

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

ANDRÉ LONGUI JAVAREZ

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM CHAPADÃO DO SUL.**

**CHAPADÃO DO SUL – MS
2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

ANDRÉ LONGUI JAVAREZ

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A
PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM CHAPADÃO DO SUL.**

Orientador: Profº Drº Morel de Passos e Carvalho

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS
2016



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Câmpus de Chapadão do Sul



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: André Longui Javarez

ORIENTADOR (A): Prof. (a) Dr. (a) Morel de Passos e Carvalho

**CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E
A PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM CHAPADÃO DO SUL**

Prof.(a) Dr.(a) Presidente Morel de Passos e Carvalho

Prof.(a) Dr.(a) Cassiano Garcia Roque

Prof.(a) Dr.(a) Rafael Montanari

Chapadão do Sul, 29 de Julho de 2016.

DEDICATÓRIA

Dedico à minha mãe Vanda e meu pai Nelson
(*em memória*) por tudo que representam e por
sempre incentivar meus estudos.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Vanda por sempre me apoiar,

A minhas irmãs Gisele e Vanessa pela parceria,

A minha esposa Vanessa e nosso filho Lucas por tudo que representam,

Ao meu orientador Morel de Passos e Carvalho por seus ensinamentos,

Ao professor Cassiano Garcia Roque pelo apoio e paciência,

Ao professor Rafael Montanari pela colaboração,

A técnica de laboratório Monica Cristina Rezende Zuffo Borges pela colaboração,

Ao professor e colega de graduação Aguinaldo José Freitas Leal,

Aos professores do programa de Pós Graduação da UFMS – Campus Chapadão do Sul pela oportunidade de cursar o programa,

E a todos que de certa forma contribuíram para a conclusão de mais essa etapa da minha vida.

EPÍGRAFE

Alguns acontecimentos em nossas vidas podem não ser imediatamente aceitos,
porém com o tempo notamos que tudo teve um propósito.

O autor.

JAVAREZ, A. L. **Correlação Espacial entre os Atributos Químicos do Solo e a Produtividade do Feijoeiro em Chapadão do Sul**. 2016. 39 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2016.

Resumo

A cultura do feijão vem tornando-se de grande interesse agrícola não só pelo seu valor econômico, mas também como cultura antecessora à cultura do algodão de segunda safra. O objetivo deste trabalho foi selecionar, dentre os atributos químicos do solo avaliados, aquele com a melhor correlação linear e espacial, para explicar a variabilidade da produtividade. O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 2011/2012, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Chapadão do Sul - MS, em um Latossolo Vermelho distrofico. Para tanto foi instalada uma malha Geoestatística 5,0 m x 5,0 m contendo 121 pontos, onde foram avaliados os atributos químicos do solo, correlacionado com a produtividade do feijoeiro. Para a produtividade do feijoeiro, o Cálcio (Ca) obteve uma relação direta nas duas profundidades estudadas, 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m. Na profundidade de 0 a 0,1 m foi encontrado dependência espacial para a produtividade do feijoeiro (PRO), carbono (C) e a soma de bases (SB). Espacialmente não foi observado relação entre a produtividade com os atributos estudados.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris* L., Fertilidade do Solo, Geoestatística

JAVAREZ, A. L. **Spatial correlation between soil attributes and Bean Productivity in Chapadao do Sul**, 2016. 39.f. Dissertation (MSc in Agronomy - Vegetal Production) – Federal University of Mato Grosso do Sul, 2016

ABSTRACT

The bean crop is becoming of great agricultural interest not only for its economic value but also as preceding crop to second season cotton crop. The objective of this work was to select, among the chemical attributes of this soil, the one with the best linear and spatial correlation to explain the variability of productivity. The work was developed in the agricultural year 2011/2012, in Chapadão do Sul City, Mato Grosso do Sul State, Brazil, in a Oxisol. For that was installed a geostatistical grid 5.0 m x 5.0 m containing 121 points, which were evaluated the soil chemical attributes, correlated with the bean yield. For bean productivity, The Calcium (Ca) had a direct relationship in the two studied depths, from 0 to 0.1 m and 0.1 to 0.2 m. In depth from 0 to 0.1 was found spatial dependence for bean yield (PRO), carbon (C) and the sum of bases (SB). Spatially wasn't observed relationship between productivity with the studied attributes.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., soil fertility, Geostatistical.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Equação de regressão entre a produtividade do feijoeiro e cálcio nas profundidades 0 a 0,1 m (PRO x Ca1) e equação de regressão entre a produtividade do feijoeiro e cálcio nas profundidades 0,1 a 0,2 m (PRO x Ca2).....	32
Figura 2. Semivariograma e mapa de Krigagem da produtividade do feijoeiro (PRO).	34
Figura 3. Semivariograma e mapa de Krigagem para o atributo do solo Carbono na profundidade 0 - 0,1m (C1).....	35
Figura 4. Semivariograma e mapa de Krigagem para o atributo do solo Soma de Bases na profundidade 0 - 0,1 m (SB1).....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise da estatística da produtividade de grãos de feijão e de atributos químicos do solo.....	29
Tabela 2. Matriz de correlação da produtividade do feijoeiro e dos atributos químicos do solo.	32
Tabela 3. Parâmetros dos semivariogramas ajustados para a produtividade do feijoeiro e de atributos químicos do solo.....	34

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1. A cultura do feijão.....	14
2.2. Atributos químicos do solo.....	15
2.3. Geoestatística aplicada para atributos químicos do solo.....	16
3. REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 1 - CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM CHAPADÃO DO SUL.....	24
RESUMO.....	24
ABSTRACT	24
1. INTRODUÇÃO	25
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
3.1. Análise descritiva de produtividade e atributos do solo	28
3.2. Matriz de Correlação	31
3.3. Semivariogramas.....	33
4. CONCLUSÃO	35
5. REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o feijão no Brasil especificamente na região de Chapadão do Sul-MS, vem tornando-se interessante para anteceder a cultura do algodão safrinha pelo seu curto ciclo. Atualmente, o feijão é uma cultura muito importante, com uma previsão de produção de feijão de 3.047,5 mil hectares, na safra 2015/2016 (CONAB, 2016).

Em Mato Grosso do Sul a cultura do feijão é pouco expressiva no estado, visto que para esta safra foi registrado plantio apenas no município de Chapadão do Sul e Costa Rica, colheita já encerrada. A área cultivada foi de 14,3% abaixo da área da safra anterior e redução na produtividade de 10%, uma vez que na safra anterior foi de 2.000 kg há⁻¹ e nesta, apresenta número de 1.800 kg há⁻¹. Redução também na produção, passando de 1,4 mil toneladas para 1,1 mil toneladas, 21,4% menor em relação à safra de 2014/15. A queda na produtividade ocorreu devido ao excesso de chuvas na região, o que acarretou a perda de aproximadamente 33,3% da área cultivada em Chapadão do Sul. O produto oriundo destas áreas sofreu perda de qualidade em função do excesso de umidade, e é absorvido pelo mercado regional (CONAB, 2016).

A correção e/ou adubação na agricultura tradicional são efetuadas em grandes áreas, as mesmas são consideradas homogêneas para fins de fertilização, considerando a necessidade média para a aplicação de insumos (fertilizantes, defensivos, água, etc.), fazendo com que a mesma formulação e/ou quantidade dos fertilizantes seja utilizada para toda a área, atendendo apenas as necessidades médias e não considerando, dessa forma, as necessidades específicas para cada zona de manejo (CAVALCANTE et al., 2007).

Para melhor entender os fatores que afetam a produtividade das culturas, um componente passou a ser considerado no manejo da produção agrícola: a variabilidade espacial. O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é importante, pois pode indicar alternativas de manejo do solo para reduzir os efeitos dessa variabilidade nas produtividades das culturas com a utilização das zonas específicas de manejo (GUEDES, 2009).

