bloco. O teor médio de argila na área desse bloco foi de 67 dag kg^{-1} e de saturação por bases foi de 41%, sendo o bloco mais homogêneo para os atributos que influenciam no cálculo da NC pela metodologia proposta por Catani e Gallo (1955), Quaggio (1983) e Quaggio, Raij e Malavolta (1985). Pode-se observar que ao longo de todo esse bloco o tratamento T3 de calcário promoveu as maiores produtividades em relação aos demais tratamentos.

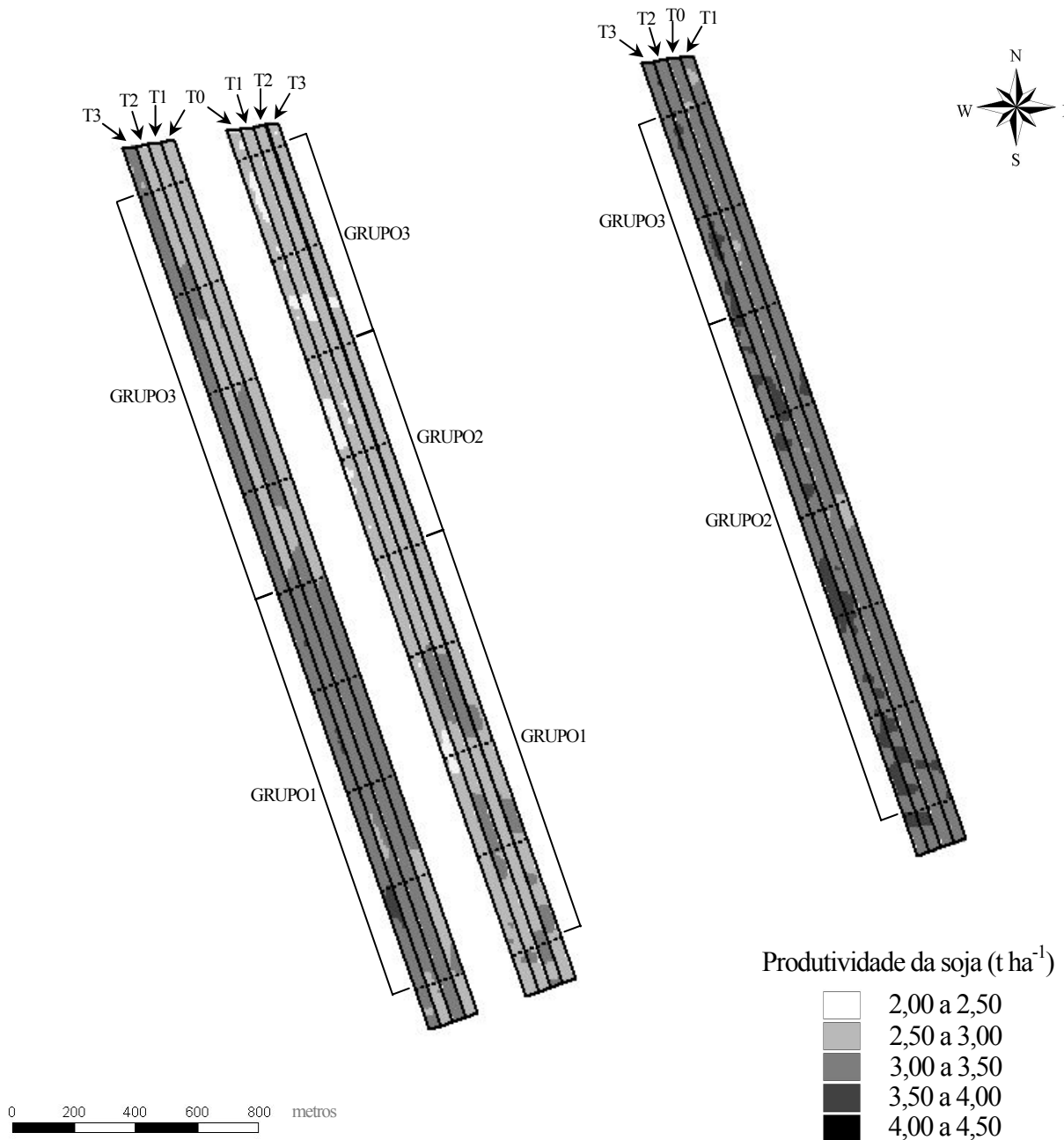


Figura 4.9 - Mapas dos dados de produtividade de soja na safra 2006/2007 interpolados com os tratamentos controle (T0 – sem calcário) e doses de calcário (T1 – $1,0\ t\ ha^{-1}$; T2 – $2,0\ t\ ha^{-1}$; T3 – $3,0\ t\ ha^{-1}$) nas faixas de aplicação ao longo dos grupos de necessidade de calagem (GRUPO1 – $NC < 1,5\ t\ ha^{-1}$; GRUPO2 – $1,5 < NC < 2,5\ t\ ha^{-1}$; GRUPO3 – $NC > 2,5\ t\ ha^{-1}$) calculada a partir dos resultados da análise de solo nas células de amostragem (linha pontilhada) antes da aplicação dos tratamentos

O mapa interpolado dos dados de produtividade do milho na safra 2007/08 para as faixas de calcário é apresentado na Figura 4.10. Para o bloco I, nas células onde a NC correspondeu a um valor menor que $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário, as diferenças de produtividade do milho entre os tratamentos não foram muito grandes, a exceção do tratamento controle. Para as células onde a NC foi acima de $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ os resultados de produtividade para o T3 foram superiores aos obtidos pelos demais tratamentos, atingindo produtividades iguais as médias de produção para as lavouras altamente tecnificadas. No geral o tratamento T3 apresentou as maiores e mais uniformes produtividades ao longo de toda a faixa.

