UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Cristieli Raldi

CORRELAÇÃO ENTRE DECLIVIDADE DO TERRENO E FERTILIDADE DO SOLO PARA A AGRICULTURA DE PRECISÃO

Erechim–RS

2013

CRISTIELI RALDI

CORRELAÇÃO ENTRE DECLIVIDADE DO TERRENO E FERTILIDADE DO SOLO PARA A AGRICULTURA DE PRECISÃO

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI - Campus de Erechim, como parte das exigências para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Prof. Msc. Leandro de Mello Pinto

Erechim-RS
2013

CRISTIELI RALDI

CORRELAÇÃO ENTRE DECLIVIDADE DO TERRENO E FERTILIDADE DO SOLO PARA A AGRICULTURA DE PRECISÃO

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI - Campus de Erechim, como parte das exigências para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Agrícola e obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: 27 / 06 / 2013

Banca Examinadora:

_____ _____

Prof. Msc. Marcos A. Z. Palma
URI-Erechim

Prof (a). Msc. Franciele R. de Quadros
URI-Erechim

_____

Prof. Msc. Leandro de Mello Pinto
URI-Erechim

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida.

À Universidade Regional integrada do Alto Uruguai e das Missões URI – Campus de Erechim pela oportunidade de realizar este curso que foi tanto sonhado e agora realizado.

A todos os professores(as) que ministraram aula durante esses 5 anos, e colaboraram com meu crescimento pessoal.

Em especial agradecer ao professor Leandro de Mello Pinto, pela orientação, confiança, paciência e incentivo na busca de novos conhecimentos, muito importante para a minha formação.

A Brigida DallaVecchia e ao professor Sergio Enrique Mosele, pela atenção, orientação, carinho, e incentivo para continuar meus estudos.

À minha mãe Ivanir Salete, pelo apoio, força, amor, carinho, incentivo e orações muitas orações que muito me fortaleceram e me deram ânimo nesta caminhada. A meu pai Altair pela força, incentivo e apoio.

A minha irmã Cristina e meu cunhado Diego, pelo apoio, incentivo e entusiasmo, e ao meu namorado Darlan por todo carinho, dedicação, proteção e incentivo.

A todos meus colegas Alceni Santa Catarina, Gilnei Renato Bau, Jonas Dieder, Marco Antônio Fochi e Tiago Parmigiani, pelo companheirismo, carinho, amizade, durante esses cinco anos que passamos juntos.

RESUMO

A fertilidade é uma das maiores preocupações dos agricultores, tem como ser observada por pequenas amostragens de solo e enviadas a laboratórios, após analisadas podem ser utilizadas para um melhoramento na lavora juntamente com a agricultura de precisão que facilita na distribuição dos insumos nos lugares onde a uma maior necessidade, para uma melhor visão de distribuição de insumos. São confeccionados mapas digitais do terreno, que feitos por meio de interpolação de dados obtidos por topografia que formam uma grade de pontos regular ou irregular, representando a superfície do terreno, utilizados em software dos monitores nas máquinas, onde são interpretados e empregados nas aplicações de insumos. O objetivo deste trabalho foi correlacionar as diferentes declividades do terreno com a fertilidade do solo, observando se a uma variação significativa de nutrientes em relação a declividades acentuadas. Após feito os mapas digitais da fertilidade verificou-se que nos nutrientes analisados, ouve uma correlação negativa entre declividade do terreno e fertilidade do solo, onde a uma maior declividade foi encontrado uma menor concentração de nutrientes.

Palavras-chave: Modelagem digital do terreno; Geoprocessamento; Fertilidade.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Significados dos valores de r.....28
TABELA 2 – Valor das correlações.....28
TABELA 3 – Correlação entre altitude e fertilidade do solo.....34

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Um exemplo de interpolação linear.....20
FIGURA 2 – Representação das amostras coletadas.....21
FIGURA 3a – Cidade de Erechim (RS) e FIGURA 3b – Delimitação da Área. 24
FIGURA 4 – Fotografia da Estação Total Utilizada. 25
FIGURA 5 – Fotografia da coleta de solo utilizando trado holandês. 26
FIGURA 6 – Modelo digital da área experimental 30
FIGURA 7 – CA^2 (Cálcio) 31
FIGURA 8 – K (Potássio) 31
FIGURA 9 – Mg^2 (Magnésio).....32
FIGURA 10 – MO (Matéria Orgânica) 32
FIGURA 11 – P (Fósforo).....32
FIGURA 12 – pH (Potencial de Hidrogênio).....33
FIGURA 13 – AL^3 (Alumínio).....33
FIGURA 14 – Concentração de Nutrientes do solo (CTC/base) 33
FIGURA 15a – Mapa de Declividade e FIGURA 15b – Nível de fertilidade do solo..34