O emprego de técnicas de agricultura de precisão, como sua utilização no manejo localizado da fertilidade do solo, vem sendo amplamente utilizado. As

dosagens de insumos são aplicadas de forma variável, visando atender às necessidades específicas de cada local, otimizando o processo de produção e reduzindo os impactos ambientais causados pelas práticas agrícolas. Para tanto, é indispensável a caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo por meio de amostragem capaz de representar tais variações (BOTTEGA et al., 2013).

A análise geoestatística permite detectar a variabilidade e distribuição espacial dos atributos estudados e, portanto, constitui importante ferramenta na análise e descrição detalhada da variabilidade dos atributos do solo (VIEIRA, 2000).

O objetivo do trabalho foi selecionar entre os atributos do solo avaliados, aqueles com a melhor correlação linear e espacial, para explicar a variabilidade da produtividade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do feijão

Cultivado por pequenos e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras, o feijoeiro comum reveste-se de grande importância econômica e social. Dependendo da cultivar e da temperatura ambiente, pode apresentar ciclos variando de 65 a 100 dias, o que o torna uma cultura apropriada para compor, desde sistemas agrícolas intensivos irrigados, altamente tecnificados, até aqueles com baixo uso tecnológico, principalmente de subsistência. As variações observadas na preferência dos consumidores orientam a pesquisa tecnológica e direcionam a produção e comercialização do produto, pois as regiões brasileiras são bem definidas quanto à preferência do grão de feijoeiro comum consumido. Algumas características como a cor, o tamanho e o brilho do grão, podem determinar o seu consumo, enquanto a cor do halo pode também influenciar na comercialização. Os grãos menores e opacos são mais aceitos que os maiores e que apresentam brilho. A preferência do consumidor norteia a seleção e obtenção de novas cultivares, exigindo destas não apenas boas características agronômicas, mas também valor comercial no varejo (EMBRAPA, 2016).

O cultivo dessa leguminosa é bastante difundido em todo o território nacional, no sistema solteiro ou consorciado com outras culturas. É reconhecida como cultura de subsistência em pequenas propriedades, muito embora tenha havido, nos últimos 20 anos, crescente interesse de produtores de outras classes, adotando tecnologias avançadas, incluindo a irrigação e a colheita mecanizada. O sistema de comercialização é o mais variado possível, com predomínio de um pequeno grupo de atacadistas que concentra a distribuição da produção, gerando, muitas vezes, especulações quando ocorrem problemas na produção. Com a informatização, os produtores terão maior facilidade de acesso às informações de mercado, criando melhores possibilidades de comercialização do produto, e, conseqüentemente, gerando maior renda. A falta de informação para a comercialização do produto é um dos pontos de estrangulamento da cadeia produtiva desta cultura (EMBRAPA, 2016).

Considerando as três safras, estima-se para esse sétimo acompanhamento, que a área total de feijão terá incremento de 3.047,5 mil hectares em relação à safra

passada, que foi de 3.040 mil hectares, com 0,2% de aumento. A produção nacional de feijão deverá ficar em 3.309,3 mil toneladas e 6,2% maior que a última temporada (CONAB, 2016).

O feijão se apresenta como indispensável fonte protéica para a população brasileira, principalmente para a população de baixa renda, sendo uma das principais explorações agrícolas do país, praticada principalmente por pequenos e médios produtores, porém, com crescente aumento de áreas por produtores altamente tecnificados (YOKOYAMA et al., 1996).

2.2. Atributos químicos do solo

O solo é o fornecedor dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas e as práticas de adubação o suplementam. No entanto, muitos fatores além da disponibilidade de minerais influenciam o estado nutricional, em especial aqueles intrínsecos ao vegetal, o que determina a eficiência de absorção dos nutrientes (MALAVOLTA et al., 1997).

Em decorrência tanto do curto ciclo, como das características próprias do sistema radicular, o feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes, devendo-se colocá-los adequadamente, no tempo e no espaço, à sua disposição. Pode-se estipular quantidades médias exigidas, para produção de 1000 kg de grãos de feijão: 35,5 kg de N, 4,0 kg de P, 15,3 kg de K, 3,1 kg de Ca, 2,6 kg de Mg e 5,4 kg de S (MONTANARI et al., 2013).

Dentre os fatores que limitam a produtividade do feijoeiro em solos brasileiros, destaca-se o baixo teor de fósforo, sendo, portanto, frequente a resposta positiva da cultura à aplicação deste nutriente no solo e suas limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo que aumentado o suprimento deste nutriente a níveis adequados (ZUCARELI et al., 2011).

Segundo CARVALHO et al. (2002) a baixa mobilidade do P no perfil condiciona a grande variação quanto à dependência espacial, quanto ao K, apesar de a variabilidade ser bastante dependente do preparo em virtude da sua mobilidade, tal conclusão não foi observada. O alcance é de fundamental importância para a interpretação dos semivariogramas onde indica a distância até

onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si (VIEIRA et al., 1983; SOUZA et al., 1997; VIEIRA, 1997) citados por CARVALHO (2002).

Segundo HEINRICHS et al. (2008) o pH do solo é o primeiro ponto a ser trabalhado para a produção de feijão, visto que somente após a calagem pode-se ter noção da real disponibilidade de nutrientes, com o índice pH de 5,5 a 6,5, os nutrientes encontram-se em disponibilidade máxima (N, P, K, Ca, Mg, S e B) ou adequada (Cu, Fe, Mn, Mo e Zn), enquanto o teor de Al em concentração tóxica é reduzido ou mínimo, favorecendo o desenvolvimento das raízes e ampliando a capacidade de a planta retirar água e nutrientes do solo, resultados de diversas pesquisas revelam que a máxima produtividade de feijão ocorre quando o pH do solo medido em água encontra-se entre 6,0 e 7,0.

O potássio (K) do solo ocorre em quatro formas, que são elas K da solução, K trocável, K não trocável (fixado) e o K estrutural. O suprimento de K para as plantas advém da solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais. O teor trocável é a principal fonte de reposição do K para a solução o qual, por sua vez, sendo que o K da solução pode ser absorvido pelas plantas, adsorvido às cargas negativas do solo ou perdido por lixiviação (ALVES, 2014b).

O Potássio é exigido pelo feijoeiro em quantidades relativamente elevadas, menores apenas que as de Nitrogênio, além disso, a quase totalidade do Potássio é absorvida pelo feijoeiro até 40-50 dias após a emergência, porém, as pesquisas conduzidas em diferentes épocas e regiões mostraram que a resposta aos fertilizantes potássicos são pouco frequentes no Brasil, devido a fertilidade natural dos solos que possuem teores de médios a altos para o Potássio (LIMA et al., 2001).

2.3. Geoestatística aplicada para atributos químicos do solo

No estudo da variabilidade do solo podem ser utilizados basicamente dois enfoques que diferem na forma de análise dos dados, os métodos estatísticos de rotina, aplicados às amostras de populações e denominados simplesmente de estatística clássica, exigem a validade de algumas hipóteses básicas, tais como a independência espacial entre as observações e a distribuição normal dos dados. Entretanto, a geoestatística, que vem apresentando aplicação crescente na avaliação da variabilidade espacial de atributos de interesse em ciências agrárias,

permite a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural deles, partindo do pressuposto da existência de uma dependência espacial entre os dados pesquisados, dentro do espaço de amostragem no campo (CARVALHO, 1991).

A geoestatística que é uma das ferramentas da agricultura de precisão, que permite realizar o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo; surgiu na África do Sul quando Krige, trabalhando com dados referentes à concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias calculadas se não levasse em conta também a distância entre as amostras (VIEIRA, 2000).