No bloco II as produtividades de milho obtidas na faixa do tratamento T1 foram maiores e mais uniformemente distribuídas ao longo de todo o bloco. Porém para as áreas com menor exigência de calcário para elevar a saturação por bases a 50 %, as produtividades entre o tratamento controle e o T1 visualmente foram semelhantes.

No bloco III e considerando as células onde a exigência de calcário esteve no nível intermediário ($1,5 \leq \text{NC} \leq 2,5 \text{ t ha}^{-1}$) a partir dos resultados da análise de solo antes da aplicação dos tratamentos, as produtividades de milho foram visualmente mais homogêneas, e contidas na faixa de $8,5$ a $9,5 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos ao longo dessas células.

Para Sá (1995) a calagem em solos sob SPD não é necessária quando a saturação por bases estiver próxima de 45 a 50%, pelo fato de tal prática provocar deficiências de micronutrientes e, conseqüentemente, diminuir a produção. Adequar a dose certa de calcário a diferentes condições de acidez e portanto de saturação de bases inicial evita decréscimos de produtividade e/ou benefícios econômicos em virtude da racionalização da aplicação dos corretivos.

A ausência de respostas das culturas a calagem, observada em SPD, em muitos casos pode ser explicada pelo fato de os teores de Ca, Mg e K estarem em níveis adequados no solo, apresentado uma relação adequada com o Al trocável (CAIRES et al., 1998). Por sua vez, Caires et al. (1999) acreditam também que as menores respostas das culturas às doses de calcário em SPD podem estar relacionadas com o menor efeito tóxico do Al, que é complexado pelos compostos orgânicos solúveis presentes nos restos culturais das plantas (KRETZCHAMAR et al., 1991; MYAZAWA; PAVAN; SANTOS, 1996).

