

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E
FÍSICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE CULTURAS
UTILIZANDO FERRAMENTAS DA AGRICULTURA DE
PRECISÃO**

VICTOR HUGO CAVASSINI

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E
FÍSICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DE CULTURAS
UTILIZANDO FERRAMENTAS DA AGRICULTURA DE
PRECISÃO**

Victor Hugo Cavassini

Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Co-orientadora: Profa. Dra. Anamari Viegas de A. Motomiya

Co-orientador: Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C376v	<p>Cavassini, Victor Hugo. Variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo e da produtividade de culturas utilizando ferramentas da agricultura de precisão. / Victor Hugo Cavassini. – Dourados, MS : UFGD, 2017. 61f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez. Dissertação (Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Geoestatística. 2. Soja. 3. Milho. 4. Krigagem. I. Título.</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

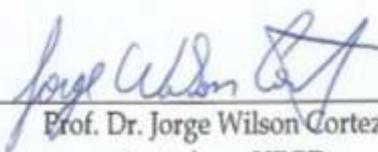
VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO E DA
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS UTILIZANDO FERRAMENTAS DA AGRICULTURA
DE PRECISÃO

por

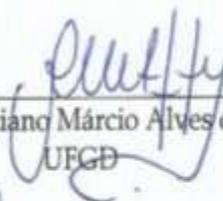
Victor Hugo Cavassini

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

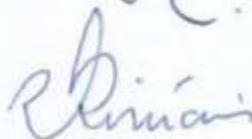
Aprovada em: 24/02/2017



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez
orientador – UFGD



Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza
UFGD



Prof. Dr. Vinícius de Oliveira Ribeiro
UEMS

Á Deus, pelo dom da vida e por estar a todo instante ao meu lado, me conduzindo pelo caminho do amor, e acolhendo os meus medos e planos.

Aos meus pais, Luiz Alfredo Cavassini e Assunta Maria Tácito dos Santos Cavassini, que foram meus pilares na realização desse sonho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Fundação Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da FCA, pela realização do curso de pós-graduação.

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT, por conceder a bolsa de estudos e a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À Comid Máquinas Ltda, pelo suporte e auxílio do desenvolvimento do trabalho.

À John Deere, pelo fornecimento de softwares disponibilizados para a elaboração deste trabalho.

Ao proprietário da Fazenda Santa Hilda, Alan Kruger, por ceder a área experimental e permitir a realização do trabalho em sua propriedade.

Ao professor Dr. Jorge Wilson Cortez, pela orientação e apoio para a realização deste trabalho.

Aos colegas Igor Queiroz Moraes Valente e Diego Ferreira da Silva, pela ajuda na realização deste trabalho.

Aos Técnicos do Laboratório de Fertilidade do Solo e Física do Solo da FCA, João Machado e Camila Farah, pela atenção e contribuição na análise dos dados deste trabalho.

Aos professores e funcionários do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da FCA, que contribuíram para o meu crescimento e amadurecimento profissional.

A todos, MUITO OBRIGADO!

“Coragem! E sede fortes. Nada vos atemorizes, e não os temais, porque é o Senhor vosso Deus que marcha à vossa frente: ele não vos deixará nem vos abandonar.”

Deuterônimo 31:6

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 Aspectos econômicos das culturas da soja e milho.....	9
2.2 Agricultura de precisão	10
2.3 Geostatística Aplicado a Ciências agrárias	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Local.....	16
3.2 Equipamentos e insumos.....	17
3.3 Atributos avaliados.....	18
3.3.1 Resistência à penetração e teor de água do solo	18
3.3.2 Atributos químicos e granulometria do solo.....	20
3.3.3 Produtividade de grãos.....	21
3.4 Análise dos dados.....	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1 Resistência do solo à penetração.....	24
4.2 Granulometria e atributos químicos do solo	27
4.2.1 Granulometria do solo	27
4.2.2 Atributos químicos do solo	30
4.3 Produtividade de grãos de soja e milho.....	42
5 CONCLUSÕES.....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

CAVASSINI, V. H. **Variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo e da produtividade de culturas utilizando ferramentas da agricultura de precisão.** 56f. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

RESUMO

O uso da variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo é uma ótima informação para auxílio no manejo das culturas de importância agrônômica como soja e milho. Assim, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de atributos do solo e da produtividade das culturas da soja na safra 2014/2015 e do milho nas safras 2014/2015 e 2015/2016. O trabalho foi conduzido em lavoura comercial com sucessão das culturas da soja e do milho, semeada no espaçamento de 0,45 m em Latossolo Vermelho distroférico, em um talhão de 49,12 ha, localizada no município de Dourados-MS. Os dados foram coletados em 53 pontos separados por 100 m entre si. As amostras compostas foram formadas por oito (8) sub-amostras tomadas aleatoriamente ao redor de cada ponto amostral, nas camadas 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, para a avaliação dos atributos químicos do solo e a granulometria. A amostragem referente ao estudo de resistência do solo à penetração foi realizada com penetrômetro eletrônico em 47 pontos até a profundidade de 0,40 m. De acordo com os mapas gerados há uma baixa necessidade de calagem (NC) na área estudada, pois os mapas correlacionados aos atributos químicos encontraram-se com índices considerados altos para Ca, Mg, P e K. Observou-se que a maior parte da área apresenta resistência à penetração entre 2 a 4 MPa, o que demonstra não haver necessidade de realizar uma subsolagem. Pelos mapas de produtividade verificaram-se pontos da área com alta e baixa produtividade, e suas características texturais em ambas as camadas. Assim, analisar os principais componentes dos atributos químicos e físicos do solo é uma estratégia eficiente para explicar a variabilidade espacial da produtividade de culturas de grãos.

Palavras-chave: geoestatística, soja, milho, Krigagem

CAVASSINI, V.H. **Spatial variability of chemical and soil physical attributes, and crop yield using precision farming tools.** 56f. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

ABSTRACT

Knowing the spatial variability of chemical and physical properties of the soil can be a great tool to aid in the management of crop agronomic importance such as soybeans and corn. The objective of this study was to evaluate the variability of chemical and physical properties of soil for understanding the spatial and temporal variability of the soybean crop yield in the crop 2014/2015 and the corn in the crop 2014/2015 and 2015/2016. The study was conducted in commercial farming and succession of soybean and corn, seeded in 0.45 m spacing under Oxisol, in a plot of 49,12 ha, in Dourados-MS. The data were collected at 53 points separated by 100 m apart. The composite samples were formed by eight (8) sub-samples randomly taken around each sample point, in the layers 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m, for the evaluation of soil chemical properties and granulometry. The sampling related to soil resistance to penetration study was performed with electronic penetrometer in 47 points to a depth of 0.40 m. According to the generated maps there is a low need for liming (NC) in the study area, because the maps related to chemical attributes met indices considered high for Ca, Mg, P and K. It was observed that the area presents compression ratio in most of the area 2 to 4 MPa, which shows that there is no need for a sub soiling. Through the maps of productivity were verified points of the area with high and low productivity, and their textural characteristics in both layers. Finally, analyzing the main components of chemical and physical properties of the soil is an effective strategy to explain the spatial and temporal variability of grain crops productivity.

Key words: geostatistics, soybean, corn, krigin

1 INTRODUÇÃO

A agricultura comercial tem enfrentado revoluções nos últimos anos, estimulados, sobretudo pelos investimentos tecnológicos no campo, voltado à mecanização dos procedimentos, além da otimização na aplicação de insumos químicos, práticas conservacionistas de semeadura, melhoramentos genéticos de produtos e à Agricultura de Precisão (AP). O auxílio dessas tecnologias refletiu em safras recordes nos últimos anos em nosso país, que com o passar dos anos vem despontando como uma das referências na produção de soja e milho no cenário mundial.

As ferramentas da Agricultura de Precisão possibilita a verificação, a análise, e o controle da desuniformidade das lavouras em áreas de grandes proporções, por meio da identificação de manchas que evidenciam produtividades mais altas e outras mais baixas em diferentes pontos da propriedade, o que proporcionou aos produtores rurais a possibilidade de evoluir em aspectos correlacionados à gestão e otimização de processos produtivos, considerando os recursos naturais disponíveis para aumentar a produtividade.

Para compreender adequadamente os aspectos que influenciam a produtividade das culturas, um novo elemento passou a ser ponderado no controle da produtividade: a variabilidade espacial. É fundamental o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo, visto que é capaz de apontar possibilidades de manejo do solo para conter as consequências da variabilidade na produção final. A forma mais clássica de obter essa informação é por meio dos mapas de produtividade, em razão de estes possibilitarem reconhecimento e interpretação das causas da variabilidade na produção e particularidades das culturas cultivadas, contribuindo como fator para definição de manejo. Uma ferramenta útil para auxiliar na definição do manejo adequado é a geoestatística, pois possibilita avaliar a variabilidade espacial e temporal de atributos do solo, além de fatores ligados à planta e ao clima da área trabalhada.

A análise da variabilidade do solo, por meio da análise geoestatística, pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas (TRANGMAR et al., 1985), mas também para

aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas sob determinadas práticas de manejo (OVALLES & REY, 1994).

Na análise da variabilidade o semivariograma caracteriza a estrutura da variância do atributo estudado como variável regionalizada da planta e/ou do solo, em função da distância no terreno. O alcance da dependência espacial é o principal parâmetro fornecido pela geoestatística, representando a distância dentro da qual os valores de um determinado atributo são iguais entre si. Por outro lado, tais valores passam a assumir magnitudes distintas, maiores ou menores, a partir do seu valor. Seu conhecimento é de extrema importância à 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 maquinário agrícola, quando da aplicação de insumos ou utilização de determinadas práticas de manejo, com taxas variáveis (COELHO, 2003).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos (textura e resistência à penetração) e químicos do solo, nos mapas de produtividade utilizando ferramentas da agricultura de precisão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos econômicos das culturas da soja e milho

Nas últimas décadas, a cadeia produtiva da soja e do milho, tanto no Brasil quanto no mundo, tem apresentado um crescimento contínuo e diferenciado, que pode ser atribuído a fatores que afetam diversos aspectos, sobretudo aqueles de natureza tecnológica e mercadológica. A referida cadeia produtiva envolve grande número de instituições e atores organizacionais. Desse modo, o seu crescimento tem gerado significativos impactos em seu ambiente de negócios, sob as perspectivas econômica, social, ambiental, tecnológica e, até mesmo, política (EMBRAPA, 2014).

O milho representa importante commodity agrícola para o Brasil, sendo cultivado nas diversas regiões do país, em diferentes sistemas de produção. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás dos Estados Unidos e da China (IBGE, 2015).

O cultivo de milho ocorre praticamente em todo o território nacional. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015), os Estados com maior produção de milho em 2014 foram o Mato Grosso (22,61%), Paraná (19,73%), Goiás (11,33%), Mato Grosso do Sul (10,28%) e Minas Gerais (8,83%).

A produção do milho cresceu nas últimas décadas no país, principalmente provindo de plantios realizados na época de safrinha (LANDAU et al., 2012). O acompanhamento da safra brasileira de grãos, segundo o levantamento da Conab, na safra 2015/16 produziu-se aproximadamente 80,20 milhões de toneladas de milho semeados em 15,48 milhões de hectares (CONAB, 2016). Neste cenário o estado de Mato Grosso do Sul é responsável por produzir cerca de 8,55 milhões de toneladas em 1,66 milhões de hectares.

O aumento da área semeada com milho safrinha no Brasil tem sido impulsionado principalmente pela expansão do cultivo de soja. Principalmente na Região Centro-Oeste, o cultivo da soja teve uma expansão muito rápida nos últimos anos, em decorrência do aumento da importância da soja no mercado internacional (DUARTE et al., 2011). Isso aumentou a necessidade de escolha de uma cultura para sucessão economicamente viável, visando auxiliar no controle de pragas, doenças e

plantas espontâneas da soja, e promovendo a melhoria de características físicas, químicas e biológicas do solo (EMBRAPA, 2015).

No Brasil, o estado de Mato Grosso do Sul se posiciona como o quinto maior produtor de soja em grãos, representatividade que nas últimas três décadas apresentou maior peso na balança comercial brasileira de acordo com dados finais da FAMASUL (2016), o estado atingiu uma produção de 7,6 milhões de toneladas na safra 2015/2016 de soja, tendo um aumento de 9,4% em relação a última safra, obtendo assim uma média de produção estimada em 50,5 sc/ha (sacas por hectare), nas 2,5 milhões de hectares de lavoura cultivada com o cultivo da soja.

Atualmente, a soja é o principal produto da agricultura brasileira, fortalecendo a posição do país como um dos players mais importantes do comércio agrícola mundial. A força da cadeia produtiva da soja permite, inclusive, ao Brasil ter pretensões geopolíticas e geoeconômicas e a capacidade de influenciar o mercado mundial de commodities agrícolas (EMBRAPA, 2014).

2.2 Agricultura de precisão

Segundo Molin et al. (2016), a origem do termo “Agricultura de precisão” está associada em que as lavouras não são uniformes no espaço nem no tempo, sendo que o termo “precisão” pode ser dita como o grau da grandeza mensurada, que refere-se a repetitividade na mensuração apresentando uma distorção em sua origem. Para tal, o termo correto seria “exatidão”, onde se faz o uso de recursos, desde o diagnóstico com mais dados juntamente com o auxílio da automação tendo como objetivo o aumento da acurácia envolvida em todo o processo. A agricultura de precisão (AP) implica a análise da variabilidade espacial dos fatores de produção, especialmente do solo (SILVA, 2013).

O conceito em AP tem várias formas de abordagem, mas o objetivo é sempre o mesmo, utilizar estratégias para resolver os problemas da desuniformidade existente nas lavouras sendo possível tirar proveito de tal desuniformidade. São práticas que podem ser desenvolvidas em diferentes níveis de complexidade e com diferentes objetivos. Com tal tecnologia as informações de diagnóstico poderiam ser facilmente coletadas espacialmente no campo, assim como as ações de manejo aplicadas no local correto (COLAÇO, 2012).

Segundo Koch e Khosla (2003) as principais práticas ligadas a AP são o mapeamento da produtividade e amostragem georreferenciada de parâmetros de solo e planta como ferramentas de diagnóstico da variabilidade, seguida pelo tratamento localizado ou em “taxas variáveis” (tanto de fertilizantes como de agroquímicos, sementes, água, etc), como ação de manejo.

De acordo com Colaço (2012) as ações de manejo podem ser aplicadas por meio de mapas de recomendações (gerados previamente á aplicação) ou em tempo real, a partir de medições de sensores no mesmo momento da aplicação. Os Sistemas de informação geográfica (SIG), automação agrícola, geoestatística, dentre outras ferramentas, também estão envolvidas no processo de reconhecimento e manejo da variabilidade espacial.

Segundo Colaço (2012), os principais focos da AP, seriam: otimizar o uso de recursos e com isso aumentar a lucratividade e a sustentabilidade de sistemas agrícolas e reduzir impactos ambientais. Para Adrian et al. (2005) o primeiro foco é a principal razão para adoção da tecnologia.

De acordo com a Comissão Brasileira de Agricultura de precisão, a definição estabelecida é que se trata de um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando o aumento de retorno econômico e a redução do impacto ao ambiente.

Para Molin (2001), primeiramente a AP era vista apenas como um conjunto de ferramentas para o manejo localizado da lavoura. Posteriormente, este conceito se transformou numa visão mais sistêmica do conjunto de ações que a compõe, passando a ser, para este autor, acima de tudo um sistema de gestão ou de gerenciamento da produção agrícola, composta por um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para otimizar o sistema produtivo, tendo basicamente como elemento chave, o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados.

A premissa básica da Agricultura de Precisão (AP) é que o gerenciamento das lavouras seja realizado numa escala bem menor do que a de um talhão, o que implica em delimitar áreas que se caracterizem por mínima variabilidade espacial de atributos relevantes à produtividade das lavouras (ALMEIDA et al., 2014).

Segundo Almeida et al. (2014) amostragens georreferenciadas suficientemente densas e freqüentes são realizadas para analisar a variabilidade espacial e realizar a geração de mapas da variabilidade. Entretanto, demandam um alto investimento de mão-de-obra e financeiro, e por consequência tem limitado a adoção da AP. Por outro lado, a contínua investigação fundamentada na amostragem georreferenciada detecta os desequilíbrios, com limitada capacidade para estabelecer uma estratégia gerencial de longo prazo.