A geoestatística pode indicar alternativas de manejo que propiciem a minimização do efeito da variabilidade dos atributos do solo sobre os cultivos (ALVES et al., 2014a). Assim, permite-se modelar e analisar a variabilidade espacial dos atributos de interesse agrícola gerando mapas de variabilidade espacial sem tendência e com variância mínima por meio da técnica de interpolação por krigagem (MONTANARI et al., 2011).

As variações espaciais dos atributos físico-químicos do solo podem ser avaliadas por meio de técnicas geoestatísticas, que verificam a relação entre as várias amostras de uma mesma área, usando-se o estudo de variáveis regionalizadas (SILVA; CHAVES, 2001). A geoestatística também estuda a variabilidade espacial dos atributos da planta, auxiliando na escolha, locação de experimentos e interpretação dos resultados. Seu uso requer a coleta de amostras previamente planejadas, com a localização espacial exata de cada ponto amostral (BRAGA, 2011).

Tradicionalmente, os agricultores ao realizarem a amostragem do solo de uma dada área, uniformizavam as subamostras em uma única amostra, que passava a representar as características médias da fertilidade daquela área, assumida como uniforme, assim a mesma quantidade de insumos é utilizada para toda área, atendendo apenas as necessidades médias e não considerando as necessidades específicas de cada parte da lavoura (MOLIN, 1997).

No Brasil vem ocorrendo substancial modificação tecnológica no cultivo do solo, dada pela agricultura de precisão que permite ao agricultor buscar soluções para problemas levantados na propriedade agrícola, dados principalmente pela

adoção de um mapa de produtividade que possua elevada correlação espacial com os mapas de fertilidade e atributos físicos do solo e a partir desse fato, pode-se definir zonas de manejo, normalmente associadas às mais baixas produtividades agrícolas onde deverão ser empregadas técnicas para minimizar seus impactos na produtividade (BRAGA, 2011).

No âmbito da geoestatística, o estudo da técnica auxilia os programas computacionais empregados na agricultura de precisão; ou seja, os dados gerados e ajustados da interpolação simples de dados (krigagem) e da interpolação cruzada (cokrigagem) entre atributos de planta *versus* solo servem como base para estimar a variabilidade espacial de determinada variável por meio de outra com facilidade de determinação (MONTANARI et al., 2015).

2.3.1. Semivariograma

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de mapeamento por krigagem, permitindo representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (EMBRAPA, 2004) ou no tempo, definido por três parâmetros: o efeito pepita (C_0), o patamar ($C_0 + C$) e o alcance (A_0).

No ajuste dos modelos experimentais (linear, esférico, exponencial e gaussiano), que depende do atributo e da camada de solo analisada (REICHERT et al., 2008), são considerados: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQD); b) o maior coeficiente de determinação (r^2) e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE). O ajuste é validado pela técnica da validação cruzada, assim como também para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionará a melhor malha de krigagem.

Segundo VIEIRA et al.,(1983); BORGELT et al., (1994) citados por ALVES (2014a), a krigagem é um processo de interpolação que estima valores de atributos em locais não amostrados, sem tendência e com variância mínima, podendo expressar os resultados em forma de mapas de isolinhas ou de superfície tridimensional. O valor da variável espacial, num local não amostrado, é estimado por combinação linear de valores medidos em outros locais vizinhos, levando-se em conta a modelagem da dependência espacial da variável, expressa pelo semivariograma. Pontos próximos dos locais não amostrados têm maior peso do que os afastados e aqueles agrupados têm maior peso do que os isolados.

Seu conhecimento é de extrema importância para a Agricultura de Precisão, uma vez que os programas computacionais o utilizam para, em função da inteligência artificial que o geoprocessamento desempenha via satélite, poder monitorar o trator agrícola, equipado com a semeadora/adubadora e, assim, poder efetuar a distribuição de um determinado insumo com taxas variáveis no terreno (VIEIRA et al., 1991).

Sabe-se que a validação cruzada é uma ferramenta destinada a avaliar modelos alternativos de semivariogramas que efetuam a krigagem. Assim, trabalhando-se na obtenção do número ideal de vizinhos, são obtidos, por meio da interpolação por krigagem, os mapas de isolinhas para a interpretação e o detalhamento da variabilidade espacial dos atributos pesquisados (BRAGA, 2011).

2.3.2. Krigagem ordinária, Semivariogramas cruzados e cokrigagem

Pelo método da krigagem ordinária, determinando-se o semivariograma da variável e havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar linearmente valores em qualquer posição na área de estudo, sem tendência e com variância mínima. Este é o método de interpolação dos dados mais utilizado no mapeamento dos atributos do solo (SCHLOEDER et al., 2001).

Os resultados do estudo podem ser expressos em forma de mapa de isolinhas ou de superfície tridimensional. Porém, a maneira mais utilizada para representar a variabilidade espacial dos atributos do solo em uma área é por meio de mapas de isolinhas (CORÁ; BERALDO, 2006).

Em situações em que existe a correlação espacial entre duas propriedades, a estimativa de uma delas pode ser realizada usando-se informações de uma segunda variável expressas no semivariograma cruzado. Este método é chamado de cokrigagem. A cokrigagem é uma técnica de avaliação geoestatística que permite estimar uma variável primária de interesse a partir de informações que se tem sobre ela própria e também das informações disponíveis que tenha correlação espacial com ela (ANDRIOTTI, 2010).

3. REFERENCIAS

ALVES, V.; MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; CORREA, A. R.; ROQUE, C. G. Atributos tecnológicos, stand e produtividade da cana-planta correlacionados com aspectos da fertilidade do solo em Chapadão do Céu (GO). **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 1, n. 1, p. 75-91, jul./set. 2014a.

ALVES, V. **Atributos Tecnológicos, Stand e Produtividade da Cana-Planta Correlacionados com Aspectos da Fertilidade do Solo em Chapadão do Céu (GO)**. 2014. 58 f. Dissertação. (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2014b.

ANDRIOTTI, J. L.; **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. (ed.) Unisinos, São Leopoldo-RS, 2010. 165 p.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

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

BRAGA, J. A. **Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico do noroeste paulista**. Ilha Solteira, 2011. 85f. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

CARVALHO, T.M. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo através da Geoestatística**. Lavras, 1991. 84p. Dissertação (Mestrado)– Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1991.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; & SOUZA, Z. D. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos sétimo levantamento**. Brasília: Local de Edição, 2016. v. 3, p. 1-118. (Safra 2015/16, 7).
- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa-Cerrado, 2004. 209 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA– EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Sistemas de Produção**. [S.l.: s.n.], 2003. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm/>>. Acesso em: 25 julho 2016.
- GUEDES FILHO, OSVALDO. Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado), **Instituto Agrônomo**, Campinas. 2009.
- HEINRICHS, R.; MOREIRA, A.; FIGUEIREDO, P. A. M. D.; MALAVOLTA, E. Atributos químicos do solo e produção do feijoeiro com a aplicação de calcário e manganês. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 1157-1164, 2008.
- LIMA, E. D. V.; ARAGÃO, C. A.; MORAIS, O. M.; TANAKA, R.; GRASSI FILHO, H. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. **Scientia agricola**, Piracicaba-SP, p. 125-129, 2001.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba-SP, POTAFÓS, 1997. 319p.
- MOLIN, J. P. Agricultura de precisão. Parte 1: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

MONTANARI, R.; LIMA, R. C.; BONINI, A. S.; MARQUES, L. S.; MINGUINI, R.; CARVALHO, M. P.; FERREIRO, J.; COSTA, N. R. Variabilidade dos atributos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto no cerrado brasileiro e produtividade da soja. **Cadernos do Laboratório Xeolóxico de Laxe**, La Coruña-Espanha, v. 36, n.1, p. 61-78, 2011.