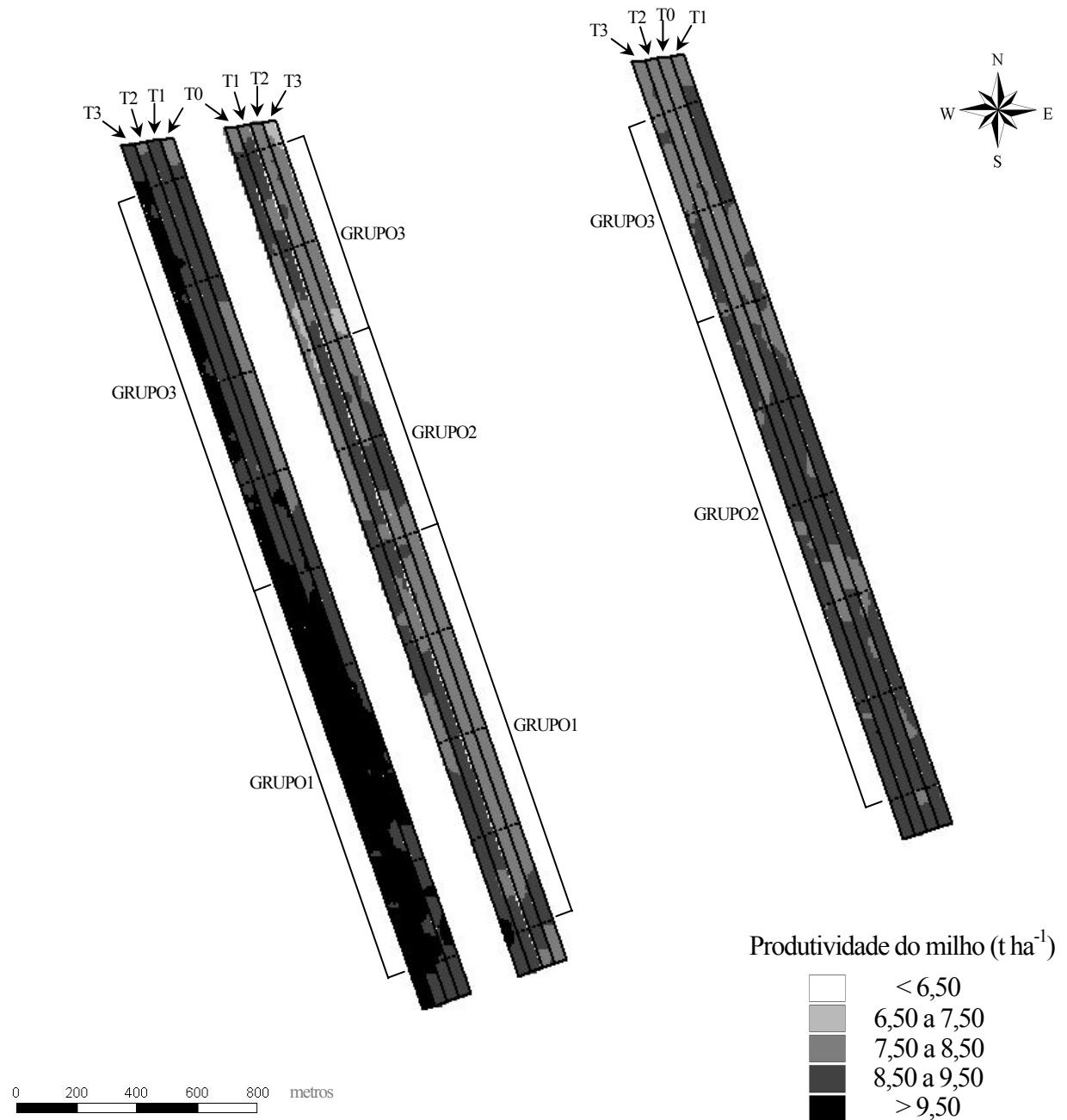


Figura 4.10 - Mapas dos dados de produtividade do milho na safra 2007/2008 interpolados com os tratamentos controle (T0 – sem calcário) e doses de calcário (T1 – $1,0\ t\ ha^{-1}$; T2 – $2,0\ t\ ha^{-1}$; T3 – $3,0\ t\ ha^{-1}$) nas faixas de aplicação ao longo dos grupos de necessidade de calagem (GRUPO1 – $NC < 1,5\ t\ ha^{-1}$; GRUPO2 – $1,5 < NC < 2,5\ t\ ha^{-1}$; GRUPO3 – $NC > 2,5\ t\ ha^{-1}$) calculada a partir dos resultados da análise de solo nas células de amostragem (linha pontilhada) antes da aplicação dos tratamentos

4.4 Considerações Finais

Os dados brutos de produtividade após passarem por uma filtragem foram interpolados pelo método da krigagem a partir de um modelo que mais se ajustou ao semivariograma.

Não houve diferenças visuais nas produtividades do milho (2005/06) entre os tratamentos aplicados nas faixas. As produtividades do milho neste ano safra foram prejudicadas em virtude de período prolongado de estiagem que pode contribuir também para não resposta dos tratamentos.

Visualmente as produtividades de soja (2006/2007) responderam a aplicação de doses de calcário nos grupos com necessidades maiores que 2,5 t ha⁻¹ de calcário em virtude do poder tampão do solo dessas áreas se repetindo também para as produtividades de milho (2007/2008).

Referências

AMADO, T.J.C.; PONTELLI, C.B.; SANTI, A.L.; VIANA, J.H.M.; SULZBACH, L.A.S. 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

ASLAN, S.; COLVIN, T.S. Grain yield mapping: Yield sensing, yield reconstruction. **Precision Agriculture**, Warwick, v. 3, p. 107-122, 2002.

BLACK, C.A. **Soil fertility evaluation and control**. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. 741 p.

BLACKMORE, B.S.; MOORE, M. Remedial correction of yield map data. **Precision Agriculture**, Warwick, v. 1, p. 53-56, 1999.