A demarcação de unidades de gestão diferenciada (UGD) é uma etapa importante em sistemas que aplicam técnicas de AP. Para Mann et al. (2010) as UGDs podem ser interpretadas como regiões dentro dos campos de produção que apresentam mínima variabilidade espacial e permanentes ao longo do tempo. As UGDs são demarcadas normalmente a partir de mapas de fatores não antrópicos e permanentes da área como parâmetros de solo (tipo, textura, condutividade elétrica), relevo entre outros. Para Molin (2001) os mapas de produtividade também são informações importantes que podem expressar a variabilidade espacial intrínseca da área e, portanto serem utilizados na delimitação das UGDs.

De acordo com Rodrigues Junior et al. (2011), uma UGD é definida como uma sub-região do campo que apresenta uma mesma combinação de fatores limitantes de produtividade e de qualidade para a qual se pode aplicar uma dose uniforme de insumos.

Para Rodrigues e Zimback (2002) e Bazzi et al. (2012a), uma vez demarcadas, as UGDs são uma alternativa para viabilizar a AP economicamente, funcionando como unidades de operação para aplicação localizada de insumos e como indicador para amostragem do solo e da cultura. Para Alba et al. (2012) a definição de UGD é fundamental para a adoção da AP, pois permite reduzir os custos das operações de campo e otimizar a gestão do empreendimento e podem ser definidas por diversos métodos. Bazzi et al. (2012b) comentam o uso de informações como produtividade, condutividade elétrica, declividade e textura do solo como atributos utilizados na definição de UGD.

De acordo com Zanão Júnior et al. (2007), a variabilidade espacial dos nutrientes pode não ser igual entre eles. Alguns nutrientes necessitam de maior número de amostras que outros para que se possa conhecer o seu comportamento em uma determinada área. Isso acontece, pois as variações nos teores dos elementos

essenciais do solo não é a mesma para todos. A partir de análises de atributos físicos e químicos do solo avaliou-se a variabilidade ao longo do tempo o que é imprescindível para o sucesso no estabelecimento de zonas de manejo.

A relação dos atributos granulométricos do solo com a produtividade das culturas já é conhecida e foi bastante estudada. A granulometria do solo apresenta baixa variabilidade temporal, o que torna este atributo um potencial elemento para delimitação de unidades de gerenciamento diferenciadas. Para caracterização da variabilidade espacial da granulometria do solo, se faz necessário à retirada de amostras compostas de solo, sendo as amostras simples coletadas no entorno do ponto de referencia (MOLIN, 2001).

Estudos conduzidos por Milani et al. (2006) relatam que em áreas onde se aplicou o manejo localizado foi observada menor variabilidade da produtividade.

Blackmore et al. (2003) destacam que na avaliação da variabilidade da produtividade se faz necessário acompanhamento e análise de mapas, considerando um histórico de várias safras e de diferentes culturas para que sejam contempladas as variabilidades temporal e espacial. Dampney e Moore (1999) sugeriram análise do histórico de desenvolvimento das culturas a fim de caracterizar a variabilidade espacial existente na área. Assim, o mapeamento de produtividade, proporcionado pelas ferramentas da agricultura de precisão (AP), destaca-se como alternativa moderna para gerenciar a variabilidade espacial e temporal de lavouras comerciais, orientando práticas de manejo (Molin, 1997; Milani et al., 2006).

Amado et al. (2007) relatam que, no Brasil, ainda são escassas as áreas que possuem um conjunto de mapas de produtividade que permitam análise da variabilidade temporal dessa variável. O mapa de produtividade produzido ao longo dos anos trata-se de uma ferramenta essencial, pois permite inferir se tanto o manejo quanto as UGDs adotadas têm refletido em resultados positivos sobre a produtividade das culturas.

2.3 Geoestatística Aplicado a Ciências agrárias

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo tem uma elevada importância no refinamento das práticas de manejo e planejamento agrícola sustentável (CAMBARDELLA et al., 1994; SOUZA et al., 2003; CORÁ et al., 2004). O que permite mensurar sobre a variabilidade espacial existente no solo é a sua dependência espacial entre as amostras, e a mesma pode ser modelada e ajustada por meio da análise geoestatística (MULLA et al., 1992; WEBSTER, 2000).

A geoestatística surgiu na África do Sul, quando Krige, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias, se não levasse em conta a distância entre as amostras (KRIGE, 1951).

Os fundamentos teóricos da geoestatística podem ser encontrados nos trabalhos desenvolvidos por Matheron (1963) e Matheron (1971). Segundo Matheron (1963), o marco inicial para o desenvolvimento da geoestatística foi devido à inabilidade da estatística clássica em considerar o aspecto espacial de um fenômeno, que constitui a feição mais importante num estudo geológico.

A Teoria das Variáveis Regionalizadas possui grandes aplicações em diversos campos das Geociências, predominantemente na cartografia de variáveis originadas de um fenômeno que tenha continuidade no espaço, bem como, na geologia mineira para a avaliação dos mais diversos recursos naturais.

As primeiras aplicações da geoestatística ocorreram na mineração (DAVID, 1970; JOURNAL, 1974), posteriormente em hidrologia (DELHOMME, 1976), até que esta técnica ganhou impulso na área da geologia, com grande aplicabilidade na ciência do solo, e passou a ser utilizada em estudos da variabilidade espacial de atributos do solo (VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985; SOUZA et al., 1997; BERG; OLIVEIRA, 2000; SILVA et al., 2004).

Mesmo com diversos autores citando a geoestatística para estudos da variabilidade dos atributos do solo a fim de auxiliar no planejamento agrícola, muitos locais ainda é realizado somente com base em estatísticas como média e desvio padrão e não assumindo a interdependência entre as amostras (SIQUEIRA, 2010c). Segundo Isaaks; Srivastava, (1989) propõem que as análises estatísticas clássicas que consideram a independência entre as amostras baseadas na média podem ser

utilizadas, mas que apresentarão maior sucesso quando associadas com análises geoestatísticas.

De acordo com Reichardt et al. (1986), a variabilidade espacial de atributos pode ser estudada por meio das ferramentas da geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis regionalizadas, por meio do semivariograma, o qual expressa a dependência espacial entre as amostras (VIEIRA, 1997).

O semivariograma é uma expressão gráfica que demonstra quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço medindo suas relações estatísticas (ANDRIOTTI, 1989; CAMARGO, 2014).

A distribuição das variáveis aleatórias $Z(x)$ e $Z(x + h)$ é demonstrada pelo semivariograma. Relembrando a condição de estacionaridade, temos que a utilização do semivariograma exige que pelo menos a hipótese intrínseca seja atendida, ou seja, exige a condição de estacionaridade mais fraca quando comparada com a autocorrelação (GUIMARÃES, 2004). Essa hipótese é a mais utilizada por ser menos restritiva (FERRAZ, 2012).

O semivariograma é uma ferramenta de suporte às técnicas de krigagem, pois permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (DRUCK et al., 2004; MOLIN et al., 2015). Segundo Oliver (2013), o semivariograma é a ferramenta primordial da geoestatística, pois indica a forma de variação de uma determinada propriedade para outro lugar.

Os semivariogramas determinam não só a dependência espacial existente, ou não, entre amostras, mas também o alcance dessa dependência (VIEIRA et al., 1981). É uma técnica que permite determinar a variância do erro que se comete ao estimar um valor em um local desconhecido.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O trabalho foi realizado em um talhão de área comercial de 49,12 ha. A propriedade foi a Fazenda Santa Hilda no município de Dourados, MS. O local situa-se em latitude de 22°17'S, longitude de 54°91'W e altitude de 460 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é um Latossolo Vermelho distroférico (EMBRAPA, 2009).

A área experimental foi conduzida por vinte anos sob sistema de semeadura direta, quando foi realizado o preparo do solo no ano de 1996, tendo como culturas de verão soja e inverno milho, em um sistema de sucessão de culturas sem revolvimento do solo.

Durante o período de execução do trabalho, elaboraram-se gráficos correlacionados a fatores climatológicos durante este período, envolvendo variáveis ligadas a precipitação pluviométrica e temperatura máxima, média e mínima durante os anos de 2014, 2015 e 2016, em que foram obtidos os dados para avaliação (soja 2014/2015; milho 2015; milho 2016). Estes dados são apresentados nas Figuras 2 e Figura 3.

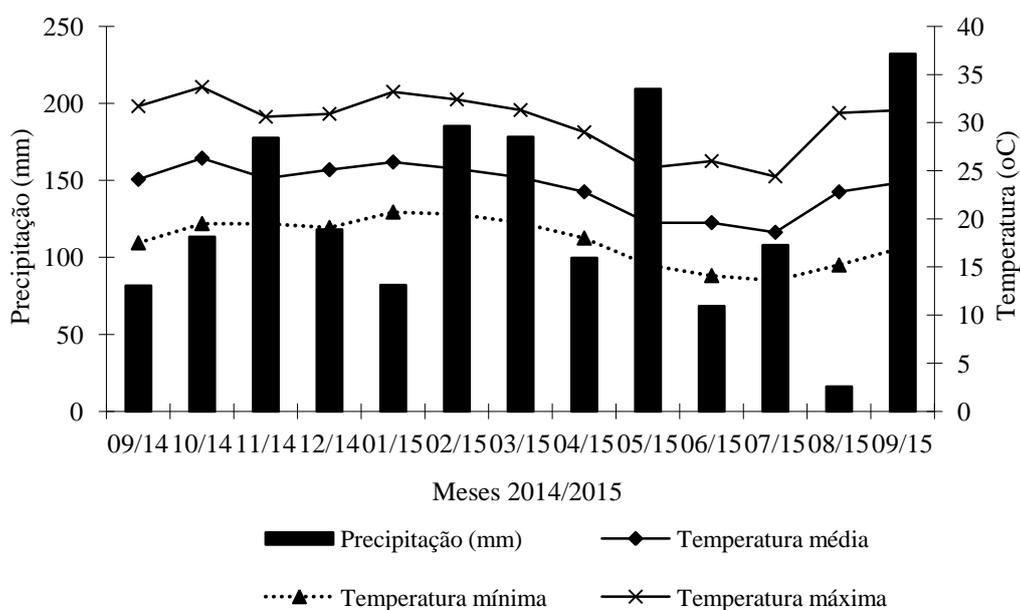


FIGURA 1. Dados meteorológicos mensais (precipitação pluviométrica e temperatura) no ano de 2014 a 2016 obtido da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste. (EMBRAPA, 2016)

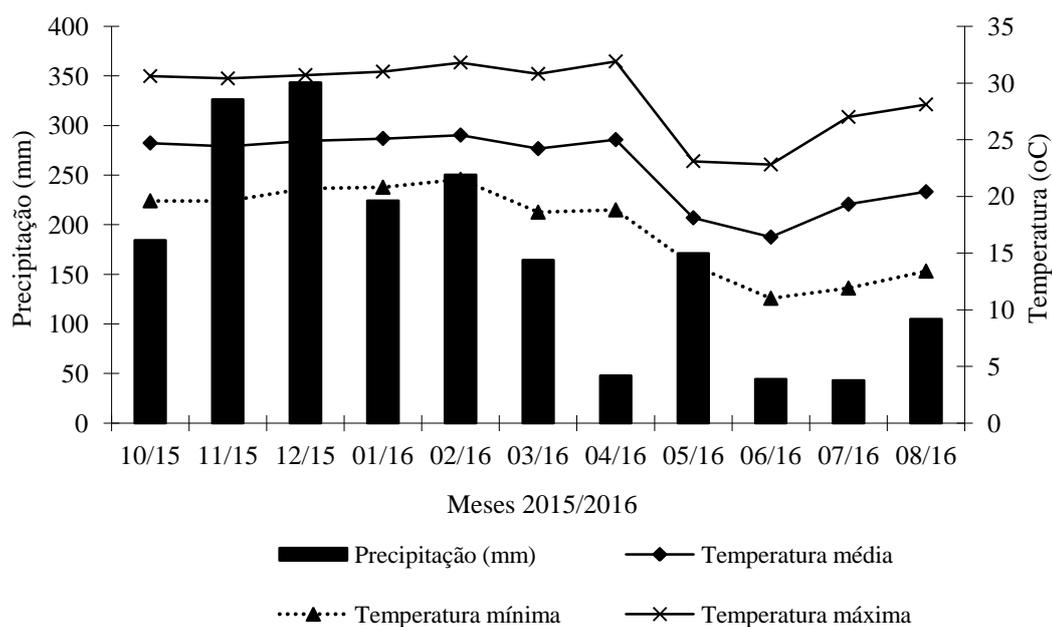


FIGURA 2. Dados meteorológicos mensais (precipitação pluviométrica e temperatura) no ano de 2014 a 2016 obtido da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste. (EMBRAPA, 2016)

Em relação ao teor de água dos grãos no processo de colheita da soja na safra 2014/2015 apresentou teor de água médio de 13,50%, e na safra do milho em 2015 15,80% e na safra de milho 2016 13,31%.

3.2 Equipamentos e insumos

Os insumos e equipamentos utilizados nos anos agrícolas avaliados estão descritos nos Quadros 2 e 3, respectivamente.

QUADRO 2. Dados dos insumos agrícolas utilizados na semeadura.

	Safra soja 2015	Safra milho 2015	Safra milho 2016
Variedade	CD 2728	DKB 315 PRO	DKB 285 PRO
Data	04/10/2014	10/02/2015	14/02/2016
Adubo (N-P-K)	2-21-00	14-16-16	13-15-15
Dose (kg ha ⁻¹)	100	200	220
KCl (kg ha ⁻¹)	100	--	--

QUADRO 3. Dados dos equipamentos agrícolas utilizados durante a condução das safras agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Equipamento	Modelo	Especificações
Semeadora	1113	12 linhas x 45 cm
Semeadora	Big Farm 15	13 linhas x 45 cm
Trator 6180J	6J	Piloto Automático ATU (AutoTrac Universal); Motor: (132,5 kW - 180 CV) 4 x 2 TDA
Trator 6260J	6J	Piloto Automático ATU (AutoTrac Universal); Motor: (191,6 kW - 260 CV).
Pulverizador Agrícola Autopropelido	4730	Tanque de solução com capacidade de 3.028 litros; Motor John Deere Power Tech, turbo alimentado de 6,8 L. (183 kW 245 CV) de potência no motor. Tamanho da barra 30,5 m.
Colhedora	S670	Motor PowerTech™ Plus John Deere; 9,0 L, (278 kW - 378 CV) de potência no motor. Sistema de trilha com rotor axial. velocidade de 4 a 6 Km/h.
Colhedora	9470 STS	Motor turbo comprimido de 6,8 L, 6 cilindros e (175,16 kW - 238 CV) de potência no motor. Sistema de trilha com rotor axial. Rotação do ventilador do sistema de limpeza, de 450 - 600 rpm, velocidade de deslocamento da máquina entre 4,0 - 6,5 km h ⁻¹ , velocidade do cilindro batedor, do sistema de trilha, variando de 380 - 800 rpm

3.3 Atributos avaliados

3.3.1 Resistência à penetração e teor de água do solo

A resistência do solo à penetração (RP) foi determinada por meio de penetrômetro da marca Falck, modelo SoloStar PLG5500, montado em um quadriciclo, marca Honda, modelo Fourtrax TRX420FM, 4WD, com sistema de transmissão de cinco marchas, refrigeração a água, injeção eletrônica e potência máxima no motor de 19,80 kW (26,9 cv) a 6250 rpm, com massa de 263 kg sem os equipamentos.

O penetrômetro eletrônico denominado de SoloStar (FALKER, 2010), modelo PLG5500, sistema automatizado para medição da resistência do solo à penetração, equipado com haste com cone tipo 2, com resolução de coleta de 10 mm e capacidade de armazenamento de 910 medições.

O amostrador de solo, denominado de SoloDrill, modelo AMS35XX, da empresa Falker Automação Agrícola (FALKER, 2013a), com sistema hidráulico acionado por motor estacionário e amostragem por broca de 7/8 polegadas que permite a amostragem do solo até a profundidade de 0,40 m.