MONTANARI, R.; RODRIGUES, G. G.; CARVALHO, M. P.; DALCHIAVON, F. C.; MACHADO, F. C.; GONZALEZ, A. P. Atributos químicos de um Latossolo espacialmente relacionados com a produtividade e componentes de produção do feijão em Selvíria (MS). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lajes-MG v. 12, n. 3, p. 271-281, 2013.

MONTANARI R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. Á.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência o Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 385-96, 2015.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. 2, p. 49-135.

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

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 5, n. 3, p. 431-436, 2001.

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.

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, n. 4, p. 1040-1048, 1991.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas-SP, v. 56, n. 1, p. 1-17, 1997.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Schaefer, G.R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, 54p. v.1.

YOKOYAMA, L. P.; DEL PELOSO, M. J.; DI STEFANO, J. G.; YOKOYAMA, M. **Nível de aceitabilidade da cultivar de feijão pérola: avaliação preliminar**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. (Documentos, 98).

ZUCARELI, C.; PRANDO, A. M.; RAMOS JUNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 42, n. 1, p. 32-38, 2011.

CAPÍTULO 1 - CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E A PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO EM CHAPADÃO DO SUL

RESUMO

A cultura do feijão vem tornando-se de grande interesse agrícola não só pelo seu valor econômico, mas também como cultura antecessora à cultura do algodão de segunda safra. O objetivo deste trabalho foi selecionar, dentre os atributos químicos do solo avaliados, aquele com a melhor correlação linear e espacial, para explicar a variabilidade da produtividade. O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 2011/2012, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, localizada no município de Chapadão do Sul - MS, em um Latossolo Vermelho distrofico. Para tanto foi instalada uma malha Geoestatística 5,0 m x 5,0 m contendo 121 pontos, onde foram avaliados os atributos químicos do solo, correlacionado com a produtividade do feijoeiro. Para a produtividade do feijoeiro, o Cálcio (Ca) obteve uma relação direta nas duas profundidades estudadas, 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m. Na profundidade de 0 a 0,1 m foi encontrado dependência espacial para a produtividade do feijoeiro (PRO), carbono (C) e a soma de bases (SB). Espacialmente não foi observado relação entre a produtividade com os atributos estudados.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris* L., Fertilidade do Solo, Geoestatística

ABSTRACT

The bean crop is becoming of great agricultural interest not only for its economic value but also as preceding crop to second season cotton crop. The objective of this work was to select, among the chemical attributes of this soil, the one with the best linear and spatial correlation to explain the variability of productivity. The work was developed in the agricultural year 2011/2012, in Chapadão do Sul City, Mato Grosso do Sul State, Brazil, in a Oxisol. For that was installed a geostatistical grid 5.0 m x 5.0 m containing 121 points, which were evaluated the soil chemical attributes, correlated with the bean yield. For bean productivity, The Calcium (Ca) had a direct relationship in the two studied depths, from 0 to 0.1 m and 0.1 to 0.2 m. In depth from 0 to 0.1 was found spatial dependence for bean yield (PRO), carbon (C) and the sum

of bases (SB). Spatially wasn't observed relationship between productivity with the studied attributes.

Key-words: *Phaseolus vulgaris* L., soil fertility, Geostatistical.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o feijão no Brasil especificamente na região de Chapadão do Sul-MS, vem tornando-se interessante para anteceder a cultura do algodão safrinha pelo seu curto ciclo. Para melhor entender os fatores que afetam a produtividade das culturas, um componente passou a ser considerado no manejo da produção agrícola foi a variabilidade espacial, pois pode-se a partir desta indicarmos alternativas de manejo do solo para reduzir os efeitos nas produtividades das culturas com a utilização das zonas específicas de manejo (GUEDES, 2009).

A produção total de feijão no Brasil na safra 2015/16 foi estimada em mais de 3,3 milhões de toneladas, com aumento de 6,2% em relação à safra 2014/15 o que corresponde a uma área total de aproximadamente 3,047 milhões de hectares, distribuídas em todos os estados produtores. Nesta safra o Brasil terá um acréscimo na área estimado em 7 mil hectares (CONAB, 2016).

Em decorrência tanto do curto ciclo, como das características próprias do sistema radicular, o feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes, devendo-se colocá-los adequadamente, no tempo e no espaço, à sua disposição. (MONTANARI et al., 2013). O solo é o fornecedor dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas e as práticas de adubação o suplementam (MALAVOLTA et al., 1997). No estudo da variabilidade do solo podem ser utilizados basicamente dois enfoques que diferem na forma de análise dos dados, os métodos estatísticos de rotina, aplicados às amostras de populações e denominados simplesmente de *estatística clássica*, entretanto, a *geoestatística*, vem apresentando aplicação crescente na avaliação da variabilidade espacial de atributos de interesse em ciências agrárias, pois permite a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural deles, partindo do pressuposto da existência de uma dependência espacial entre os dados pesquisados (CARVALHO, 1991).

A geoestatística que é uma das ferramentas da agricultura de precisão, que permite realizar o estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo; surgiu na

África do Sul quando Krige, trabalhando com dados referentes à concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias calculadas se não levasse em conta também a distância entre as amostras (VIEIRA, 2000). O estudo da técnica auxilia os programas computacionais empregados na agricultura de precisão; ou seja, os dados gerados e ajustados da interpolação simples de dados (krigagem) e da interpolação cruzada (cokrigagem) entre atributos de planta *versus* solo servem como base para estimar a variabilidade espacial de determinada variável por meio de outra com facilidade de determinação. (MONTANARI et al., 2015)

Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas é a agricultura de precisão, que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial (MOLIN, 2000).

O objetivo do trabalho foi selecionar entre os atributos do solo avaliados, aqueles com a melhor correlação linear e espacial, para explicar a variabilidade da produtividade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no ano agrícola 2011/2012, na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, município de Chapadão do Sul (MS), localizado na latitude 18°46'18" S e longitude 52°37'25" O, com altitude média de 820 m. Segundo Köppen, o clima é do tipo tropical úmido (Aw), com estação chuvosa no verão e seca no inverno e precipitação média anual de 1850 mm. A temperatura média anual de 25°C. O solo no qual a malha experimental foi instalada, foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com declividade homogênea de 0,055 m m⁻¹ segundo (EMBRAPA, 2006).

O solo estudado vem sendo cultivado com a sucessão de culturas soja/milho, respectivamente semeadas no verão e safrinha, sendo que nos últimos dois anos o solo permaneceu em pousio. A cultura foi implantada em meados de outubro de 2011. A planta-teste utilizada foi o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Pérola, foi realizada a semeadura do feijão em toda a área, no espaçamento de 0,45 m entrelinhas proporcionando densidade média de 16 plantas m⁻¹. As práticas normais de condução da cultura, tais como o tratamento fitossanitário e o cultivo químico,

foram procedidas homogeneamente em toda a área experimental, conforme recomendações de FAHL et al. (1998).

A área experimental foi definida entre dois terraços, nas direções x e y, assim, demarcou-se uma área de 2.500 m² (50,0 m x 50,0 m) que continham 121 pontos amostrais dispostos em malha regular de 5,0 m x 5,0 m.

Foram determinados os atributos químicos do solo pH (CaCl₂), Carbono (g Kg⁻¹), Fósforo (mg dm⁻³), Potássio (mmol_c dm⁻³), Cálcio (mmol_c dm⁻³), Magnésio (mmol_c dm⁻³), Alumínio (mmol_c dm⁻³) e Soma de Bases (mmol_c dm⁻³). Os atributos do solo e da planta foram individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral, nas profundidades: 1) 0-0,1m e 2) 0,1-0,2 m. e a produtividade (PRO) das plantas, individualmente coletados no entorno de cada ponto amostral, com área útil de 3,24 m² (1,80 x 1,80 m) em quatro linhas de semeadura. O feijão foi colhido no estágio fenológico entre R7 e R8, com uma umidade entre 13 a 15 %.