CAIRES, E.F.; MADRUGA, E.F.; CHUEIRI, W.A.; FIGUEIREDO, A. Alterações das características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem prepare do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; CORRÊA, J.C.L.; CHURKA, S.; BARTH, G.; GARBUIO, F.J. Surface application of lime ameliorates subsoil acidity and improves root growth and yield of wheat in an acid soil under no-till system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 5, p. 502-509, 2006

CAMBARDELLA, C.A.; KARLEN, D.L. Spatial analysis of soil fertility parameters. **Precision Agriculture**, Warwick, v. 1, n. 1, p. 5-14, 1999.

CATANI, R.A.; GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos de São Paulo mediante a correção entre pH e saturação em bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 30, p. 49-60, 1955.

DOERGE, T. Comparing hybrid performance with a yield monitor. **Precision Update**, Johnston, v. 1, p. 1-3, 2002.

EARL, R.; WHEELER, P.N.; BLACKMORE, B.S.; GODWIN, R.J. Precision farming the management of variability. **Landwards**, Bedford, v. 51, n. 4, p. 18-23, 1996

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 2006. 306 p.

GODWIN, R.J., RICHARDS, T.E.; WOOD, G.A.; WELSH, J.P.; KNIGHT, S.K. An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production. **Biosystems Engineering**, London, v. 84, n. 4, p. 375-391, 2003

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **Applied geostatistics**. Oxford: Oxford University Press, 1989. 561 p.

KLEINJAN, J.; CHANG, J.; WILSON, J.; HUMBURG, D.; CARLSON, G.; CLAY, D; LONG, D. **Cleaning yield data**. Brookings: South Dakota State University, 2002. Disponível em: <<http://plantsci.sdstate.edu/precisionfarm/Publications.htm>>. Acesso em: 03 maio 2004.