O coletor de dados e sistema de navegação em campo utilizado foi o Fieldbox, modelo FBX3050, da empresa Falker Automação Agrícola (FALKER, 2013b), que serviu para geração do contorno da área, confecção da grade amostral com 47 pontos distribuídos na área (Figura 4) com 3 repetições por ponto em um raio de 5 m do ponto marcado para coleta no sistema.

Coletou-se dados de RP até a profundidade de 0,40 m no dia 27 de outubro de 2015, sendo avaliado a cada 0,10 m, ou seja, as camadas de avaliação foram: 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m, além de obter posteriormente o valor da RP média do perfil, a RP máxima do perfil e a profundidade da RP máxima. A resistência à penetração máxima (RP_{máx}) serve para descrever a resistência física máxima que o solo oferece a algo que tenta se mover por meio dele, Para a qualidade física, a resistência do solo à penetração é considerada a propriedade mais adequada para expressar a compactação do solo e, conseqüentemente, a facilidade de penetração das raízes. Por meio deste atributo realizam-se análises referentes à compactação do solo e por conseqüência, a recomendação de escarificação/subsolagem se necessárias.

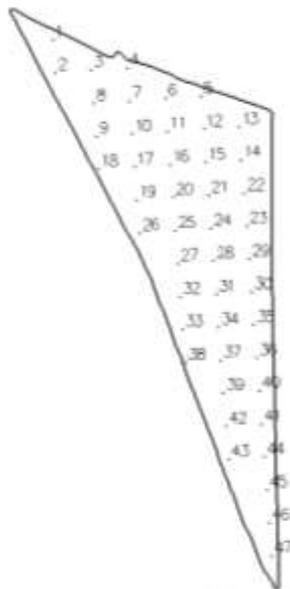


FIGURA 3. Esquema amostral para a coleta de dados de resistência à penetração.

Foram retiradas amostras deformadas de solo nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de profundidade, de modo aleatório na área, para determinar o teor de água do solo após secagem em estufa, por 24 h a 105 °C. Foi determinado pelo método gravimétrico, conforme Kiehl (1979) e Claessen (1997).

$$TMA = \frac{(MI - MII)}{(MII - TA)} \times 100 \quad (1)$$

Em que: (TMA: teor médio de água no solo em %); MI: massa úmida de solo mais o peso da lata (g); MII: massa seca de solo mais o peso da lata (g); e TA: peso da lata em (g). Com os dados apresentados no Quadro 4.

3.3.2 Atributos químicos e granulometria do solo

Para análise dos atributos químicos e granulometria do solo, devido ao índice de precipitação pluviométrica elevado no final do ano de 2015, acarretando em condições inadequadas do solo para trafegabilidade com equipamentos, realizou-se o contorno da área e adotou-se um aplicativo C7 Campeiro, com sistema de tecnologia móvel aplicado a AP desenvolvida para a plataforma Android, com rotinas de mapeamento e cálculos de áreas, registro de coordenadas geográficas de pontos linhas e polígonos em arquivos texto, o qual estrutura e edita a malha de amostragem, além de disponibilizar a localização de pontos amostrais georreferenciados. Assim, foi gerada uma malha amostral com 53 pontos distribuídos regularmente (Figura 5). Os pontos amostrais foram considerados as interseções de

linhas e colunas onde foram coletadas as amostras compostas de solo nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. A amostra composta foi formada por oito (8) sub-amostras tomadas aleatoriamente ao redor de cada ponto amostral em raio de 5 m sendo as amostras retiradas por meio de trado manual.



FIGURA 4. Esquema amostral para a coleta de dados de granulometria e química do solo.

Os atributos químicos avaliados foram: pH em água; teor de matéria orgânica (MO); teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e alumínio (Al) trocáveis; fósforo (P) disponível em Mehlich⁻¹ e acidez potencial (H+Al) e determinados segundo metodologia proposta por Claessen (1997). A partir destas determinações, foram obtidas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC), e a saturação por bases (V%); para a granulometria do solo foram avaliados a argila, silte e areia.

3.3.3 Produtividade de grãos

A produtividade foi obtida por meio do monitor GreenStar 3 2630 da colhedora 9470 STS. Os dados foram importados do monitor, utilizando um pen drive, para o programa de computador Apex para geração de relatórios e verificação do trabalho. O monitor de colheita presente na colhedora obtém as leituras da produtividade e teor de água do grão por meio de sensores instalados, sendo que o fluxo de grão ocorre por um sensor de impacto.

Foram utilizados os dados de produtividade para as safras de soja 2014/2015, milho de 2015 e milho de 2016, sendo apresentados os dados normalizados para cada safra (dados adimensionais) e um mapa composto das médias das duas safras de milho em. Para obter a camada normalizada da produtividade das safras utilizou-se a opção de composição média, em que essa opção cria um mapa composto calculando a média das camadas do mapa selecionadas do mesmo tipo de cultura (DEERE & COMPANY, 2016). A normalização dos dados foi obtida de acordo com a equação 2.

$$VN = \frac{(V - X)}{DP} \quad (2)$$

em que,

VN – valor normalizado, adimensional;

V – valor da produtividade no ponto, kg ha⁻¹

X – média da produtividade na área, kg ha⁻¹

DP – desvio padrão da produtividade. kg ha⁻¹

3.4 Análise dos dados

Os atributos físicos e químicos do solo foram analisadas por meio da estatística descritiva (VIEIRA et al., 2002), com o intuito de caracterizar as tendências de posições centrais e de dispersão dos dados, além de expressar melhor a sua distribuição. Foram estimadas as seguintes medidas: de posição (média, mediana, máximo e mínimo), de dispersão (desvio-padrão e coeficiente de variação) e a forma da dispersão (assimetria e curtose). Para a interpretação do coeficiente de variação (CV %), sendo classificado por Nogueira (2007) coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; maior que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum e 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. O ajuste à distribuição normal foi verificado pelo Teste Ryan-Joiner a 5% de probabilidade.

A geoestatística foi utilizada para analisar a dependência espacial dos atributos físicos e químicos do solo. O ajuste do modelo matemático para os semivariogramas de cada variável forneceu os parâmetros: Efeito Pepita (C0),

Patamar ($C_0 + C$) e Alcance (A). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA et al., 1983). A classificação do índice de dependência espacial (IDE) foi realizada com base na razão entre o efeito pepita e o patamar, sendo considerada forte para IDE superior de 75 %, moderada para IDE entre 25 e 75 % e fraca para IDE inferior a 25 % (CAMBARDELLA et al., 1994). A seleção dos modelos foi realizada com base na menor soma de quadrados do resíduo (SQR) e maior coeficiente de determinação (R^2).

Após o estudo da variabilidade espacial obteve a predição dos valores para os locais não amostrados por interpolação pelo método de krigagem ordinária (atributos físicos e químicos), que utilizam as informações de variabilidade espacial e os parâmetros do semivariograma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência do solo à penetração

Os dados do teor de água no solo (Quadro 4) indicam que o solo estava próximo a capacidade de campo, de modo que qualquer alteração nos valores de resistência à penetração (RP) são devido ao manejo realizado na área. Os valores médios da RP (Quadro 5) nas camadas 0,00 a 0,10 m e 0,30 a 0,40 m são classificados como baixos, e os valores correlativos as camadas de (0,10 a 0,20 m), (0,20 a 0,30 m) e RP Máxima, classificam-se como médios, conforme RIBEIRO, (2010) que estabeleceu a classificação para os valores de RP: baixo (0 a 2 MPa); médio (2 a 4 MPa); alto (4 a 6 MPa) e muito alto (acima de 6 MPa). No entanto, houve grande amplitude entre os valores máximos e mínimos, o que indica que a área em estudo precisa de um manejo diferenciado, pois há indícios de que haja pontos na área que podem vir a ser agravados futuramente.

QUADRO 4. Dados do teor de água do solo no momento de coleta da resistência à penetração

Camadas (m)	Umidade do solo (%)
0,00-0,10	29,00
0,10-0,20	25,80
0,20-0,30	27,01
0,30-0,40	28,56

QUADRO 5. Estatística descritiva para resistência do solo à penetração (MPa).

Parâmetros	Camadas (m)				Média do perfil	RPM _{Max} (MPa)	Prof. RPM _{Max} (cm)
	0,0 a 0,1	0,1 a 0,2	0,2 a 0,3	0,3 a 0,4			
Média (MPa)	0,87	2,15	2,26	1,89	1,78	2,96	20,47
DP	0,36	0,34	0,41	0,55	0,31	0,57	4,79
Variância	131,48	119,50	170,18	302,96	0,09	327,24	23,03
Mínimo	0,33	1,38	1,61	1,35	1,20	1,94	10,33
Máximo	2,11	2,9	3,67	4,41	2,76	4,70	34,00
CV (%)	41,36	16,06	18,21	28,98	17,35	19,31	23,44
As	1,34	0,21	1,30	2,84	1,12	1,20	0,26
Curtose (k)	2,10	0,19	2,67	10,53	1,68	1,69	0,82
Normalidade	<0,01 ^{NS}	>0,10*	<0,01 ^{NS}	<0,01 ^{NS}	<0,01 ^{NS}	<0,01 ^{NS}	>0,10*

*: distribuição significativa, dados assimétricos. ^{NS}: distribuição não significativa, dados simétricos. CV.: coeficiente de variação. DP: desvio padrão. As: Assimetria.

As camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m, e RP Máxima caracterizam-se com o CV como médio, entre 15 e 50% e alto acima de 50%, conforme Warrick e Nielsen (1980). Entretanto para Nogueira (2007), um 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, porém 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. Seguindo essa classificação, as camadas (0,10 a 0,20 m; 0,20 a 0,30 m; 0,30 a 0,40 m) e RP Máxima, apresentaram série homogêneas, e a camada (0,00 a 0,10 m) apresenta uma série heterogênea e a média tem pouco significado, o que é confirmado pelos valores mais altos de desvio padrão e os valores de máximos acima da média.

QUADRO 6. Dados do semivariograma, dependência espacial e validação cruzada para resistência do solo à penetração nas camadas avaliadas.

Parâmetros	Camadas (m)				Média	RPM _{Max} (MPa)	Prof. RPM _{Max} (m)
	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4			
Semivariograma							
Modelo	Esf.	Esf.	Esf	Esf	Esf	Esf	Esf
Co	0,0429	0,0523	0,0341	0,0584	0,0193	0,0764	0,0100
Co+C	0,1658	0,1396	0,1602	0,2938	0,0953	0,3238	26,32
Alcance	290,80	275,70	162,30	153,00	215,00	182,00	227,00
R ²	0,99	0,77	0,46	0,74	0,93	0,91	0,92
DC	400,98	350,98	350,98	350,98	500,98	550,98	500,98
Intervalo	80,51	50,51	80,51	65,51	100,51	100,51	100,51
Avaliador de dependência espacial (ADE)							
ADE	0,74	0,62	0,79	0,80	0,80	0,76	1,00
Classe	Mod	Mod	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte
Validação cruzada							
B	0,42	0,48	0,47	0,66	0,73	0,02	0,16
Reta	M	M	M	M	M	A	A

Co = efeito pepita; Co+C = patamar; R² = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos desvios; ADE = avaliador da dependência espacial; Mod: Moderada. B: coeficiente angular da validação cruzada, A: reta aberta (<0,4); M: reta medianamente aberta; F: reta fechada (>0,8). DC: distância de comparação.

Os semivariogramas experimentais foram ajustados aos modelos teóricos esféricos para todas as camadas buscando o maior valor do coeficiente de determinação e o menor valor da soma de quadrados dos desvios (Quadro 6). O alcance indica a distância limite entre pontos correlacionados entre si. Pontos coletados maiores que o alcance são independentes e, para sua análise, pode-se utilizar a estatística clássica (VIEIRA, 2000). Os alcances nas camadas estudadas

variaram de 891,82 até 936,49 m, nas camadas de 0,20-0,30 m e 0,10-0,20 m respectivamente, sendo o maior alcance na profundidade de RP Máxima de 954,65 m.

A partir dos modelos estimados foram gerados mapas de distribuição espacial da resistência à penetração do solo, por Krigagem ordinária, por meio da interpolação das informações geradas pelo semivariograma (Figura 6).

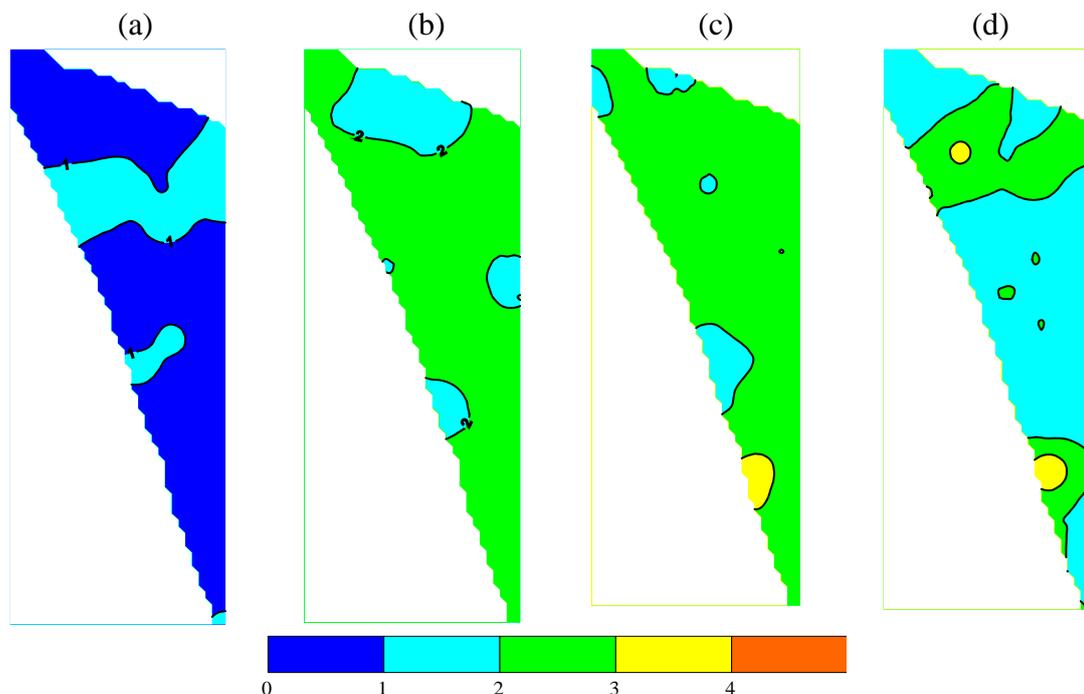


Figura 6. Espacialização da resistência do solo a penetração (MPa) nas camadas avaliadas: (a) 0,00 -0,10 m; (b) 0,10 - 0,20 m; (c) 0,20 - 0,30 m; (d) 0,30 - 0,40 m.

Verifica-se que na camada 0,00-0,10 m a resistência à penetração do solo foi abaixo de 2 MPa na maior parte da área, indicando que não há problemas de compactação na camada.

As camadas 0,10 - 0,20 ; 0,20 - 0,30 e 0,30 - 0,40 m tiveram índices similares de resistência à penetração do solo, onde a maior parte apresentou índices entre 2 a 3 MPa, sendo que estes ainda indicam condições favoráveis do solo para cultivo.

Em áreas que se aplica o sistema de semeadura direta (SSD), comumente verifica-se que os maiores valores de compactação encontram-se nas camadas intermediárias (GUEDES FILHO, 2009).

Analisando os mapas de descompactação do solo (Figura 7), verifica-se que a área encontra-se com índice de compactação baixo (RIBEIRO, 2010),

apenas uma região em cor amarela na área apresentam valores de 4,0 MPa. A partir disto, ou seja, RP ideal para o cultivo das culturas da soja e do milho implantadas em (SSD). Portanto, não há necessidade de subsolagem na área. Caso fosse necessário fazer algum tipo de remoção de camadas compactadas verifica-se que a maior parte da área está com os maiores valores de RP até 0,30 m de profundidade (Figura 7 c).