Para os atributo estudados efetuou-se a análise descritiva inicial, regressão linear e análise geoestatística. Com auxílio do software estatístico SAS (SCHLOTZHAVER; LITTELL, 1997), foram calculados a média, mediana, valores mínimos e máximos, desvio-padrão, coeficiente de variação, curtose, assimetria e distribuição de frequência. Para testar a hipótese de normalidade, foi utilizada a estatística de SHAPIRO; WILK (1965) a 5 %.

Foi montada a matriz de correlação de Pearson, objetivando efetuar as regressões lineares simples para as combinações, duas a duas, entre todos os atributos estudados (solo e planta), com objetivo de estudar a correlação linear entre eles, na tentativa de procurar selecionar aqueles que provavelmente proporcionariam semivariograma cruzado e, portanto, cokrigagem; para tanto foi utilizada a planilha de cálculos do Excel.

As análises da dependência espacial dos atributos químicos do solo foram feitas pelo uso do *Gamma Design Software* GS⁺ (2004). Os ajustes dos semivariogramas simples, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) a menor soma dos quadrados dos desvios (SQR), b) o maior coeficiente de determinação (r²) e c) o maior avaliador do grau da dependência espacial (ADE), a decisão final do modelo que representou o ajuste foi

realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem.

A análise do avaliador da dependência espacial (ADE) foi efetuada conforme a Equação (GS+, 2004):

$$ADE = [C / (C + C_0)] \cdot 100 \dots\dots\dots$$

onde: ADE é o avaliador da dependência espacial; C, a variância estrutural; e C+Co, o patamar. A interpretação proposta para o ADE foi a seguinte: a) $ADE < 20\%$ = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) $20\% \leq ADE < 40\%$ = baixa dependência (BA); c) $40\% \leq ADE < 60\%$ = média dependência (ME); d) $60\% \leq ADE < 80\%$ = alta dependência (AL) e $80\% \leq ADE < 100\%$ = muito alta dependência (MA) (DALCHIAVON et al., 2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise descritiva de produtividade e atributos do solo

De acordo com a classificação de Pimentel-Gomes & Garcia (2002) onde o coeficiente de variação (CV) $< 10\%$ foi determinado como variabilidade baixa, média de 10% a 20%, de 20% a 30% alta e $CV > 30\%$ foram classificadas como variabilidade muito alta.

Analisando os atributos pesquisados apresentados na Tabela 1 verificamos que a produtividade de grãos apresentou alta variabilidade (27,4%) análoga aos resultados obtidos por DALCHIAVON et al. (2011), que, trabalhando com um malha de 135 pontos de 2,5 m x 2,5 m entre pontos o autor também encontrou alta variabilidade (20,3%) para a produtividade do feijoeiro porém diferente dos encontrados por MONTANARI et. al. (2013) que trabalhando com uma malha 5,0 m x 5,0 m encontrou média variabilidade (18,3%).

Analisando os atributos do solo observa-se que pH1, pH2 apresentaram baixa variabilidade, 3,1%, 3,5% respectivamente. Tais dados estão em conformidade com resultados obtidos por MONTANARI et. al. (2013), trabalhando em um Latossolo Vermelho distroférrico obteve 4,4% e 4,3% para as profundidades de 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m; MATIAS et al. (2015) que também encontrou baixa variabilidade para pH (2,58%) e também concordantes com CARVALHO et al. (2002) onde o autor

verificou também verificou que para o sistema de plantio direto o pH também obteve baixa variabilidade (5,34%); também consonantes com os dados de DALCHIAVON et al. (2012) onde o autor verificou baixa variabilidade para as duas profundidades 1 e 2 estudadas (0 a 0,1m e 0,1 a 0,2 m) com 7,8% e 6,91% respectivamente.

Tabela 1. Análise da estatística da produtividade de grãos de feijão e de atributos químicos do solo.

Atributo	Unidade	Média	Valores			Desv. Padr.	CV (%)	Curtose	Assimetria	Pr<W	DF
			Mediana	Mínimo	Máximo						
PRO	(kg/ha)	2278,7	2317,7	482,3	3453,3	625,2	27,4	-0,423	-0,232	0,084	NO
pH1	-	4,75	4,75	4,40	5,23	0,15	3,1	0,943	0,335	0,048	NO
pH2	-	4,63	4,64	4,16	5,11	0,16	3,5	0,550	0,273	0,146	NO
C1	(g kg ⁻¹)	6,35	6,40	2,50	8,05	0,95	14,9	2,212	-0,943	2x10 ⁻⁴	IN
C2	(g kg ⁻¹)	5,13	5,22	2,88	6,89	0,79	15,3	0,617	-0,645	0,001	IN
P1	(mg dm ⁻³)	10,58	10,21	5,74	21,29	2,71	25,6	3,945	1,365	1x10 ⁻⁴	IN
P2	(mg dm ⁻³)	8,99	8,98	5,74	12,62	1,60	17,7	-0,128	0,008	0,111	NO
K1a	(mmol _c dm ⁻³)	0,58	0,58	0,37	0,81	0,10	17,5	-0,565	0,071	0,328	LN
K2a	(mmol _c dm ⁻³)	0,51	0,52	0,26	0,77	0,10	19,0	0,034	0,030	0,702	LN
Ca1	(mmol _c dm ⁻³)	12,12	10,80	8,00	30,80	4,33	35,8	7,269	2,711	1x10 ⁻⁴	IN
Ca2	(mmol _c dm ⁻³)	10,66	10,00	4,30	25,30	3,65	34,2	6,022	2,221	1x10 ⁻⁴	IN
Mg1a	(mmol _c dm ⁻³)	0,88	0,89	0,51	1,35	0,17	19,0	-0,627	0,158	0,035	TL
Mg2	(mmol _c dm ⁻³)	6,52	5,93	0,01	17,53	3,16	48,5	0,501	0,399	0,010	IN
Al1b	(mmol _c dm ⁻³)	1,32	1,30	0,70	1,95	0,22	16,5	0,013	0,184	0,581	LN
Al2	(mmol _c dm ⁻³)	2,25	1,90	0,01	10,00	1,36	60,4	9,367	2,313	1x10 ⁻⁴	IN
SB1	(mmol _c dm ⁻³)	24,31	23,12	16,34	46,10	6,46	26,6	2,122	1,510	1x10 ⁻⁴	IN
SB2	(mmol _c dm ⁻³)	20,45	19,21	8,58	39,19	5,86	28,7	1,324	0,939	1x10 ⁻⁴	IN

PRO= produtividade de grão, pH= potencial hidrogeniônico, C= carbono, P= fósforo, K= potássio, Ca= cálcio, Mg= magnésio, Al= alumínio, SB= soma de bases, 1= amostra de 0 a 0,1 m, 2= amostra de 0,1 a 0,2 m, a= dados transformados log, b= dados transformados log(x*10), DF= distribuição de frequência, NO= normal, IN= indeterminada, LN= log normal e TL= tendendo log normal

Os resultados para o atributo do solo C1, C2, apresentaram media variabilidade, respectivamente 14,9%, 15,3%. O atributo do solo Fósforo para a profundidade (0 a 0,1 m) P1, apresentou alta variabilidade (25,6%) e para a profundidade P2 (0,1 a 0,2 m) média variabilidade (17,7%) resultados discordantes dos obtidos por MONTANARI et. al. (2013) (43,4% e 43%) e LIMA et. al. (2013) (32,1% e 48,0%) onde os autores obtiveram variabilidade muito alta para o Fósforo nas duas profundidades, esta discordância nos dados obtidos pode ser explicada pela adsorção desse nutriente aos óxidos de Fe e Al. (ALVES et. al., 2014)

Para K1a, K2a apresentaram média variabilidade com valores de 17,5%, 19% diferentes dos obtidos por DALCHIAVON et. al. (2011) onde o autor encontrou valores para o K variabilidade muito alta (38,5%) o autor descreve que a alta variabilidade para o K pode indicar que a mesma pode ter sido interferida pela

cultura antecessora (milho) por conta de adubação, o que não ocorreu neste trabalho pois o solo estava em pousio nos últimos dois anos.