KRETZSCHMAR, R.M.; HAFNER, H.; BATIONO, A.; MARSCHNER, H. Long and short-term effects of crop residues on aluminium toxicity, phosphorus availability and growth of pearl millet in an acid sandy soil. **Plant and Soil**, v. 136, p. 215-223, 1991.

LARK, R.M.; STAFFORD, J.V. Exploratory analysis of yield maps of combine crops, In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, v. 1., 1997, Warwick: BIOS Scientific Publishers, 1997. p. 887-894.

MAKEPEACE, R.J. Benefits and limitations of precision farming. In: BRIGHTON CONFERENCE ON PESTS AND DISEASES, 1996, **Proceedings of an International Conference**, Brighton: British Crop Protection Council, 1996. v. 3, p. 1235-1242.

MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P.. Metodologia para identificação e caracterização de erros em mapas de produtividade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 367-374, 2003.

_____. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 126-134, 2004.

MISSOTTEN, B.; STRUBBE, D.; BAERDEMAEKER, J. Accuracies of grain and straw yield maps. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 9, p. 23-26, 1996.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; SANTOS, J.C.F. Effects of addition of crop residues on the leaching of Ca and Mg in Oxisols. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PLANT-SOIL INTERACTIONS AT LOW pH 4, 1996, **Abstracts**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p. 8.

MOLIN, J.P. Geração interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão, In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; QUIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-258.

MONTEZANO, Z.F.; CORAZZA, E.J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 839-847, 2006.

MOORE, M. **An investigation into the accuracy of yield maps and their subsequent use in crop management**. 1998. 379 p. Thesis (PhD) - Cranfield University, Cranfield, 1998.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I; GIANELLO, C. Indicadores da adidez do solo para recomendação da calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 237-247, 2008.

NOACK, P.H.; MUHR, T.; DEMMEL, M. An algorithm for automatic detection and elimination of defective yield data. In: STAFFORD, J.V; WERNER, A. (Ed). **Precision agriculture**. Wageningen: Academic Publication, 2003. p. 445-450.

QUAGGIO, J.A. **Cr terios para calagem em solos do Estado de S o Paulo**. 1983. 76 p. Disserta o (Mestrado em Solos e Nutri o de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de S o Paulo, Piracicaba, 1983.

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; MALAVOLTA, E. Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 16, p. 245-260, 1985.

S , J.C.M. Calagem em solos sob plantio direto da Regi o dos Campos Gerais, Centro Sul do Paran . In: S , J.C.M. (coord.). **Curso sobre manejo do solo no sistema de plantio direto**. Castro: Funda o ABC, 1995. p. 73-107.

SHEARER, S.A.; HIGGINS, S.G.; MACNEILL, G.A.; WATKINS, R.I.; BARNHISEL, J.C.; DOYLE, J.H.; LEACH, J.P.; FULTON, J.P. **Data filtering and correction techniques for generating yield maps from multiplecombine harvesting systems**. St. Joseph: ASAE, 1997. 1034 p.

SIMBAHAN, G.C.; DOBERMANN, A.; PING, J.L. Screening yield monitor data improves grain yield maps. **Agronomy Journal**, Madison, v. 96, p. 1091-1102, 2004