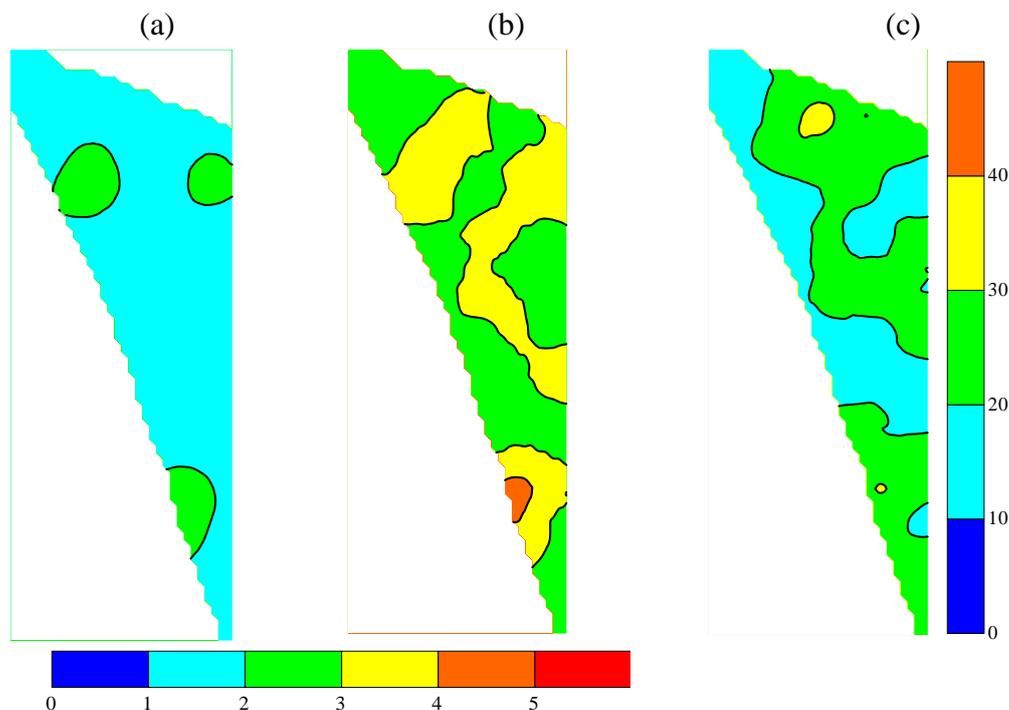


Figura 7. Espacialização da resistência (MPa) média do perfil (a), da resistência (MPa) máxima no perfil (b), e da profundidade (cm) da máxima resistência (c)

4.2 Granulometria e atributos químicos do solo

4.2.1 Granulometria do solo

A textura do solo precisa ser analisada e compreendida, pois a partir desta identifica-se fatores como estrutura, porosidade, permeabilidade, coesão e cor que estão presentes no solo avaliado. Os dados referentes à granulometria e aos atributos químicos do solo obtidos em testes feitos no laboratório de física do solo da FCA.

QUADRO 7. Estatística descritiva para a granulometria do solo, Fazenda Santa Hilda, Dourados-MS

Parâmetros	Atributos					
	Areia (%)		Silte (%)		Argila (%)	
	0-0,1 m	0,1-0,2 m	0-0,1 m	0,1-0,2 m	0-0,1 m	0,1-0,2 m
Média	19,77	37,60	29,24	26,56	50,98	35,84
DP	3,43	8,86	12,07	16,81	11,75	17,66
Variância	11,76	78,49	145,78	282,62	137,98	311,83
Mínimo	13,09	12,54	4,53	0,71	20,23	4,50
Máximo	26,84	55,33	63,88	68,11	73,31	75,35
CV (%)	17,34	23,56	41,28	63,30	23,04	49,28
As	0,06	-0,46	0,65	0,65	-0,57	0,03
Curtose (k)	-0,92	0,49	0,76	-0,19	0,31	-0,91
RJ	0,99	0,99	0,97	0,97	0,98	0,98
Probabilidade	>0,10*	>0,10*	0,041	0,058	>0,10*	>0,10*

Em relação às médias envolvendo a granulometria do solo (Quadro7), verifica-se que se trata de um solo com característica argilosa em sua camada superficial de (0-0,10 m), e apresenta uma leve tendência arenosa em camada um pouco mais profunda (0,10-0,20 m), porém com predominância argilosa em suas características texturais, aspecto típico do solo da região.

O coeficiente de variação (CV) para as variáveis analisadas indicaram médio valor de CV, na camada 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m para areia, argila, e para o silte, com exceção do silte na camada 0,10-0,20 m caracterizado como alto, segundo o critério de Warrick e Nielsen (1980), indicando alto grau de dispersão e, conseqüentemente, pequena representatividade da média.

A análise dos dados mostrou que os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero, sinal de que as variáveis apresentam distribuição próxima à normal (Tavares et al., 2012). Na granulometria nas camadas para areia e silte (0-0,0,10 m), silte e argila (0,10-0,20 m), a assimetria encontram-se maior que zero, portanto, pode ser considerada positiva.

Em relação à normalidade, na granulometria obtiveram-se os valores de $p \geq 0,05$ para areia, argila e silte na camada de 0,10-0,20 m considerado, portanto, não significativo, ou seja, dados normais, e $p \leq 0,05$ para silte na camada de 0-0,0,10 m considerado significativo.

No Quadro 8 encontram-se o efeito pepita, o patamar, o alcance, os modelos de semivariograma ajustados aos dados experimentais, bem como a relação efeito pepita/patamar e o grau de dependência espacial referentes á granulometria do

solo. Os atributos que mostraram dependência espacial como areia e silte na camada 0,0-0,10 m e areia, silte e argila na camada 0,10-0,20 m, ajustaram-se ao modelo esférico.

O alcance de um atributo garante que todos os vizinhos dentro de um círculo com esse raio sejam tão similares que possam ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles. Em relação à granulometria os menores valores de alcance foram nas camadas de 0-0,0,10 m e 0,10-0,20 m ambos para areia, e os maiores valores de alcance nas camadas de 0-0,0,10 m e 0,10-0,20 m, ambos para silte.

QUADRO 8. Dados do semivariograma para granulometria do solo, Fazenda Santa Hilda Dourados-MS

Parâmetros	Atributos					
	Areia		Silte		Argila	
	0-0,1 m	0,1-0,2 m	0-0,1 m	0,1-0,2 m	0-0,1 m	0,1-0,2 m
Semivariograma						
Modelo	Esf	Esf	Exp	Esf	Exp	Esf
Co	1,00	10,0	1130	10	7550	10,00
Co+C	1295	9656,0	15840	27830	15110	27920
Alcance	291	455	122	235	152	255
R ²	0,90	0,82	0,66	0,60	0,64	0,68
DC	502,41	502,41	502,41	502,41	602,41	502,41
Intervalo	94,47	94,47	94,47	94,47	95,47	94,47
Avaliador de dependência espacial (ADE)						
ADE	0,99	0,99	0,83	1,0	0,50	1,00
Classe	Forte	Forte	Forte	Forte	Mod	Forte
Validação cruzada						
B	1,02	0,87	0,19	-0,12	0,56	0,15
Reta	F	F	A	A	M	A

Co = efeito pepita; Co+C = patamar; R² = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos desvios; ADE = avaliador da dependência espacial; Mod: Moderada. B: coeficiente angular da validação cruzada, A: reta aberta (<0,4); M: reta medianamente aberta; F: reta fechada (>0,8). DC: distância de comparação.

Analisando a (Figura 8) referente aos mapas da granulometria do solo, verifica-se maior presença de argila nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, sendo na que na primeira encontra-se em maior parte: entre 350,00 até 600,00 g kg⁻¹, índice muito acima das análises obtidas referentes às texturas areia e silte nesta mesma camada. Na camada de 0,10-0,20 m, o valor da textura argilosa continua destacando-se em grandes proporções, porém não há predominância como na camada 0,00-0,10 m, pois o silte aparece em quantidade considerável. O silte indicou percentuais elevados onde apresentou na maior parte da camada valores entre 350,00 e

600,00 g kg⁻¹. Em vista disso, avalia-se que o solo da área possui características de textura mais argilosa, característica esta comumente vista em solos da região.

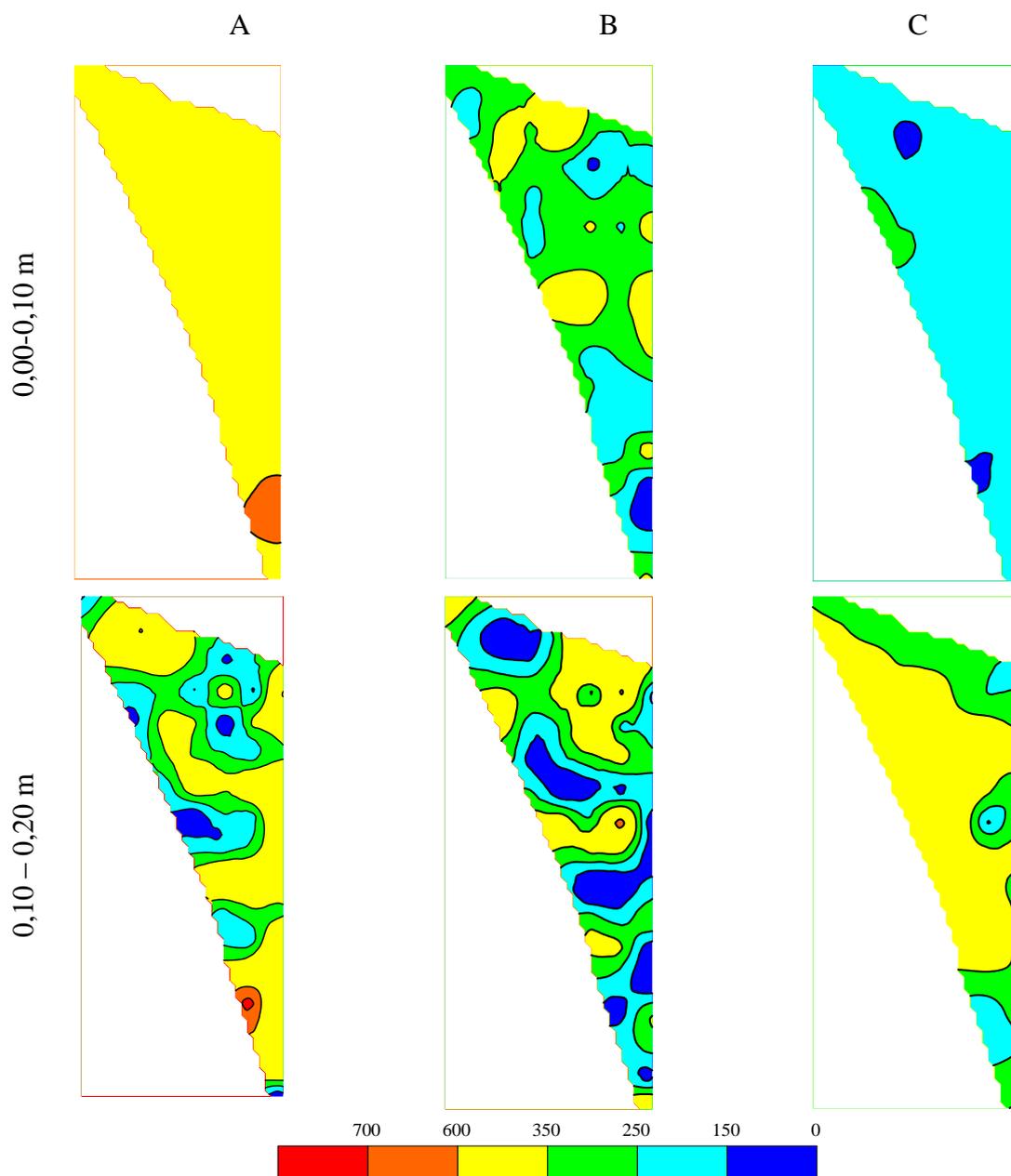


Figura 8. Espacialização da granulometria do solo (g kg⁻¹). A – argila, B – silte, C – areia.

4.2.2 Atributos químicos do solo

O conhecimento da fertilidade do solo e das necessidades nutricionais das plantas possibilita a identificação e quantificação dos nutrientes essenciais, bem como a determinação das épocas, quantidades e formas mais adequadas para o suprimento desses nutrientes para as plantas (BISSANI et al., 2004). É a

característica que mais evidencia o valor agronômico do solo, podendo ser modificada pela ação antrópica com certa facilidade para se adequar às exigências das plantas cultivadas (OLIVEIRA et al., 2014).

Para a maioria dos atributos químicos estudados, os maiores valores médios, nas duas profundidades estudadas, foram verificados na camada de 0,0-0,10 m (Quadro 9). Esse comportamento pode ser atribuído ao tipo de manejo utilizado (adubação e calagem), além da incorporação superficial dos restos culturais, o que contribui com a ciclagem dos nutrientes extraídos pelas culturas anteriores (FREITAS et al., 2015). As camadas avaliadas apresentaram mudanças na concentração de matéria orgânica (MO) no solo, onde os valores de matéria orgânica mostraram-se superiores nas camadas superficiais, o que já havia sido observado por Silva et al. (2006). Devido ao revolvimento dos solos sob cultivo, a aeração é maior, sendo a mineralização de (MO) favorecida, o que explica um maior acúmulo de restos vegetais e conseqüente acúmulo de MO no solo, principalmente nas camadas superficiais do solo (RANDO, 1981). De acordo com Portugal et al. (2010), essa redução pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo e a menores quantidades de aportes orgânicos, por este motivo torna-se interessante o SSD empregado pelo produtor, o qual sustenta boa concentração de matéria orgânica na área cultivada.

O valor mais elevado de CTC (Quadro 9) coincidiu com a camada de 0,0-0,10 m, a qual apresenta maior teor de MO, tendência também observada por (CARDOSO et al., 2011). A contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos é fundamental e foi estimada entre 56 e 82% da CTC da camada superficial de solos sob condições tropicais (RAIJ, 1981), o que favorece a retenção de cátions e diminui as perdas por lixiviação (CARNEIRO et al., 2009). Nos Latossolos brasileiros, a MO é a principal geradora de cargas negativas na superfície (SOARES et al., 2011).

Os maiores valores médios de pH verificados na área sob cultivo variaram de 6,12 a 6,37 (Quadro 9) nas camadas 0,10-0,20m e 0,0-0,10m respectivamente, ou seja, a camada mais próxima a superfície do solo, provavelmente propicia maior lixiviação pelo intenso regime hídrico, acarretando em valores mais elevados do pH (FREITAS et al., 2015).

Os valores de acidez potencial (H+Al) variaram entre as camadas. Tal valor na área foi maior na camada de 0,0-0,10 m, indicando que a diferença na acidez potencial nessa camada deve-se ao maior valor de H. Isso se explica pelo maior teor

de matéria orgânica observado nesta camada (Quadro 9), já que a matéria orgânica do solo apresenta vários grupos funcionais, especialmente os grupos carboxílicos e fenólicos, que podem liberar o H que irá compor os íons envolvidos na capacidade de troca de cátions do solo (CTC) (SOARES et al., 2011) e acidificá-lo. Segundo Cardozo (2008), os elevados teores de H+Al são decorrentes dos altos teores de carbono orgânico verificados nas áreas. Para Tibau (1984), a matéria orgânica é uma fonte de prótons H+, que tendem a acidificar os solos. Tal acidificação se reflete de modo mais acentuado nos valores de acidez extraível do que no pH do solo.

QUADRO 9. Estatística descritiva para os atributos químicos do solo.