Ainda na Tabela 1 o Cálcio, apresentou variabilidade muito alta com valores de 35,8% e 34,2% dados condizentes com os obtidos por ALVES et. al. (2014) onde o autor trabalhando com uma malha de 230 m x 228m em duas profundidades obteve 44,81% e 43,39% respectivamente. Para o Magnésio foram observados valores para as profundidades Mg1a e Mg2 de 19,0% e 48,5% respectivamente, CAVALCANTE et. al. (2007) também verificou valores para o sistema de plantio direto de 35% e para o preparo convencional de 49% dados estes que são análogos aos encontrados para o Magnésio de segunda profundidade; estas mesmas variabilidades também foram encontradas por LIMA et. al., (2013) onde o autor também encontrou variabilidade muito alta (39,2%) para a segunda profundidade. A média variabilidade encontrada para o Mg1a está divergente das encontradas pelo autores citados acima e se pode ser explicada, pois os dados do Mg1a deste trabalho foram normalizados por log.

BOTTEGA et al. (2013) também determinou variabilidade muito alta para o Al conforme encontrados neste trabalho para o Al2 (60,4%). Desta alta variabilidade surge a necessidade de técnicas mais apuradas como a agricultura de precisão que levam em consideração justamente esse efeito do erro amostral de coleta de solo. (DALCHIAVON et al., 2011).

Ainda para SB1 e SB2 apresentados na Tabela 1, apresentaram alta variabilidade, respectivamente 26,6% e 28,7; MATIAS et al. (2015) também encontrou variabilidade alta (20,58%) trabalhando em um Latossolo; DALCHIAVON et al. (2011) encontrou alta variabilidade muito alta (30,4%) diferente das obtidas neste trabalho das obtidas neste trabalho.

Segundo VANNI (1998), citado por CAVALCANTE et al. (2007), coeficiente de variação maior que 35 % revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado. Se for maior que 65 %, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Contudo, se for menor que 35 %, a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida; indicando neste trabalho que Ca1, Ca2, Mg2 e Al2 apresentaram série de dados heterogêneos e média com pouco significado; para SILVA et al.(2003),

mesmo encontrando coeficientes de variação baixos para Ca, Mg e Al, aplicações a lanço, seguidas de revolvimento do solo para incorporação, podem gerar variabilidade no solo, podendo assim indicar o alto valor do coeficiente de variação para elementos Ca1, Ca2 Mg2 e Al2 obtidos nesta análise.

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média; em contrapartida, será representada pela mediana, ou pela média geométrica, caso seja do tipo lognormal (ROSA FILHO et al., 2009) citado por MONTANARI et. al. (2010) portanto a média de tendência central que representa o atributo da planta PRO e os atributos do solo pH1, pH2 e P2 deverá ser a média em razão de sua distribuição de frequência normal ficando em concordância com os dados obtidos por DALCHIAVON et al. (2011). Para os atributos do solo pH1, pH2 e P2, a distribuição de frequência foi normal, os atributos C1, C2, P1, Ca1, Ca2, Mg2, Al2, S1 e S2 a distribuição de frequência foi do tipo indefinida; para os atributos K1a, K2a e AL1b a frequência foi do tipo log normal; e Mg1 tendendo a log.

Observa-se na Tabela 1 que a produtividade tem valor médio de 2.278,7 kg.ha⁻¹ ficando próximo aos valores encontrados por MONTANARI et. al. (2010) com 2.200,9 kg.ha⁻¹, porém abaixo dos valores encontrados por DALCHIAVON et al. (2011) com média de 3.044 kg.ha⁻¹ e, bem acima da média do município referidas pela CONAB (2016) que giram em torno de 1.800 kg.ha⁻¹.

Para os atributos do solo cuja distribuição de frequência foi do tipo normal as médias obtidas foram 4,75, 4,64, 8,99 para pH1, pH2 e P2 respectivamente.

3.2. Matriz de Correlação

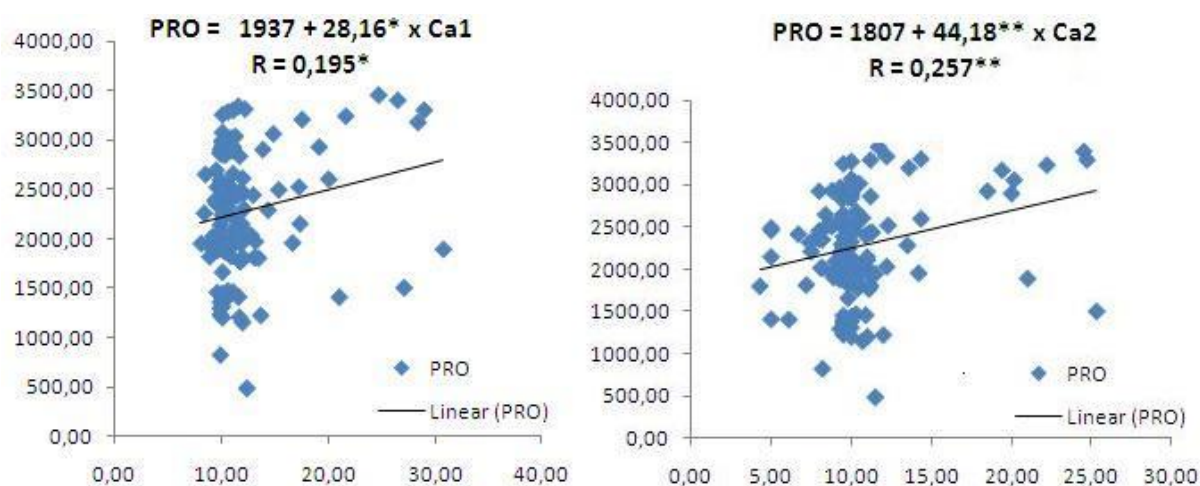
Conforme Tabela 2, nas correlações entre a produtividade e os atributos do solo, somente o cálcio tem relação direta com a produtividade indicando que o aumento do nutriente Ca⁺ nas duas profundidades haverá um aumento da produtividade do feijoeiro.

Tabela 2. Matriz de correlação da produtividade do feijoeiro e dos atributos químicos do solo.

	PRO	pH1	pH2	C1	C2	P1	P2	K1	K1a	K2	K2a	Ca1	Ca2	Mg1	Mg1a	Mg2	Al1	Al1b	Al2	SB1
pH1	0,07																			
pH2	-0,02	0,63*																		
C1	0,03	-0,02	-0,03																	
C2	0,15	0,01	0,01	0,41*																
P1	0,05	0,01	0,06	0,07	0,06															
P2	-0,04	0,03	0,10	-0,05	-0,02	0,26*														
K1a	0,09	0,16	0,01	0,10	-0,02	0,00	-0,07	0,99*												
K2a	0,01	0,26*	0,26*	0,12	0,07	0,16	0,11	0,38*	0,40*	0,99										
Ca1	0,20*	0,25*	0,17	0,01	0,15	-0,07	0,14	-0,09	-0,07	-0,03	-0,02									
Ca2	0,26*	0,09	0,10	0,04	0,10	-0,01	0,12	-0,05	-0,04	-0,08	-0,06	0,73*								
Mg1a	-0,04	0,24*	0,29*	-0,13	-0,02	-0,02	0,07	0,05	0,05	0,10	0,08	0,40*	0,18	0,97*						
Mg2	0,02	0,14	0,23*	-0,03	-0,12	0,06	0,20*	0,12	0,10	-0,01	-0,02	0,21*	0,48*	0,54*	0,56*					
Al1b	0,17	-0,48*	-0,43*	-0,08	0,07	0,00	0,02	-0,11	-0,11	-0,33*	-0,33*	-0,11	0,03	-0,12	-0,13	0,02	0,94*			
Al2	0,14	-0,46*	-0,50*	0,00	0,04	0,00	-0,04	-0,01	-0,01	-0,27*	-0,27*	-0,06	0,05	-0,24*	-0,22*	-0,13	0,38*	0,45*		
SB1	0,11	0,32*	0,27*	-0,03	0,10	-0,06	0,09	0,12	0,13	0,09	0,09	0,86*	0,57*	0,79*	0,78*	0,43*	-0,05	-0,15	-0,16	
SB2	0,17	0,17	0,22*	0,02	-0,01	0,05	0,20*	0,07	0,07	0,07	0,08	0,56*	0,87*	0,40*	0,42*	0,83*	0,05	-0,02	-0,07	0,59*