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9

2 OBJETIVOS 11

2.1 OBJETIVO GERAL 11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 11

3 REVISÃO DE LITERATURA 12

3.1 FERTILIDADE DO SOLO 12
3.1.1 Matéria Orgânica (MO) 13
3.1.2 Potencial de Hidrogênio (pH) 14
3.1.3 Fósforo (P) 14
3.1.4 Potássio (K) 15
3.1.5 Cálcio (Ca) 15
3.1.6 Magnésio (Mg) 16
3.1.7 Alumínio (Al^3) 16
3.1.8 Saturação da CTC por Bases 17
3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO 17
3.3 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À AGRICULTURA DE PRECISÃO 18
3.4 INTERPOLADORES ESPACIAIS 20
3.5 MODELAGEM DIGITAL DO TERRENO 21

4 MATERIAIS E MÉTODOS 24

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO 24
4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS 24
4.2.1 Dados Obtidos por Topografia Convencional 24
4.2.2 Coleta das Amostras de Solo 25
4.3 ELABORAÇÃO DO MDT E DOS MAPAS GEORREFERENCIADOS 26
4.3.1 Modelo Digital do Terreno 27
4.3.2 Mapas de Fertilidade 27
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA 27

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 30

5.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO 30
5.2 MAPAS DE FERTILIDADE 30

6 CONCLUSÃO 35

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36

1 INTRODUÇÃO

Desde a década de 80 a aplicação de insumos já era utilizada em pequenas áreas, feita manualmente, mas com o passar do tempo e o aumento das áreas isso ficou praticamente impossível. Com o avanço das tecnologias, hoje temos condições de fazer aplicações localizadas com Agricultura de Precisão (AP), que é uma das ferramentas mais modernas para a produção agrícola, tem condições de aplicar no momento certo a quantidade adequada para cada local, assim tendo condições de diminuir custos, indicar erros e aumentar a produtividade.

A AP que iniciou em São Paulo em 1997, frequentemente baseado no uso de dados obtidos com auxílio de satélites tem objetivo de aumentar a eficiência das lavoras, com manejo diferenciado levando a um manejo eficiente dos fatores de produção associados às condições de diversidade de uma área agrícola, aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada com a habilidade em monitorar a atividade agrícola, e diminuindo os danos causados ao meio ambiente.

O mapa de fertilidade é importante para obtermos informações do solo, ajudando num melhor manejo e distribuição de insumos onde à deficiência, com uma redução de custos. Os recursos tecnológicos disponíveis ao sensoriamento remoto têm viabilizado avanços consideravelmente importantes, através, do desenvolvimento de sensores e softwares que permitem a obtenção de dados de forma rápida e prática.

A agricultura exige o uso de fertilizantes em quantidade adequada, identificando fatores limitantes e avaliando a possibilidade existente no solo, assim adaptando as praticas de adubação a cada lavora.

Segundo (RAIJ, 1991) a agricultura moderna exige o uso de corretivos e fertilizantes em quantidade adequada, que permitam conciliar o resultado econômico positivo com a preservação dos recursos naturais do solo e meio ambiente com aumento da produtividade, a fertilidade do solo é uma sub decisão da ciência do solo que trata da nutrição de plantas cultivadas no sistema solo planta.

A busca por informações altimétricas vem tornando o uso de modelos digitais de elevação (MDE) essencial para o mapeamento e monitoramento da superfície terrestre contribuindo numa melhor observação da condição do solo e dando um

bom melhoramento nos mapas de produtividade. Através da técnica de modelagem digital, é possível representar superfícies através de amostras. Essas amostras devem ser interpoladas para se obter uma grade regular ou triangular. O modelo digital será formado por uma grade com valores de elevação (z) regularmente espaçada (em x e y), referenciada a um sistema de coordenadas.

O uso de técnicas de agricultura de precisão, aliado à gestão adequada da propriedade rural, traz uma nova perspectiva ao agronegócio, importante fonte de renda e emprego.

O objetivo deste trabalho é gerar uma Correlação entre Declividade do Terreno e Fertilidade do Solo para a Agricultura de Precisão, indicando onde à uma maior deficiência em adubação em relação a declividade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a influência da declividade do terreno sobre a fertilidade do solo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Elaborar um modelo digital do terreno da área estudada.
b) Elaborar um mapa de fertilidade do solo.
c) Correlacionar a declividade do terreno com a fertilidade do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 FERTILIDADE DO SOLO

O solo é definido como a correlação de corpos naturais ocorrendo na superfície da terra, contendo matéria viva e suportando ou sendo capaz de suportar e nutrir as plantas (BERTONI, et al. 1999).

O mapeamento da fertilidade do solo é de grande importância para se obtenção de um suporte quantitativo no balanço nutricional do solo (WHITE e ZASOSKI, 1999).

A agricultura moderna exige o uso de corretivos e fertilizantes em quantidade adequada, que permitam conciliar o resultado econômico positivo com a preservação dos recursos naturais do solo e meio ambiente com aumento da produtividade, a fertilidade do solo é uma sub decisão da ciência do solo que trata da nutrição de plantas cultivadas no sistema solo planta (RAIJ, 1991).