Parâmetros	Atributos do solo									
	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Camada 0,00-0,10 m										
Média	6,37	3,56	83,24	1,06	5,37	1,92	10,19	8,35	18,16	55,57
DP	0,59	0,76	29,87	0,60	1,10	0,29	1,51	1,48	1,74	7,92
Variância	0,35	0,58	892,38	0,37	1,22	0,08	2,27	2,20	3,03	62,80
Mínimo	4,97	1,93	39,79	0,34	2,76	1,30	4,34	4,52	11,39	36,25
Máximo	7,75	5,02	175,78	3,67	8,64	2,84	11,66	11,81	20,74	70,54
CV (%)	9,36	21,43	36,29	57,03	20,61	15,55	22,56	17,75	11,57	14,26
As	-0,25	-0,16	1,21	2,18	-0,08	0,63	1,30	-0,27	0,42	-0,48
Curtose (k)	0,04	-0,69	1,53	5,90	0,77	0,90	2,16	-0,05	1,11	-0,38
RJ	0,99	0,99	0,95	0,86	0,98	0,98	0,94	0,99	0,98	0,98
Probabilidade	>0,10*	>0,10*	<0,01 ^{ns}	<0,01 ^{ns}	>0,10*	>0,10*	<0,01 ^{ns}	>0,10*	>0,10*	>0,10*
Camada 0,10-0,20 m										
Média	6,12	3,41	82,32	0,76	5,27	1,91	6,69	7,96	15,05	47,38
DP	0,81	0,64	27,31	0,22	1,23	0,36	4,09	1,59	4,48	17,69
Variância	0,66	0,41	745,74	0,05	1,51	0,13	16,73	2,54	20,14	312,80
Mínimo	4,43	1,87	48,74	0,36	2,54	1,21	0,02	4,41	6,04	24,19
Máximo	8,56	4,74	169,52	1,73	7,99	2,94	16,55	11,06	25,29	99,71
CV (%)	13,36	18,76	32,80	29,70	23,31	19,15	40,11	20,03	24,71	37,33
As	0,80	-0,21	1,09	1,72	-0,06	0,27	-1,09	-0,05	-1,35	1,90
Curtose (k)	1,11	-0,14	1,20	6,83	-0,38	-0,03	1,12	-0,52	1,89	3,44
RJ	0,97	0,99	0,95	0,90	0,99	0,98	0,94	0,99	0,92	0,87
Probabilidade	0,045	>0,10*	<0,01 ^{ns}	<0,01 ^{ns}	>0,10*	>0,10*	<0,01 ^{ns}	>0,10*	<0,01 ^{ns}	<0,01 ^{ns}

*: distribuição significativa pelo teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk). ^{ns}: distribuição não significativa pelo teste de Ryan-Joiner (Similar a Shapiro-Wilk). CV.: coeficiente de variação. DP: desvio padrão. As: Assimetria. RJ: Ryan-Joiner. Potássio (k, cmolc dm⁻³), fósforo (P, mg dm⁻³), cálcio (Ca, cmolc dm⁻³), magnésio (Mg, cmolc dm⁻³), acidez potencial (H+Al, cmolc dm⁻³), matéria orgânica (MO, %)

Os teores de P e K disponível foi maior na camada 0,10-0,20 m, porém a camada 0,0-0,10 m apresentou valor bem próximo. Os teores médios de P e K (83,24 mg dm⁻³ e 1,06 mg dm⁻³, respectivamente) para a camada 0,0-0,10 m, indica a presença de valores elevados para a cultura (RAIJ et al., 1997). Isso segue para a

camada 0,10-0,20 m, que apresentou valores de 55,64 mg dm⁻³ e 1,21 mg dm⁻³, respectivamente. Alvarez et al., (1999), em seu trabalho sobre recomendação para uso de corretivos e fertilizantes, mostram que a disponibilidade do potássio e do fósforo varia de acordo com a dinâmica das fontes desses nutrientes quando adicionados ao solo. O fósforo é considerado um elemento essencial para as plantas e se encontra em baixa quantidade nos solos brasileiros (BASTOS et al., 2008), já potássio é um dos elementos mais extraídos pelas plantas, tendo como função para a contribuição em várias atividades químicas, sendo um ativador de grande número de enzimas (MALAVOLTA, 2006).

Os teores de K, Ca e Mg variaram entre as camadas. Os teores médios de Ca, Mg e K foram maiores na camada 0,0-0,10 m (Quadro 9), exceto para o Mg que nas duas profundidades analisadas, apresentou valores praticamente iguais. Possivelmente, valores elevados desses nutrientes na área cultivada sejam devidos às aplicações de calcário e fertilizante (cloreto de potássio) anteriores à amostragem do solo. Considerados como macro nutrientes secundários, os teores de Ca e Mg foram encontrados em proporção de 5,37 e 1,92 cmolc dm⁻³, respectivamente, para a camada 0,0-0,10 m, os quais também estão classificados como nível alto (ALVAREZ et al., 1999). Valores semelhantes foram encontrados para a profundidade 0,10-0,20 m. O cálcio como constituinte do solo promove a redução da acidez do solo e melhora a resistência à toxidez provocada pelo excesso do alumínio. Já o magnésio é um constituinte da molécula de clorofila, cuja deficiência aparece com um amarelecimento entre as nervuras das folhas mais velhas (MALAVOLTA, 2006).

Os valores de SB e V% seguem a tendência dos valores descritos para K, Ca e Mg: nas camadas avaliadas, a de 0,0-0,10 m possuem maiores valores em relação camada 0,10-0,20 m (Quadro 9). À medida que se reduziu a saturação por bases, o pH também diminuiu, o que caracteriza uma elevação da acidez nas camadas (FREITAS. et al., 2015).

Verifica-se que os valores de coeficiente de variação (CV) são altos (Quadro 9), o que pode ser considerado como um dos primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (BOTEGA et al., 2013; FREITAS et al., 2015). Os elevados valores de CV verificados para alguns atributos sugerem alta heterogeneidade em torno da média entre os atributos avaliados. Referida

heterogeneidade pode ter várias causas, dentre as quais merecem destaque os processos de formação do solo e o acúmulo e distribuição das partículas do solo em função da forma do relevo e do fluxo de água na área (ARTUR et al., 2014). Além disso, segundo Carvalho et al. (2003), os resultados de análises de atributos do solo costumam apresentar valores altos de coeficiente de variação.

A variabilidade dos dados, analisada exclusivamente pelos valores do CV, apresentou-se média para todas as variáveis com exceção do pH e da produtividade em que a variação foi baixa na camada 0,0-0,10 m, de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), de baixa para $CV < 12\%$; média de $12\% < CV < 60\%$ e alta para $CV > 60\%$. Sendo assim, obteve-se baixa variabilidade para o atributo matéria orgânica, com um CV de 9,36% na camada 0,0-0,10 m, e os demais atributos foram classificados como variabilidade moderada em ambas as profundidades.

Kamimura et al. (2013) discutem que o conhecimento da variabilidade dos atributos físicos e químicos do solo é relevante para o acompanhamento de sua qualidade, tendo em vista que estão diretamente relacionados com a sustentabilidade da produção agrícola. O estudo da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo visa aperfeiçoar a aplicabilidade de corretivos e fertilizantes, reduzindo a degradação ambiental e melhorando o controle do sistema de produção das culturas (SOUZA; MARQUES JUNIOR; PEREIRA, 2004; SILVA et al., 2007; DIAS et al., 2015). Assim, no Quadro 10 observa-se o resultado da análise geoestatística com os modelos ajustados para os semivariogramas para os atributos químicos do solo em estudo nas camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidades.

Observou-se que os modelos ajustados aos atributos químicos do solo na camada de 0,0-0,10 m foram o exponencial e o esférico, já na camada 0,10-0,20 m, foram os modelos esférico, exponencial e gaussiano. Entretanto, segundo Robertson (1998), o modelo exponencial é similar ao esférico, pois ambos atingem o patamar gradualmente; todavia, difere do esférico na taxa por meio da qual o patamar é alcançado e pelo fato de que o modelo e o patamar nunca convergem. Segundo Isaaks & Srivastava (1989), os modelos exponenciais são mais bem ajustados a fenômenos erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com alta continuidade espacial, ou menos fenômenos erráticos na curta distância.

QUADRO 10. Semivariograma e validação cruzada para atributos químicos.

Parâmetros	Atributos									
	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
Camada 0,00-0,10 m										
Modelo	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp
Co	0,24	0,11	600	0,08	0,81	0,02	0,29	1,26	0,89	14,2
Co+C	0,86	0,60	1264	0,34	1,98	0,08	2,02	5,52	3,34	47,7
Alcance	2662	139	1637	139	2050	153	193	1937	127	144
R2	0,65	0,32	0,97	0,60	0,91	0,76	0,95	0,84	0,81	0,92
DC	1052	552,4	1052	552	1052	452	852	1052	652	652
I	109	96,47	109	102	102	100	100	100	95	95
Avaliador de dependência espacial										
ADE	0,72	0,81	0,52	0,77	0,59	0,79	0,86	0,77	0,73	0,92
Classe	Mod	Forte	Mod	Forte	Mod	Forte	Forte	Forte	Mod	Mod
Validação cruzada										
B	-0,16	-0,59	0,14	0,51	0,82	0,02	0,83	0,80	0,23	0,82
Classe	A	A	A	M	F	A	F	F	A	F
Camada 0,10-0,20 m										
Modelo	Esf	Esf	Exp	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp	Esf	Gau
Co	0,30	0,08	17	0,01	0,72	0,07	0,01	1,46	1,10	40
Co+C	0,74	0,42	944	0,06	3,45	0,14	21	4,93	33,2	890
Alcance	518	174	205	162	1711	341	965	1538	1414	1490
R2	0,87	0,77	0,53	0,54	0,85	0,74	0,93	0,89	0,96	0,94
DC	702	602	502	652	852	752	752	852	852	1152
I	95	95	94	102	102	102	94	102	102	102
Avaliador de dependência espacial										
ADE	0,59	0,79	0,98	0,79	0,79	0,50	1,0	0,70	0,97	0,95
Classe	Mod	Forte	Forte	Forte	Forte	Mod	Forte	Mod	Forte	Forte
Validação cruzada										
B	0,16	0,46	-0,36	-0,39	0,82	0,47	1,01	0,80	1,05	1,07
Classe	A	M	A	A	F	M	F	F	F	F
Necessidade de calagem										
	0-0,10 m					0,10-0,20 m				
Modelo	Esférico					Esférico				
Co	0,03					1,29				
Co+C	0,22					2,92				
Alcance	1244					924				
R2	0,88					0,86				
DC	652					1152,41				
I	95					102,47				
Avaliador de dependência espacial										
ADE	0,89					0,56				
Classe	Forte					Mod				
Validação cruzada										
B	0,87					1,11				
Classe	F					F				

Co = efeito pepita; Co+C = patamar; R² = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos desvios; ADE = avaliador da dependência espacial; Mod: Moderada. B: coeficiente angular da validação cruzada, A: reta aberta (<0,4); M: reta medianamente aberta; F: reta fechada (>0,8). DC: distância de comparação. I: intervalo de comparação.

Os modelos esféricos e exponenciais mostram-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo (CORÁ et al. 2004, MONTANARI et al. 2008, MOTOMIYA et al. 2011). O modelo esférico é o mais citado por pesquisadores como o mais comum em trabalhos relacionados a atributos do solo e da planta (SALVIANO et al. 1998, BERTOLANI e VIEIRA 2001, CAVALCANTE et al. 2007, LIMA et al. 2013). Sendo assim, a maior parte dos modelos ajustados demonstrou altos valores de coeficiente de determinação, expressos pelos valores de R^2 , justificando, assim, os modelos ajustados às variáveis químicas (Quadro 10).

À distância na qual a semivariância se estabiliza é considerada o alcance da dependência espacial. Os atributos químicos em estudo apresentaram diferentes alcances de dependência espacial, variando de 127 m a 2662 m (0,00-0,10 m) e 162 m a 1711 m (0,10-0,20 m) (Quadro 10).

O avaliador de dependência espacial (ADE), expresso pela razão entre o efeito pepita (C_0) e o patamar ($C_0 + C_1$), foi utilizado segundo classificação de Cambardella et al. (1994). Na área de semeadura direta, o ADE foi forte para ambas as camadas de MO, K, H+Al, e para Mg e SB na camada 0,0-0,10 m, além do P, Ca, T e V, na camada 0,10-0,20 m, sendo todos os outros atributos químicos em estudo classificados com ADE moderado (Quadro 10). Cambardella et al. (1994) cita que as variáveis que apresentam forte dependência espacial são mais influenciadas por propriedades intrínsecas do solo, ou seja, pelos fatores de formação do solo.

Nos mapas de isolinhas, pode-se visualizar na área amostrada a distribuição espacial dos atributos químicos pH, MO e P (Figura 9), K, Ca e Mg (Figura 10), H+Al, SB, CTC e pH 7,0 (Figura 11) e mapas de saturação por base e necessidade de calagem (Figura 12). Fica evidente o fato de o manejo do solo (adubação e calagem) interferir na distribuição espacial de seus atributos químicos.

Na Figura 9 estão apresentados os mapas da ocorrência dos atributos pH, MO e P, obtidos pelo método da krigagem. Levando em consideração o nível de acidez de 5,1 a 6,0 como acidez média e maior que 6,0 acidez fraca (RIBEIRO et al., 1999), observa-se que para a camada de 0,0-0,10 m predomina acidez fraca, e para a camada de 0,10-0,20 m já existe um aumento de acidez média (Figura 9b). Na classe agrônômica o pH bom se encontra de 5,5 a 6,0 e já é alto acima de 6,0 (RIBEIRO et al., 1999). Desse modo, a maior parte da área está com o pH alto.

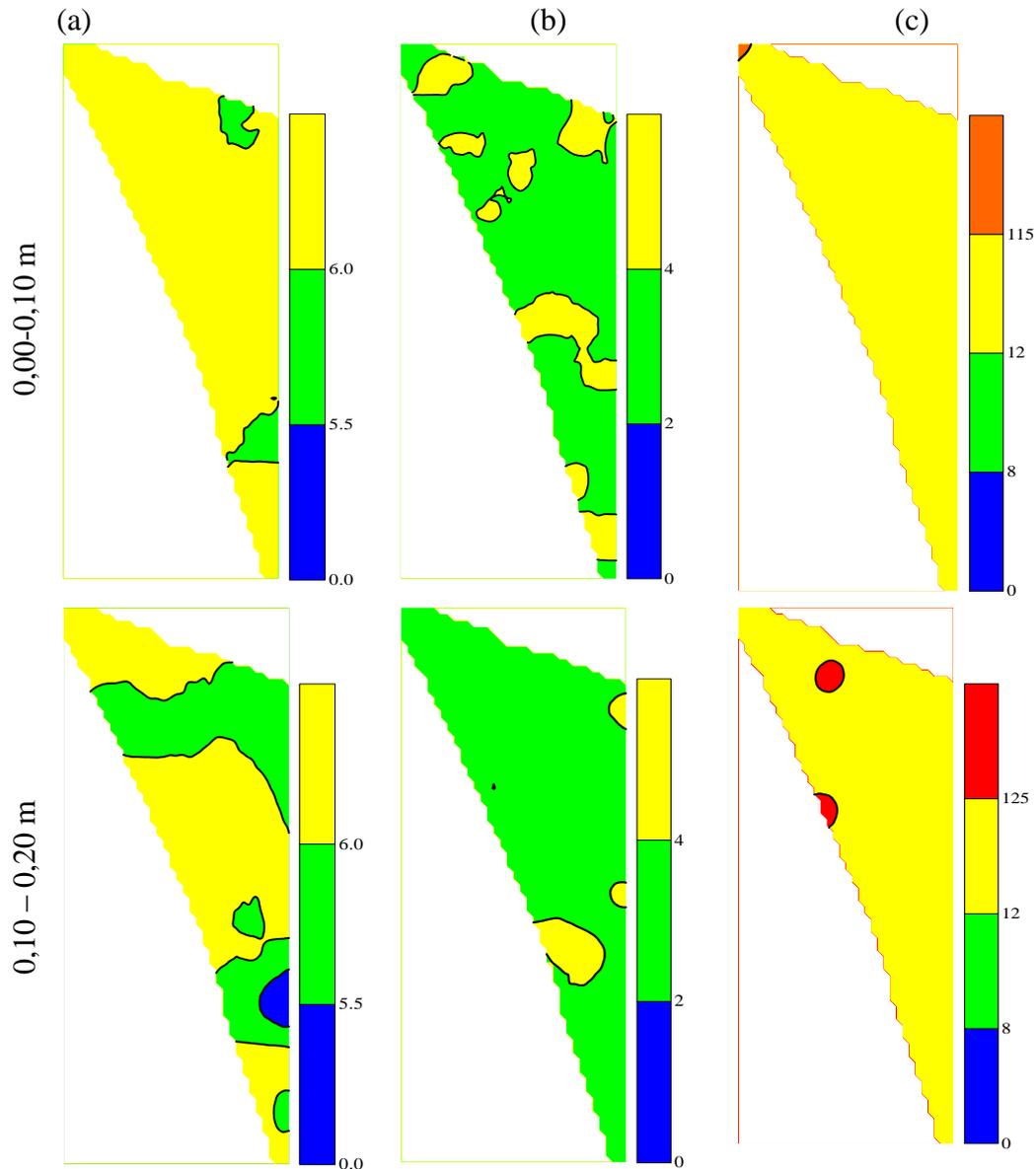


Figura 9. Espacialização dos atributos químicos do solo. A – pH, B – matéria orgânica (%), C – fósforo (mg dm^{-3}).