* significativos a 5%, PRO= produtividade de grão, pH= potencial hidrogeniônico, C= carbono, P= fósforo, K= potássio, Ca= cálcio, Mg= magnésio, Al= alumínio, SB= soma de bases, 1= amostra de 0 a 0,1 m, 2= amostra de 0,1 a 0,2 m, a= dados transformados log e b= dados transformados log(x*10).

Figura 1. Equação de regressão entre a produtividade do feijoeiro e cálcio nas profundidades 0 a 0,1 m (PRO x Ca1) e equação de regressão entre a produtividade do feijoeiro e cálcio nas profundidades 0,1 a 0,2 m (PRO x Ca2).



Para a correlação entre o atributo planta (PRO) x atributos do solo (Tabela2) observou-se relação direta com modelos lineares para o Ca1 e Ca2 (Figura 1) com coeficientes de correlação de 0,195* e 0,257** respectivamente, diferente dos

encontrados por DALCHIAVON et al. (2011) que obteve relação direta para a matéria orgânica e pH. Foram encontrados correções significativa entre a SB e o Ca e Mg dados também verificados por MATIAS et al. (2015) também encontrou significância nas correlação SB com o Ca e Mg A correlação negativa encontrada entre o pH e o Al também foi constatada por MATIAS et al. (2015).

3.3. Semivariogramas

De acordo com a Tabela 3 observamos que a produtividade (PRO), o carbono na profundidade 0 a 0,1m (C1) e a Soma de Bases na profundidade 0,1 a 0,2 m (SB1) obtiveram avaliador da dependência espacial (ADE) médio para os demais elementos do solo observamos o efeito pepita puro. Quando o variograma apresenta-se como efeito pepita pura (caso em que os pontos do variograma estariam praticamente alinhados ao eixo das abcissas) significa que a estruturação da variável, se existir, não pode ser visualizada na escala utilizada, não havendo, portanto nenhuma vantagem para que se adote o método geoestatístico para o estudo da mesma (ANDRIOTTI, 2010), a variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medida e microvariações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada (CAVALCANTE et al. ,2007).

O valor de r^2 determinado de 0,738 para Soma de Bases em profundidade de 0 a 0,1 m (SB1), indicou ser este atributo o de melhor ajuste semivariográfico, com ADE classificado em médio (53,9%), o modelo ajustado foi o exponencial com alcance de 45,3 m. ALVES et al. (2014) trabalhando em um Latossolo Vermelho Amarelo, encontraram valores de r^2 de 0,073 com ADE classificada como muito alto (87,3%), o modelo ajustou-se ao tipo exponencial com alcance de 51,9 m.

Na Tabela 3, a relação decrescente dos coeficientes de determinação espacial (r^2) se deu na seguinte maneira, em primeiro SB1 com 0,738, seguida da PRO com 0,667 e por ultimo o C1 com 0,521. Também com relação ao avaliador da dependência espacial (ADE), a relação foi em primeiro SB1 com 53,9%, seguida do C1 com 50,1% e por ultimo a PRO com 50,0%. A relação decrescente dos alcances da dependência espacial foi em primeiro SB1 com 45,3m, seguida da PRO com 32,1m e por ultimo o C1 com 30,6m.

Portanto, exclusivamente com base na presente pesquisa, assim como visando auxiliar a pesquisa futura, na qual os mesmos atributos estejam envolvidos,

os valores dos alcances da dependência espacial a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos, que alimentarão os pacotes computacionais empregados na agricultura de precisão, no geral, não deverão ser menores do que 30,6 m para os atributos do solo e para o atributo da planta não menor que 32,1 m.

Tabela 3. Parâmetros dos semivariogramas ajustados para a produtividade do feijoeiro e de atributos químicos do solo.

Atributo	Modelo	Parâmetros									
		Co	Co + C	Ao (m)	r ²	SQR	ADE	ADE	Val cruz	Val cruz	Val cruz
							(%)	Classe	a	b	r ²
PRO	exp.	2.12x10 ⁵	4.25x10 ⁵	32,1	0,667	8.65x10 ⁹	50,0	médio	-	0,999	0,176
pH1	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH2	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1	exp.	4.92x10 ⁻¹	9.85x10 ⁻¹	30,6	0,521	9.48x10 ⁻²	50,1	médio	-	0,762	0,078
C2	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K1a	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K2a	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca1	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca2	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg1a	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg2	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al1b	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al2	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SB1	exp.	24,46	48,76	45,3	0,738	1.75x10 ²	53,9	médio	-	1,385	0,385
SB2	epp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PRO= produtividade de grão, pH= potencial hidrogeniônico, C= carbono, P= fósforo, K= potássio, Ca= cálcio, Mg= magnésio, Al= alumínio, SB= soma de bases, 1= amostra de 0 a 0,1 m, 2= amostra de 0,1 a 0,2 m, a= dados transformados log, b= dados transformados log(x*10), exp = exponencial, SQR = soma dos quadrados dos resíduos e ADE = avaliador da dependência espacial.

Figura 2. Semivariograma e mapa de Krigagem da produtividade do feijoeiro (PRO).

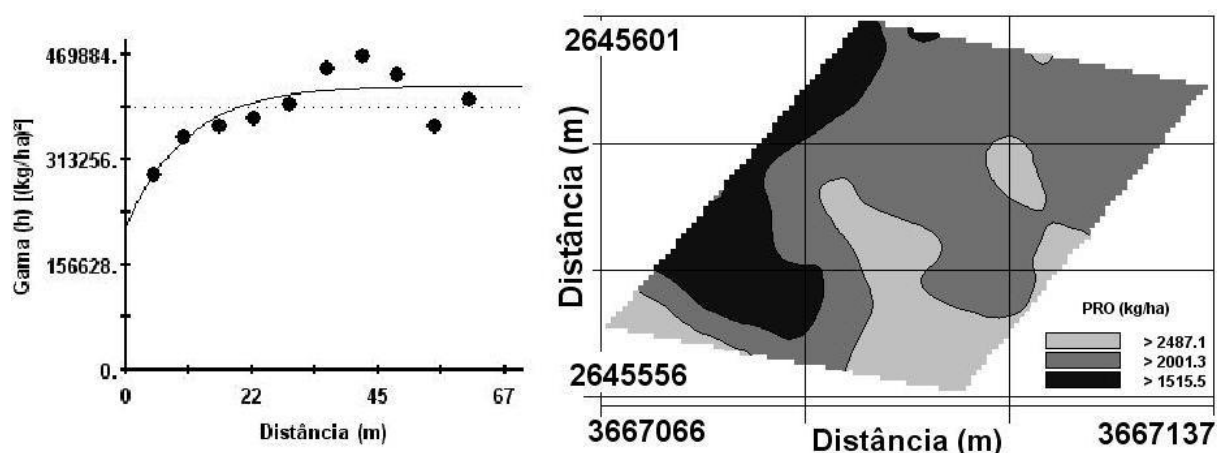


Figura 3. Semivariograma e mapa de Krigagem para o atributo do solo Carbono na profundidade 0 - 0,1m (C1).