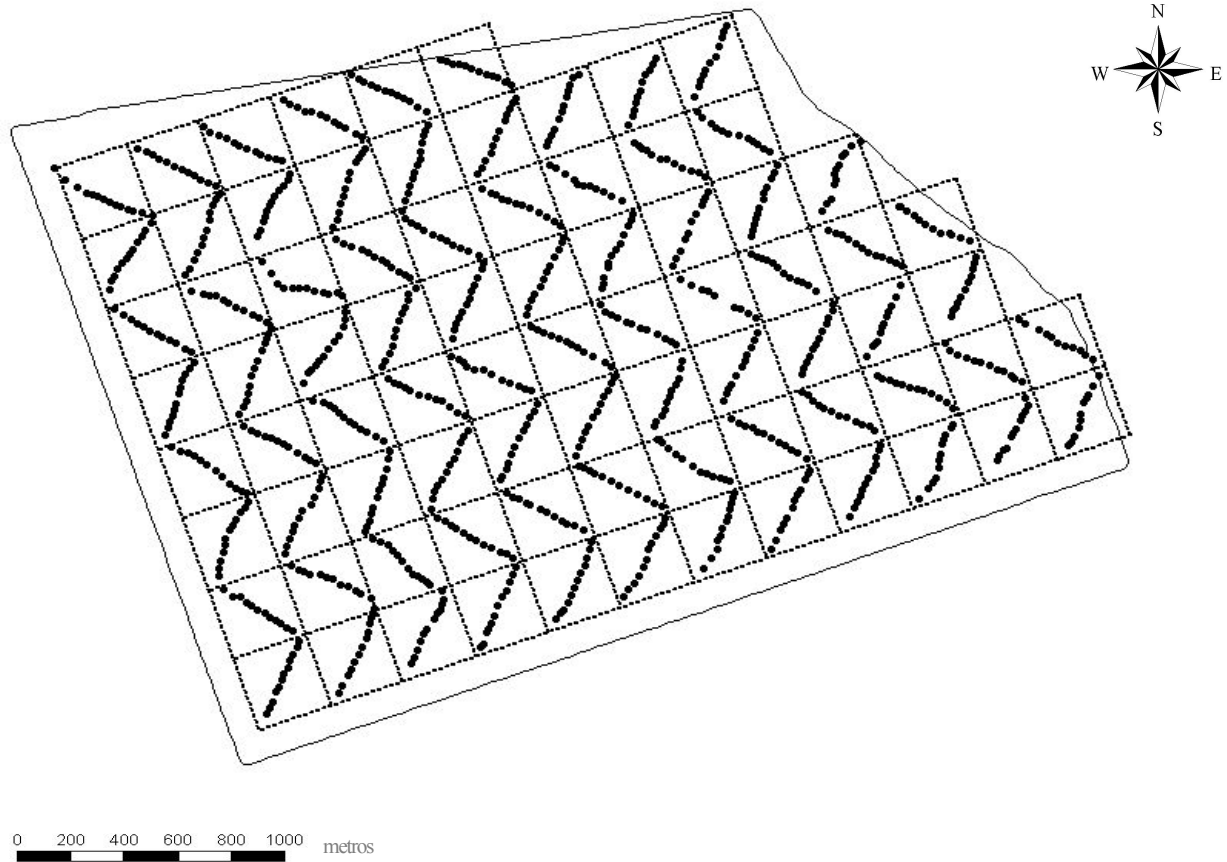
STAFFORD, J.V.; AMBLER, B.; LARK, R.M.; CATT, J. Mapping interpreting the yield variation in cereal crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, London, v. 14, p. 101-119, 1996.

TAYLOR, J.C.; WOOD, G.A.; EARL, R.; GODWIN, R.J. Soil factors and their influence on within-field crop variability. Part II: Spatial analysis and determination of management zones. **Biosystems Engineering**, London, v. 84, n.4, p. 441-453, 2003.