Observa-se que nas camadas estudadas o nível de P (Figura 9c) é elevado em toda da área (RIBEIRO et al., 1999), pois os valores de P estão acima 12 mg dm^{-3} é considerado alto.

A matéria orgânica (MO) tem o poder de influenciar positivamente nas características físicas (densidade, porosidade), químicas (liberação e fixação de nutrientes, regulação do pH, etc.) e biológica (fonte de alimento e substrato para o desenvolvimento de micro-organismos, etc.) (GUCHERT et al., 2007). A matéria orgânica (MO), em ambas as camadas (Figura 9a) apresenta valores, entre 2,0 e 4%, caracterizando o nível médio (RIBEIRO et al., 1999) e indicado pela cor verde nos

mapas, e regiões onde esse valores encontram-se mais elevados (nível bom > 4,0%) apresentados pelo amarelo nos mapas.

Na Figura 10a, para o atributo potássio (K), para as camadas de 0,0-0,10 m e 0,10-0,20 m os valores foram considerados altos, ou muito bons, por serem maior que $0,31 \text{ cmol dm}^{-3}$ (120 mg dm^{-3}) (RIBEIRO et al., 1999). O valor alto do teor de K pode ser atribuído ao modo de aplicação contínua desses nutrientes de forma mecânica e na linha de semeadura.

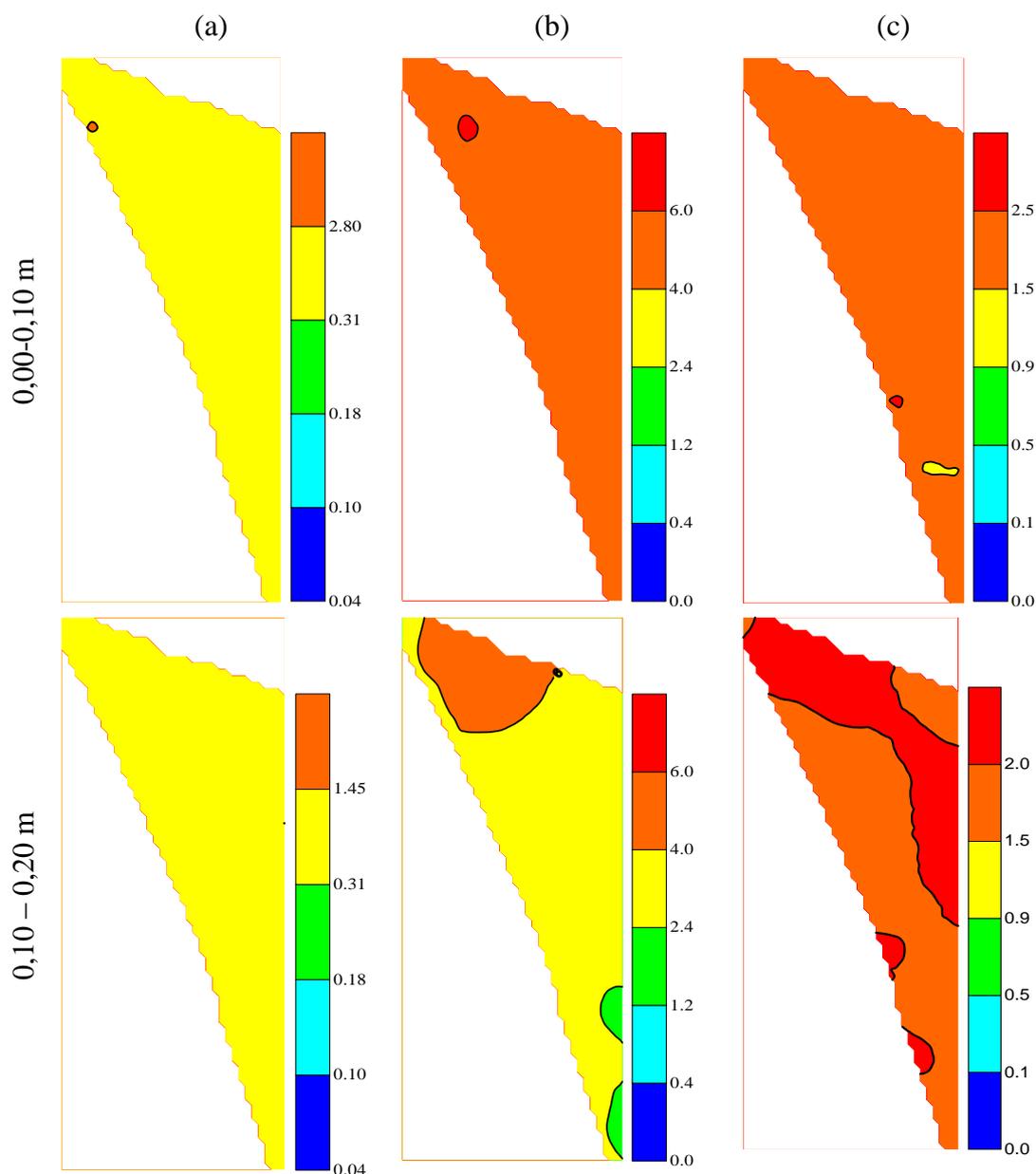


Figura 10. Espacialização dos atributos químicos do solo (cmol dm^{-3}). A – potássio, B – cálcio, C – magnésio.

Os estudos sobre as propriedades químicas do solo é representada por SANTI et al. (2012), que constataram que entre os atributos químicos, o elevado teor de K no solo é o que melhor explica a variabilidade espacial da produtividade das culturas de grãos, provavelmente em razão do desequilíbrio das relações Ca:K e Mg:K, demonstrando assim que a análise dos componentes principais dos atributos químicos e físicos do solo é estratégia eficiente para explicar a variabilidade espacial da produtividade de culturas de grãos.

Os mapas gerados para Cálcio (Ca) (Figura 10b), verifica-se a tendência de valores alto ($> 4,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$) na camada de 0-0,10 m e bom (2,0 a $4,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$) na camada de 0,10-0,20 m (RIBEIRO et al., 1999). Os mapas de Mg (Figura 10c) se mostram semelhantes e com valores altos ($> 1,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$). Sendo assim, o magnésio apresentou maior probabilidade de ocorrência de valores acima da referência, onde sua principal forma de acréscimo ao solo é por meio da aplicação de calcário, e de forma secundária em composição com fertilizantes (MALAVOLTA, 2006), devendo haver, portanto, um planejamento estratégico de manejo para adubação que seja adequado em ao sistema de semeadura de cultivo da área para que não ocorra o desequilíbrio deste atributo no solo.

A ocorrência de teores da acidez potencial (H+Al) foi nível bom (5,01 a $9,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$)(RIBEIRO et al., 1999) na camada de 0,0-0,10 m representada pela cor amarelo, porém para camada 0,10-0,20 m o nível foi considerado alto ($> 9,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$) representado pela cor laranja, além de uma parte da área apresentar um gradiente de redução da acidez potencial (Figura 11a).

Em relação à soma de bases (SB) (Figura 11b), os valores apresentados pelos mapas nas duas camadas devem-se ao fato do alto teor e ao somatório dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} chamados soma de bases trocáveis (SB) disposto na área, influenciando sobre a soma de bases (SB), ou seja, contribuindo para boa fertilidade do solo, conseqüentemente elevando a disponibilidade de nutrientes e aumentando o complexo de troca para as plantas cultivadas, no caso soja e milho (EMBRAPA, 2010). A distribuição da soma de bases (SB) apresentou valores elevados na área de estudo para as camadas onde há predominância de valores $> 6,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$.

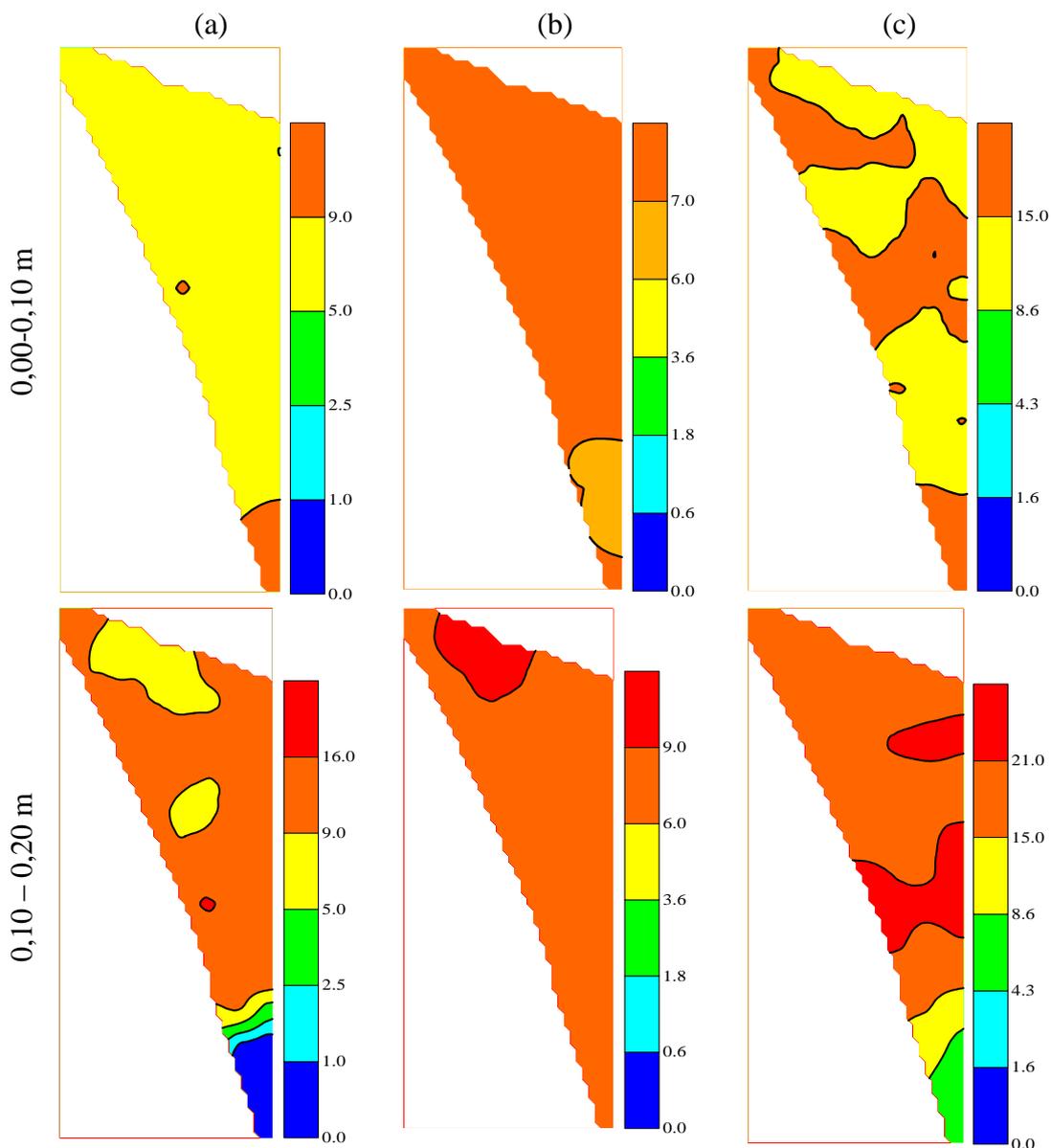


Figura 11. Espacialização dos atributos químicos do solo (cmolc dm^{-3}). A – H + Al, B – soma de bases, C – CTC a pH 7.

A CTC a pH 7 (Figura 11c), é um parâmetro utilizado para calcular a dose de calcário que poderá ou deverá vir a ser incorporada ao solo da área, visto que CTC a pH 7, dá uma idéia do potencial de bases trocáveis que o solo pode reter em forma disponível, caso sua acidez seja corrigida. A importância da CTC refere-se não só a retenção de cátions, mas também de água, além de ter direta relação com a estruturação e consistência do solo (PRADO, 2007). A CTC do solo se apresentou adequada de acordo com os níveis na camada de 0,0-0,10 m, fato este observado nos mapas de isolinhas, com predominância elevado em praticamente toda a área nas

cores amarelo (nível bom – de 8,6 a 15 cmolc dm^{-3}) e laranja (nível alto - > 15 cmolc dm^{-3}) (RIBEIRO et al., 1999) .

A saturação por bases (Figura 12a) apresentou a maior parte da área com valores na camada de 0,0-0,10 m entre 40 e 60% (nível médio) (RIBEIRO et al., 1999) e uma parte bom (60-80%), já a camada de 0,10-0,20 m observa-se a ocorrência de um gradiente de aumento a partir da cor azul claro (20%) para laranja (80%), mas ocorre também predominância da faixa de 40-60% de saturação. Nessas áreas onde há uma maior ocorrência de saturação por bases médios e altos podem ser consideradas como áreas de solos com melhor qualidade.

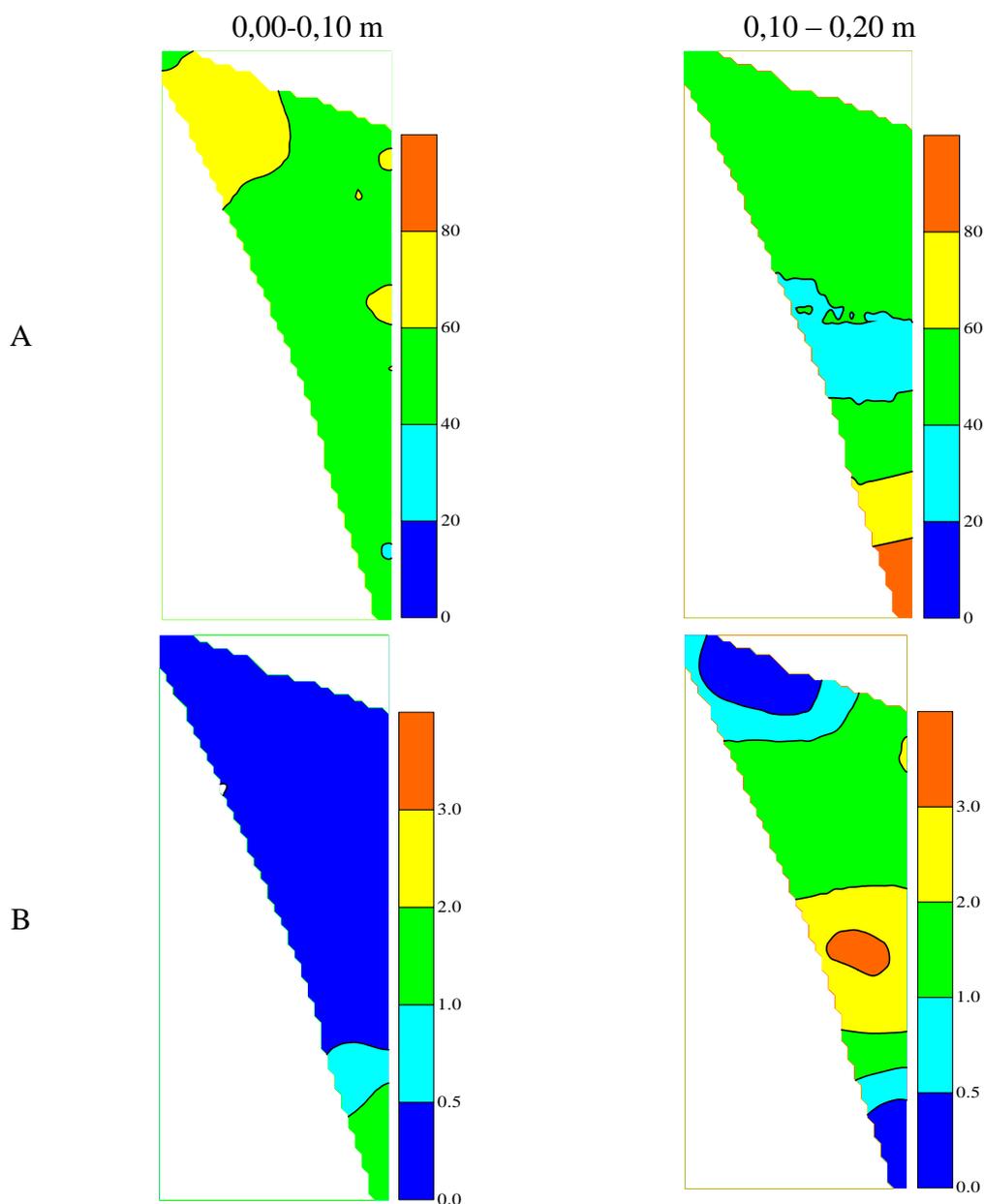


Figura 12. Espacialização da A - saturação por bases (%) e B - necessidade de calagem (Mg há^{-1}).