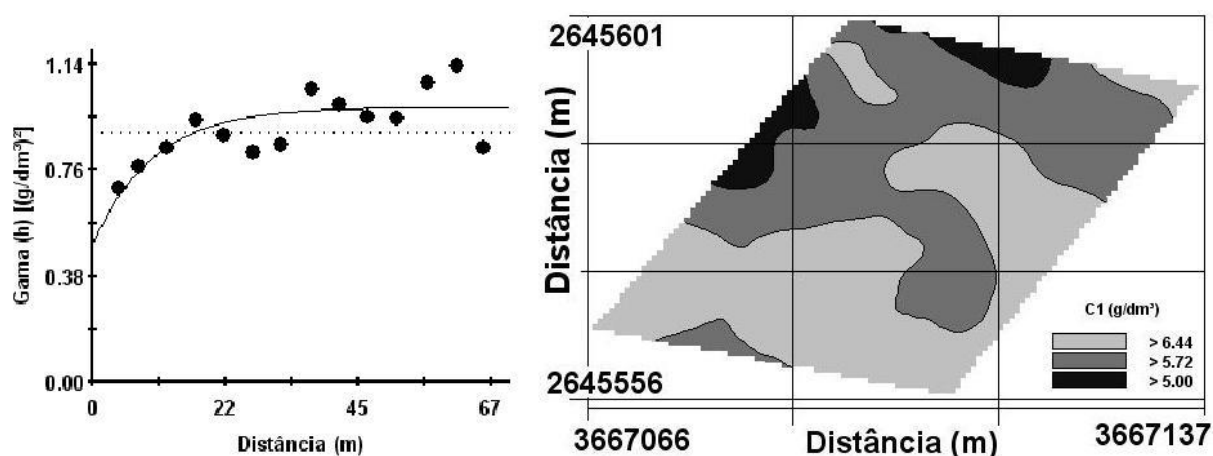
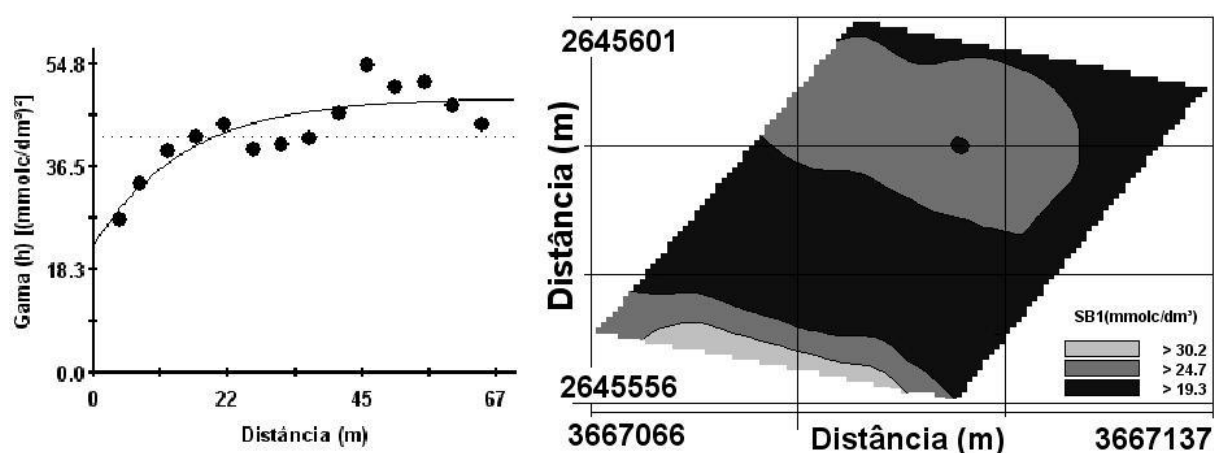


Figura 4. Semivariograma e mapa de Krigagem para o atributo do solo Soma de Bases na profundidade 0 - 0,1 m (SB1).



4. CONCLUSÃO

Para a produtividade de grão do feijoeiro, o Cálcio (Ca) tem relação direta nas duas profundidades estudadas, 0 a 0,1 m e 0,1 a 0,2 m.

Na profundidade de 0 a 0,1 m foi encontrado dependência espacial para a produtividade do feijoeiro (PRO), carbono (C) e a soma de bases (SB).

Espacialmente não foi observado relação entre a produtividade com os atributos estudados.

5. REFERENCIAS

ALVES, V.; MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; CORREA, A. R.; ROQUE, C. G. Atributos tecnológicos, stand e produtividade da cana-planta correlacionados com aspectos da fertilidade do solo em Chapadão do Céu (GO). **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 1, n. 1, p. 75-91, jul./set. 2014.

ANDRIOTTI, J. L.; **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. (ed.) Unisinos, São Leopoldo-RS, 2010. 165 p.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.

BRAGA, J. A. **Inter-relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos físico-químicos de um Argissolo Vermelho eutrófico do noroeste paulista**. Ilha Solteira, 2011. 85f. Dissertação. (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

CARVALHO, T.M. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo através da Geoestatística**. Lavras, 1991. 84p. Dissertação (Mestrado)– Escola Superior de Agricultura de Lavras, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1991.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 1329-1339, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos sétimo levantamento**. Brasília: Local de Edição, 2016. v. 3, p. 1-118. (Safra 2015/16, 7).

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p.908-916, 2011

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 43, n. 1, p. 453-461, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P.; PIZZINATTO, M. A; BETTI, J. A.; MELO, A. M. T; DE MARIA, I. C.; FURLANI, A. M. C. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 393 p. (Boletim técnico, 200).

GUEDES FILHO, OSVALDO. Variabilidade espacial e temporal de mapas de colheita e atributos do solo em um sistema de semeadura direta. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado), **Instituto Agronômico**, Campinas. 2009.

GAMMA DESIGN SOFTWARE: GS+. **Geostatistics for environmental sciences**. 7. ed. Michigan: Gamma Desing Software, 2004. 159 p.

LIMA, S. D. L.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v.44, p.16- 23, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba-SP, POTAFÓS, 1997. 319p.

MATIAS, S. S. R.; BAPTISTEL, A. C.; NOBREGA, J. C. A.; ANDRADE, F. R.; SILVA, J. B. L. Variabilidade espacial dos atributos do solo em duas áreas de manejo convencional no Cerrado piauiense. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém-PA, v. 58, n. 2, p. 217-227, 2015.

MOLIN, J.P. Geração, interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 237-257.

MONTANARI, R.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1811-1822, 2010.

MONTANARI, R.; RODRIGUES, G. G.; DE PASSOS, M.; DALCHIAVON, F. C.; MACHADO, F. C.; GONZALEZ, A. P. Atributos químicos de um Latossolo espacialmente relacionados com a produtividade e componentes de produção do feijão em Selvíria (MS). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lajes-MG v. 12, n. 3, p. 271-281, 2013.

MONTANARI R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. Á.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência o Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 2, p. 385-96, 2015.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 283-293, 2009.

SCHLOTZHAVER, S. D.; LITTELL, R. C. **SAS system for elementary statical analysis**. 2. ed. Cary: SAS, 1997. 441 p.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality: complete samples. **Biometrika**, London, v.52, p.591-611, 1965.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, 2003.

VANNI, S.M. Modelos de regressão: **Estatística aplicada**. São Paulo, Legmar Informática, 1998. 177p.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Schaefer, G.R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, 54p. v.1.