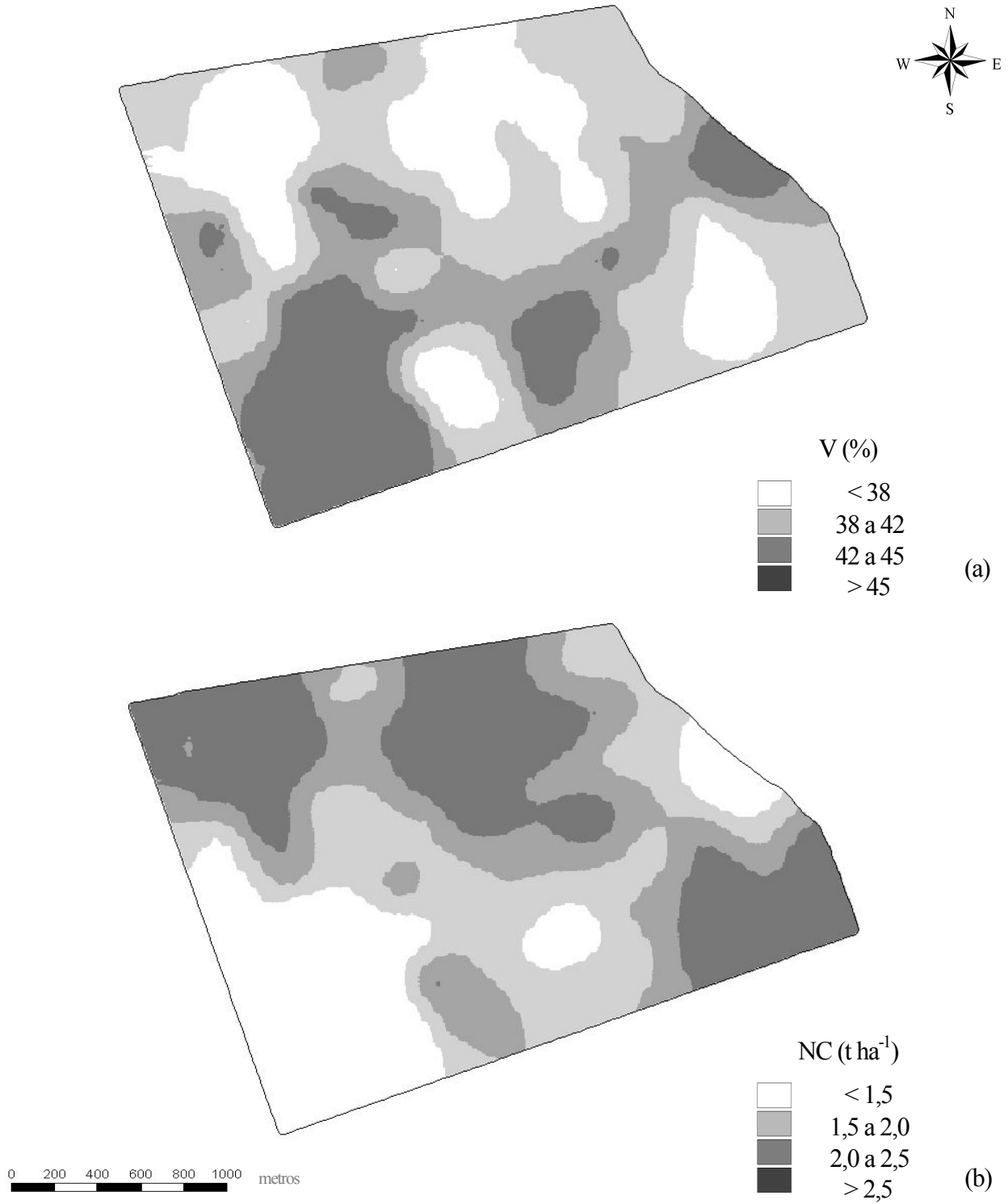
THYLEN, L.; ALGERBO, P.A.; GIEBEL, A. An expert filter removing erroneous yield data. In: **PRECISION AGRICULTURE INTERNATIONAL CONFERENCE**, 5., 2000, Minneapolis. Minneapolis: ASA; CSSA; SSSA, 2000. p. 16-19

ANEXOS

ANEXO A - Mapa da área experimental (linha cheia) dividida em células de 4,0 ha (linha pontilhada) com os pontos das subamostras



ANEXO B - Mapa da saturação por bases (V) (a) e da necessidade de calagem (NC) (b) na área experimental interpolados por krigagem utilizando um modelo exponencial de ajuste ao semivariograma



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)