A saturação por bases é considerada como excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos (RONQUIM, 2010; EPSTEIN e BLOOM, 2006; KIEHL, 2008).

Com relação à necessidade de calagem (NC) (Figura 12 B) observa-se na camada 0,0-0,10 m a predominância de uma baixa dose de aplicação ($< 0,5 \text{ Mg h}^{-1}$), o que na prática não há necessidade de aplicação, e apenas uma pequena porção da área com dose de 0,5 a $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Na camada 0,10 – 0,20 m verifica-se ocorrência maiores classes de recomendação de calcário e, por consequência, heterogeneidade na sua aplicação. A aplicação de calagem considerando zonas diferentes de manejo pode contribuir para reduzir o total de calcário, diminuindo as perdas e, conseqüentemente, o custo de produção, além de evitar problemas por aplicações excessivas (LOPES, 2004).

4.3 Produtividade de grãos de soja e milho

A produtividade é um indicador de êxito ou fracasso das operações de gerenciamento, uma vez que reúne todos os fatores que influenciaram no desenvolvimento do cultivo. Sendo que, a renda da propriedade depende basicamente da quantidade e qualidade do cultivo, os mapas de produtividade tornam-se parte essencial de um sistema de agricultura eficiente (MOLIN, 2002). E o sistema plantio direto ou semeadura na palha são reconhecidos como os sistemas de manejo do solo mais importante para a sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros (SANTOS, 2015). Este sistema de práticas de manejo tem auxiliado a um aumento na produtividade das culturas, além de contribuir para a conservação dos solos (SOUZA et al., 2008).

Dos dados apresentados na Figura 13, sobre a produtividade normalizada, constatou-se que a soja em 2015 (Figura 13a) apresenta em regiões da extremidade do talhão, coloração vermelha, onde os valores atribuídos são negativos, ou seja, estes valores indicam que a produção foi abaixo da média nacional segundo dados da (CONAB 2015). Porém, pode-se observar que grande parte da área (aproximadamente 39 ha) esteve próxima a média da safra que foi $3.150,00 \text{ kg ha}^{-1}$, considerada boa produtividade, visto que a produtividade média para esta safra no

estado do Mato Grosso do Sul segundo CONAB (2015), apresentou valor de 3.060,00 kg ha⁻¹. O fato de as extremidades apresentarem valores abaixo da média pode estar correlacionado com a textura mais arenosa nestas regiões, presente nas camadas de 0,10 – 0,20 m, as quais se encontram com maior evidência nas regiões que apontam menor produtividade, pois em regiões de solo com características mais arenosas com baixos ácidos, lixiviados, em geral possuem baixos teores de magnésio (CAMPOS et al., 2012).

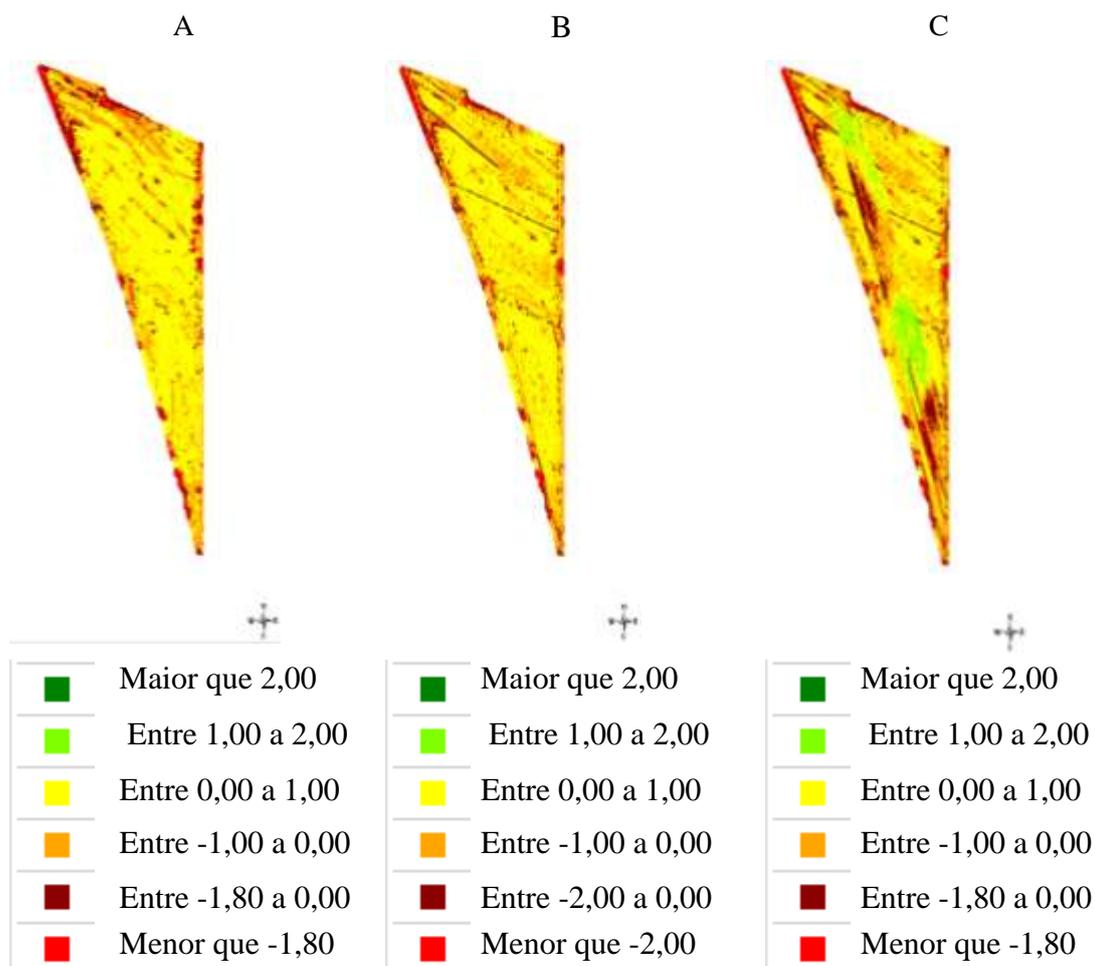


Figura 13. Distribuição da produtividade normalizada: A - soja safra 2014/2015; B - safra de milho em 2015; e C – safra de milho 2016

Em relação aos mapas da produtividade normalizada do milho em 2015 e 2016 (Figura 13b e 13 c), verificam-se disparidades de produtividades entre os anos em estudo. De maneira geral, a maior parte da área esteve na média de produtividade de 6.740 kg ha⁻¹ em 2015, e de 3.760 kg ha⁻¹ no ano de 2016. Sendo assim, analisa-se a safra 2015 como acima da média, pois segundo dados da CONAB (2015), a média do estado do Mato Grosso do Sul para a cultura do milho nesta safra foi

5.203 kg ha⁻¹, porém, em 2016 o valor ficou abaixo da média nacional, que de acordo com a CONAB (2016), a média foi de 4.791 kg ha⁻¹, o que nos remete a classificar como abaixo da média. Esta diferença de produtividade entre os anos pode ser justificado pelo estresse hídrico ocorrido no período coincidente com o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura de acordo com (SOUZA et al., 2013), no qual o índice de precipitação pluviométrico excedeu consideravelmente na safra 2016 em relação a safra 2015. Devido ao índice subsequente de precipitação, a operação de colheita foi executada tardiamente, e com teor de água do produto um pouco acima de 15,5%, onde não se considera adequado para o processo, consequentemente favorecendo as perdas e influenciando diretamente na produtividade da cultura.

Analisando o mapa composto da média da produtividade do milho nas safras 2015 e 2016 (Figura 14), verifica-se que em aproximadamente 21 ha obteve-se produtividades entre 6.000,00 e 8.400,00 kg ha⁻¹, o que corresponde a 42,75% do talhão avaliado.

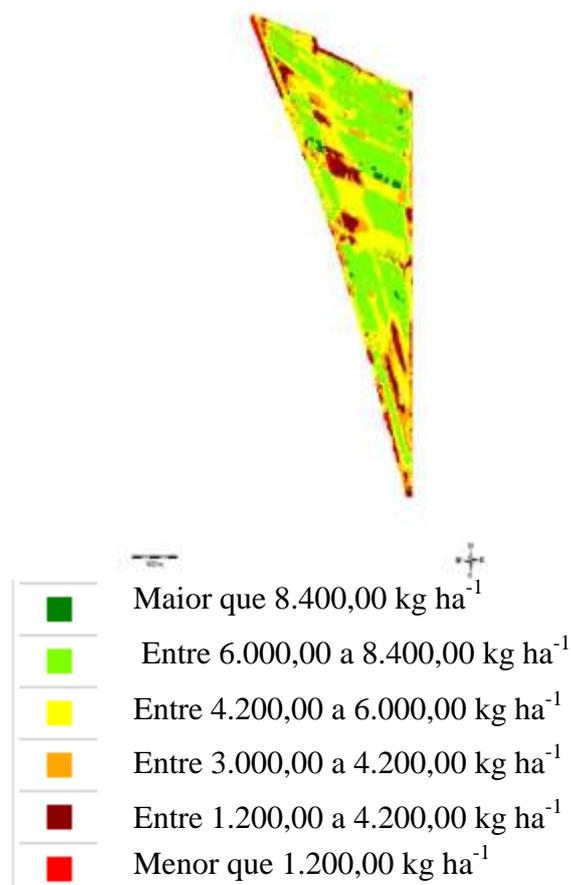


Figura 14. Distribuição da produtividade média do milho nas safras 2015 e 2016 (kg ha⁻¹).

A cultura do milho obteve produtividade considerada acima da média para o estado, sendo que a produtividade média no estado do Mato Grosso do Sul (CONAB 2015; CONAB 2016) nestas safras apresentaram valores de 5.203,00 kg ha⁻¹ e 4.79,00 kg ha⁻¹ respectivamente, ou seja, realizando uma média entre as safras a produtividade média seria de 4.997,00 kg ha⁻¹. Entretanto, poderiam ser obtidos melhores resultados, visto que a disponibilidade hídrica aquém ou além da demanda da cultura do milho, é frequentemente responsável por limitar a obtenção de elevadas produtividades (VIAN et al., 2016), pois, de acordo com RESENDE et al. (2003), o potencial produtivo da cultura é função da interação entre ambiente (solo, clima) e genética (cultivares para altas produtividades), onde, em geral, as cultivares representam apenas 40% da produção total e o ambiente é responsável por cerca de 60%.

Tratando-se de produtividade, outro fator importante a ser considerado na avaliação, segundo Carreira et al. (2013), a colheita, por ser a última operação realizada no campo e exige uma melhor qualidade e rapidez com o mínimo de perdas. Contudo, quando realizada de forma incorreta ocasiona perdas na produtividade, nos lucros e transtornos no futuro com o controle de plantas invasoras. De acordo com PINHEIRO NETO (2003) as perdas relacionadas à colheita de grãos estão diretamente relacionadas ao manejo da cultura e a experiência do operador ao operar e regular a colhedora. TABILE et al. (2008) cita ser necessário investigar as perdas durante a colheita mecânica no sistema produtivo, para obtenção de uma maior rentabilidade do produto, podendo ser feito com o emprego de alguns critérios e cuidados.

Observa-se de acordo com (Quadro 3) uma ampla variedade de regulagens da colhedora. Sendo assim, os manejos e regulagens das máquinas na execução deste processo são fundamentais para que as produtividades das culturas não se reduzam qualitativamente e quantitativamente, pois de acordo com Mesquita et al. (1998), as perdas na plataforma podem estar relacionadas com altura de plataforma em relação ao solo, condições desfavoráveis do campo, unidades de fileiras que não estão centralizadas, onde o produto são lançados fora da plataforma entre outros fatores. Venegas et al. (2012) relata que em casos de excesso de grãos quebrados ou amassados no graneleiro, as causas possíveis são: côncavo muito fechado, produto muito seco, velocidade muito alta do cilindro debulhador, produto muito úmido,

côncavo fora de nível entre outros. No caso do milho, quando as espigas não são debulhadas completamente: velocidade muito baixa do cilindro do debulhador, muita folga entre o cilindro e o côncavo. Espigas não são debulhadas completamente, causas possíveis: velocidade de avanço muito rápida, espaço muito grande entre as barras do côncavo. Um dos problemas que podem ser observados são grãos caídos no chão que podem ser causado por sobrecarregando da peneira superior.

De acordo com Ferreira et al. (2007) no caso da soja, deve ser dada atenção especial ao posicionamento do molinete em relação à barra de corte e à velocidade do molinete. Se esta for excessiva, ocorrerão muitos impactos sobre as plantas, resultando em quebra dos ponteiros com a conseqüente queda de vagens e grãos no chão. Em termos práticos, de acordo com Toledo et al., (2008) a velocidade do molinete deve ser um pouco superior à de deslocamento da colhedora pela lavoura; isso é percebido quando, ao se observar de lado a colhedora em operação, tem-se a impressão que o molinete puxa a colhedora e “patina” suavemente sobre as plantas de soja. Em termos percentuais, a rotação do molinete deve ser correspondente a 15% a 20% acima da velocidade da colhedora.

Silva et al. (2013) relatam em relação às perdas durante a trilha, que estas podem ocorrer no cilindro batedor ou nas peneiras que separam os grãos da palha. Essas perdas são mínimas quando comparadas com aquelas da plataforma de corte, entretanto podem trazer prejuízos consideráveis à produção de sementes. Em condições de elevada umidade dos grãos, em torno de 20%, as perdas no sistema de trilha podem ser altas uma vez que os grãos, não sendo separados das vagens, retornam ao campo.

5 CONCLUSÕES

Entre os atributos físicos estudados, a resistência a penetração apresentou dependência espacial nas camadas avaliadas, evidenciando que a mesma sofre alteração e que sua variabilidade pode ser alterada de acordo com o manejo empregado.

A granulometria do solo apresentou dependência espacial com ajustes do semivariogramas aos modelos esféricos e exponenciais, sendo os maiores alcances encontrados para a camada 0,10-0,20 m. Os atributos da textura variaram espacialmente de forma significativa nas duas profundidades avaliadas.

Para os atributos químicos estudados, todos apresentaram dependência espacial, entre moderada e forte.

Apesar dos valores estarem bons para a produção agrícola, os mesmos se encontraram presentes no solo de forma excessiva, o que pode ocasionar perda de produtividade.

Um manejo diferenciado seria o ideal na área de estudo, afim de minimizar os impactos na produtividade, causado pelo excesso de nutrientes presentes.

Os mapas de produtividade evidenciaram a produção ao longo das safras de milho/soja nos anos de 2015/2016 respectivamente, evidenciando as mesmas em camadas compostas normalizadas a fim de compreender melhor a resposta de cada cultura de acordo com os atributos físicos e químicos em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIAN, A. M.; NORWOOD, S. H.; MASK, P. L. Producers perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 48, n. 3, p. 256-271, 2005.
- ALBA, J. F.; FLORES, C. A.; MIELE, A. Definição das zonas de manejo com base nas características do solo em viticultura de precisão: Estudo de caso no Vale dos Vinhedos, Bento Gonçalves, RS. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBEA, 2012.
- ALMEIDA, A. C. S.; PINTO, M. F.; SALVADOR, C. A.; MOLIN, J. P. Métodos para a definição de unidades de gestão diferenciada. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2014, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2014.
- ALVAREZ, V. V. H.; GUIMARÃES, P.T.G.; RIBEIRO, A.C. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUI-MARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. cap. 5, p-30-35.
- 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, 2007.
- ANDRIOTTI, J. L. S. Introdução à geoestatística. **Acta Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 11, n. 27, p. 5-81, 1989.
- ARAÚJO, M. A. TORMENA, C. A. INOUE, T. T. COSTA, A. C. S. Efeitos da escarificação na qualidade física de um latossolo vermelho distroférico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.495-504, 2004.
- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 141 - 149, 2014.
- BASTOS, A. L.; COSTA, J. P. V.; SILVA, I. F.; RAPOSO, R. W. C.; SOUTO, J. S. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 136 - 142, 2008.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; KONOPATSKI, M. R.; OPAZO, M. A. U.; RODRIGUES, F. A. Unidades de Manejo em Pomar de Peras. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBEA, 2012a.
- BAZZI, C. L.; SOUZA, E. G.; OPAZO, M. A. U.; CARNIELETTO, J. C.; ROCHA, D. M. Software Para Definição e Avaliação de Unidades de Manejo em Agricultura

de Precisão In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão. 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBEA, 2012b.

BERG, M.V.D.; OLIVEIRA, J.B. Variability of apparently homogeneous soils capex in São Paulo state, Brazil: I. Spatial analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.377-391, 2000.

BERTOLANI, F. C.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da taxa de infiltração de água e da espessura do horizonte A, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 987-995, 2001.

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre, Gênese, 2004.

BLACKMORE, B. S.; GODWIN, R. J.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. **Biosystems Engineering**, v. 84, p. 455-466, 2003.

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, v. 44, n. 1, p. 1 - 9, 2013.

CAMARA, R. K, KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v35, n.4, p.813-819, 2005.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRA, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. Toposequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 3, p. 387 - 398, 2012.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2015.

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

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal sul-mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 613 - 622, 2011.

CARDOZO, S. V.; PEREIRA, M. G.; RAVELLI, A.; LOSS, A. Caracterização de propriedades edáficas em áreas sob manejo orgânico e natural na região serrana do estado do Rio de Janeiro. **Semina**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 517 - 530, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147 - 157, 2009.

CARREIRA, A.S.; D'EPIRO, G. A.; TANAKA, E.M. Perdas na colheita mecanizada de milho (*Zea mays* L.) na região de Cândido Mota e Pedrinhas Paulista. In: Encontro de Mecanização em Agricultura de Precisão, 4, 2014, Pompéia, SP. Anais... Pompeia: FATEC, 2013. Disponível: <http://fatecpompeia.edu.br/fatec/publicacoes/Anais2013_EncMAP.pdf>. Acesso em: 27 Janeiro 2017.

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, n. 4, p. 695 - 703, 2003.

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 Solo**, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: Manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 249-290, 2003.

CONAB (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2014-2015**. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_11_14_07_48_boletim_graos_marco_2015.pdf>. Acesso em: Out. 2016.

CONAB (COMPANIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – Safra 2015-2016**. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_11_10_09_11_06_boletim_graos_novembro_2015.pdf>. Acesso em: Jan. 2017

COLAÇO, A. F.; POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; ROMANELLI, T. L. Energy assessment for variable rate nitrogen application. **CIGR Journal**, Gainesville, v. 14, n. 3, p. 85-90, 2012.

COLAÇO, A. F. **Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo de quatro safras**. Piracicaba, 2012.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 06, p. 1013-1021, 2004.

DAMPNEY, P.M.R.; MOORE, M. Precision agriculture in England: current practice and research-based advice to farmers. In: International Conference On Precision Agriculture, 4., 1998, St. Paul. **Proceedings**. Madison: American Society of Agronomy, 1999. p.661-673.

DAVID, M. The geostatistical estimation of porphyry-type deposits and scale factor problems. In: Pribam Mining Congress, Praga. **Proceedings**. Praga, p.91-109, 1970.

DEERE & COMPANY. **Apex: software para gerenciamento de fazendas**. [S.L.], 236p. 2016.

DELHOMME, J.P. **Kriging in hydrosciences**. Fontainebleau, Centre D'Informatique Geologique, p.94, 1976.

DIAS, M. J.; ALVES, S. M. F.; REIS, E. F.; OLIVEIRA, D. G.; Probabilidade de ocorrência dos atributos químicos em um latossolo sob plantio direto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 181 – 189, 2015.

DUARTE, J. de O.; GARCIA, J. C.; MIRANDA, R. A. de. **Mercado e comercialização**. In: CRUZ, J. C. (Ed.). Cultivo do milho. 7.ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 1). Disponível em: <<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 18 set 2016.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, p.412, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Embrapa monitoramento por satélites. **Boletim Técnico, Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento**. Campinas-SP: Embrapa, 8p, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. 1.ed. Londrina, Embrapa Soja, p.349, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Expansão Potencial da Produção de milho 2ª safra no Brasil no Sistema de Sucessão Soja-Milho Considerando o Zoneamento de Risco Climático 2014/2015**. 1.ed. Sete Lagoas, MG, Embrapa Milho e Sorgo, p.124, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Guia Clima 2014/2016**. Dourados, MS, Estação Meteorológica, Embrapa Agropecuária Oeste, 2016.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Componentes Inorgânicos de Plantas**. In: EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. *Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas*. 2 ed. Londrina: Editora Planta, 2006. v.1, cap. 3, p. 41-65.

FALKER. PenetroLOG PLG5500- Medidor Eletrônico de Compactação do Solo 2010. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/download.php>>. Acesso em 24 out 2016.

FALKER. Modelo AMS35XX- Amostrador Solodril 2013a. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/download.php>>. Acesso em 24 out 2016.

FALKER. Modelo FBX3050- Amostrador Solodril 2013b. Disponível em: <<http://www.falker.com.br/download.php>>. Acesso em: 24 out 2016.

FAMASUL. Disponível em: <http://famasul.com.br/artigos_interna/alimentar-o-mundo/44870/>. Acesso em: 20 out 2016.

FERRAZ, G. A. S. **Cafeicultura de precisão: malhas amostrais para o mapeamento de atributos do solo, da planta e recomendações**. 2012. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FERREIRA, I. C.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Perdas quantitativas na colheita de soja em função da velocidade de deslocamento e regulagens no sistema de trilha. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.15, n.2, 141-150, 2007

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, V. M. R. Atributos Químicos de Latossolo Vermelho Submetido a Diferentes Manejos. **Floresta**, Curitiba, v.45, n. 2, p. 229-240, 2015.

GARCIA, R. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. Embrapa Agropecuária Oeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.12, p.1489-1498, 2010.

GOOGLE. **Google Maps**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 24 out de 2016.

GUCHERT, J. A.; ROUSSENQ NETO, J. **Conservação e uso do solo**. Indaial: Ed. Grupo UNIASSELVI, p. 23-27, 2007.

GUEDES FILHO, O. **Spatial and temporal variability of crop yields maps and of soil properties under a no tillage system**. 2009. 97p. Dissertation (MSc in Tropical and Subtropical Agriculture) – Post Degree Course – IAC.

GUIMARAES, E. C. **Geostatística básica e aplicada**. Universidade Federal de Uberlândia, v. 1, p.78, 2004.

IBGE. **Produção agrícola municipal** 2015. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/>>. Acesso em: 19 set 2016.

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

JOURNEL, A.G. Geostatistical for conditional simulation of orebodies. **Economic Geology**, v.69, p.673-687, 1974.

KAMIMURA, K. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 877-888, 2013.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Organominerais**. 4. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008. 160 p.

KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems **Journal of Crop Production**, Philadelphia, v. 9, p.361-381, 2003.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**. v.52, p.119-139, 1951.

LANDAU, E. C.; CRUZ, R. K. M. da; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P.; SOARES, G. P. **Perfil espaço-temporal da produção de milho no Brasil entre 1999 e 2010**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p.55, 2012. il. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 47).

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Interpretação de análise do solo - conceitos e aplicações. ANDA - Associação Nacional para Difusão do Adubos - **Boletim Técnico**. N. 2.ed. revisada. 2004.

MALAVOLTA, E. Funções dos Macro e Micronutri-entes. In: MALAVOLTA, E. (Ed.). **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. cap. 4, p. 124-402.

MANN, K. K.; SCHUMANN, A. W.; OBREZA, T. A. Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production, tree growth and temporally stable soil data. **Precision Agriculture**, Secaucus, v. 12, 4, p. 457-472, 2010.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Les Cahiers du Centre de Mofologie mathématique. Fas. 5. C. G. Fontainebleau, 1971.

MATHERON, G. **Principles of geostatistics**. Econ. Geol., 58:1246-1266, 1963.

MESQUITA, C. de M; COSTA, N. P. da; MANTOVANI, E. C.; ANDRADE, J. G. M. de; NETO, J. B. F.; SILVA, J. G. da; FONSECA, J. R.; PORTUGAL, F. A.F.; GUIMARÃES SOB°, J. B. **Manual do produtor**. Embrapa. Londrina, Paraná. 1998. Disponível: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/206695/1/doc112.pdf>>. Acesso em: 27 Jan 2017.

MILANI, L.; SOUZA, E. G.; URIBE-OPAZO, M. A.; GABRIEL FILHO, A.; JOHANN, J. A.; PEREIRA, J. O. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá v.28, p.591-598, 2006.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão, parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.17, p.97-107, 1997.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, p.83, 2001.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n.1, p.83-92, 2002.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de Precisão**, 1 ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOLIN, J.P.; VEIGA, J. P. S. Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, p. 347-355, 2016.

MONTANARI, R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JR, J.; SOUZA, Z.M.; PAZETO, R.J. & CAMARGO, L.A. Variabilidade espacial de atributos químicos em Latossolo e Argissolos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1266-1272, 2008.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; VIEIRA, S. R. Spatial variability of soil properties and cotton yield in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 996-1003, 2011.

MULLA, D.J.; BATÍ, A.U.; HAMMOND, M.W.; BENSON, J.A. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.38, n.2, p.301-311, 1992.

PINHEIRO NETO, R.; TROLI, W. Perdas na colheita mecanizada da soja (Glycine Max (L.) Merrill), no município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá. v. 25, no. 2, p. 393-398, 2003.

NOGUEIRA, M. C. S. **Experimentação agrônômica I**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, p.463, 2007.

OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C; AQUINO, R. E.; SIQUEIRA, D. S.; FREITAS, L. Spacial variability and sampling density of chemical attributes in archaeological black earth and native forest soil in Manicoré, AM. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 735-746, 2014.

OLIVER, M. A. **An overview of Precision agriculture**. In: OLIVER, M. A.; BISHOP, T. F. A.; MERCHANT, B. P. Precision agriculture for sustainability and environmental protection. Abingdon, oxon, UK: Routledge. p. 01-58, 2013.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión Del Lago de Valencia. **Agronomia Tropical**, Maracay, v.44, n.1, p.41-65, 1994.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 575 - 585, 2010.

PRADO, H. **Pedologia Fácil Aplicações na Agricultura**. Piracicaba. 1.ed. p.105, 2007.

RAIJ, B. V. **Mecanismos de interação entre solos e nutrientes**. In: RAIJ, B. V. Avaliação da fertilidade do solo. Instituto da Potassa e Fosfato, Piracicaba, 1981, p. 17 - 31.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RANDO, E. M. **Alterações nas características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo distrófico, ocasionadas pelo cultivo convencional**. 161 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1981.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S.R.; LIBARDI, P.L.. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Rev. Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v.10, n.1, p.1-6, 1986.

RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. **Cultura do milho irrigado**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003, 317p.

RIBEIRO, C. A. **Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas em função do número de cortes da cana-de-**

açúcar (*Saccharum officinarum*). Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, p.69, 2010.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais**, 1999. 359 p. (5ª Aproximação).

ROBERTSON, G.P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell, Gamma Design Software, 1998, 152p.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. Delimitação de zonas de manejo por meio da análise e classificação de mapas de produtividade de milho e soja. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 17, n. 1, p.44- 61, 2002.

RODRIGUES JUNIOR, F. A.; VIEIRA, L. B.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T. Geração de zonas de manejo para cafeicultura empregando-se sensor SPAD e análise foliar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.778–787, 2011.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, 2010, 26 p.

SANTI, A. L., AMADO, T. J. C., CHERUBIN, M. R., MARTIN, T. N., PIRES, J. L., DELLA FLORA, L. P., BASSO, J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitante à produtividade de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1346-1357, 2012.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.115-122, 1998.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.399-406, 2004.

SILVA, G. R.; SILVA JÚNIOR, M. L.; MELO, V. S. Efeitos de diferentes usos da terra sobre as características químicas de um Latossolo Amarelo do estado do Pará. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 2, p. 151 - 158, 2006.

SILVA, F. M; SOUZA, Z. M; FIGUEIREDO, C. A. P; JÚNIOR, J. M; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, abr. 2007.

SILVA, F. C. S., **Mensuração direta do Ph do solo em campo por meio de eletrodos íon-seletivos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, ESALQ, Piracicaba.

SILVA, R. P; CASSIA, M. T; VOLTARELLI, M. A; COMPAGNON, A. M; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.

SIQUEIRA, D.S. **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010c.

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, M. S.; MORAES, M. I. M. Nutrição mineral de espécies nativas em solos do Cerrado. In: Barbosa, L. M.(Ed.). **Restauração ecológica: desafios atuais e futuros**. São Paulo: Instituto de Botânica - SMA, 2011, p. 147 - 154.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T.. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de uma latossolo em Jaboticabal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.486-495, 2003.

SOUZA, L. S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R.. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.21, n.3, p.367-372, 1997.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G.T.; MOREIRA, L.F. Influência da pedofoma na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Irriga**, Jaboticabal, v.9. n.1, p.1-11, 2004.

SOUZA, E. D. CARNEIRO, M.A.C.BANYS, V.L. Fitomassa e acúmulo de nitrogênio, em espécies vegetais de cobertura do solo para um Latossolo Vermelho distroférico de Cerrado. **Acta Sci. Agron.**, Maringa, v. 30, n. 4, p. 525-531, 2008.

SOUZA, A. P.; MOTA, L.L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C.C.; ALMEIDA, F.T.; PAULINO, J. Classificação Climática e Balanço Hídrico Climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v.1, n.1, p.34-43, 2013.

TABILE, R.A; TOLEDO, A. de; SILVA, R. P.da; FURLANI, C. E.A; GROTTA, D. C. C; CORTEZ, J. W. Perdas na colheita de milho em função da rotação do cilindro trilhador e umidade dos grãos. **Scientisa Agraria**, Curitiba, v.9, n.4, p.505-510, 2008.

TAVARES, U. E.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MAGALHÃES, A. G. e BARRETO, M. T. L. Variabilidade espacial de atributos físicos e mecânicos de um Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.11, p.1206-1214, 2012.

TIBAU, A. O. **Matéria orgânica do solo: matéria orgânica e fertilidade do solo.** São Paulo: Nobel, p.172,1984.

TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; MAGALHÃES, S. C.; Costa, B. O. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Revista Engenharia Agrícola.** Jaboticabal, v. 28, n.4, 2008.

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

VENEGAS, F.; GASPARELLO, A. V.; ALMEIDA, M. P. Determinação de perdas na colheita mecanizada do milho (*Zea mays* L) utilizando diferentes regulagens de rotação do cilindro trilhador da colhedora. **Ensaio e Ciências: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde.** v. 16, n. 5, Ano 2012. P. 43-55.

VIAN, A. L.; SANTILL, A. L.; AMADO, C. T. J.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M.; BREDEMEIER, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. **Ciência Rural,** Santa Maria, v.46, n.3, p.464-471, 2016.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C. & REYNOLDS, W. D. **Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data.** In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, J. M. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, p.1-45, 2002.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). Tópicos em ciência do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 1, p.1-53, 2000.

VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R.; TOPP, G. C. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia, Oakland,** 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.6, p. 1040-1048, 1981.

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

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field.** In: HILLEL, D. Environmental soil physics. New York: Academic, p.655-675, 1980.

WARRICK, A. W.; NIELSEN D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: HILLEL, D., 1.ed. Applications of soil physics. New York, Academic Press, p.319-344, 1980.

WEBSTER, R. Is soil variation random? **Geoderma**, v. 97, n. 03/04, p. 149 - 163, 2000.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Fortaleza, v. 37, p.1000-1007, 2007.