O conhecimento da variação de atributos químicos é importante para o levantamento e manejo do solo, planejamento de esquemas de amostragem e gerenciamento de práticas agrícolas. A variabilidade dos atributos químicos do solo são alguns dos possíveis responsáveis pela influência na oscilação da produtividade. Antes de buscar qualquer relação destes elementos com a cultura, é importante avaliar a extensão e a intensidade da dependência espacial desta variação, isoladamente ou em conjunto com outros parâmetros (GANDAH et al., 2000).

No caso de uma área cultivada, existem outras fontes de variabilidade no solo devidas ao manejo exercido pelo homem, como o cultivo em linhas e a consequente aplicação localizada de fertilizantes (JOHNSON et al., 1996; SOUZA et al., 1998).

No sistema plantio direto (SPD) a adoção de certas práticas de manejo (aplicação superficial uniforme do calcário, ausência de revolvimento do solo, adubações em superfície, a lanço ou nas linhas de semeadura, bem como o acúmulo superficial dos resíduos das culturas usadas em sucessão e/ou rotação ao longo dos anos) alteram a variabilidade dos atributos químicos do solo em relação ao sistema convencional, tanto vertical quanto horizontalmente, dessa forma, a

variabilidade é fundamental para o estabelecimento do correto manejo da fertilidade do solo (ZANÃO JÚNIOR *et al*., 2010).

A variabilidade espacial dos nutrientes pode não ser igual entre si, alguns nutrientes necessitam de números maiores de amostras que outros, para que se possa conhecer o seu comportamento em relação a uma determinada área. Uma maneira de solucionar estes problemas seria a adoção de métodos geoestatísticos para avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo (DEUTSCH & JOURNEL, 1998).

Campos et al. (2009) reforçam que o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo auxilia no manejo preciso das atividades agrícolas por meio de separação de ambientes, práticas adequadas de adubação e alocação de variedades.

Os mapas de fertilidade do solo ajudam no estabelecimento de estratégias para aplicação localizada de insumos em determinadas gleblas de terra. As estratégias de amostragem são importantes para mapear a variabilidade espacial dos solos, pois só a partir de sua modelagem é possível gerar mapas mais consistentes e com precisão. Assim, o estudo dos aspectos da amostragem do solo, a fim de subsidiar a tomada de decisão para a utilização e recomendação destas técnicas em ambientes distintos, tem sido preocupação constante dos pesquisadores (GROENIGEN et al., 1999; LARK, 2000).

É crescente o interesse da comunidade científica, agricultores e instituições governamentais em obter um índice de qualidade do solo, para auxiliar na avaliação de terras em relação à degradação e ao potencial produtivo, fazer estimativas de necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgar práticas de manejo utilizadas, a fim de monitorar as mudanças na sustentabilidade e na qualidade ambiental (HUFFMAN et al., 1998).

3.1.1 Matéria Orgânica (MO)

A matéria orgânica do solo consiste em resíduos de plantas e de animais em fase de decomposição. Os níveis adequados são benéficos ao solo de várias formas: (1) melhoram as condições físicas; (2) aumentam a infiltração de água; (3) melhoram o solo para preparo; (4) diminuem as perdas por erosão; (5) fornecem

nutrientes para as plantas (Associação brasileira para pesquisa da potássio e do fosfato).

Através dos ácidos fúlvicos, a matéria orgânica aumenta a CTC do solo proporcionando uma maior retenção de cátions, como K, Ca, Mg, evitando que sejam lixiviados, e suprindo as plantas de nutrientes, através da solução do solo. A MO, através dos resíduos vegetais que cobrem o solo, forma uma barreira ao impacto das águas da chuva, evitando enxurradas e protegendo-o contra a erosão causada por elas. As minhocas, as raízes mortas, que compõem a MO do solo, faz com que apareçam túneis que facilitam o escoamento da água. A MO, através dos ácidos húmicos, oxálico e málico, age na disponibilização de fósforo (P) para as plantas (BRAGA, 2010).

3.1.2 Potencial de Hidrogênio (pH)

O termo pH define a acidez ou alcalinidade relativa de uma substância. A escala de pH cobre uma amplitude de 0 a 14. Um valor de pH igual a 7,0 é neutro, valores abaixo de 7,0 são ácidos e acima de 7,0 são básicos. O pH da maioria dos solos produtivos varia de 4,0 a 9,0. O pH do solo é influenciado por vários fatores, incluindo: matéria orgânica, precipitação, decomposição da matéria orgânica, vegetação nativa, tipo de cultura, profundidade do solo, adubação nitrogenada e inundação.(Associação brasileira para pesquisa da potassio e do fosfato).

A acidez do solo afeta o crescimento das plantas de várias formas sempre que o pH é baixo a acidez é alta, um ou mais efeitos detrimentais podem afetar o crescimento das culturas. Para fins práticos, considera-se a faixa de ph entre 6,0 e 6,5 adequada para maioria das plantas no Brasil (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

3.1.3 Fósforo (P)

O fosforo é essencial para o crescimento das plantas e nenhum outro nutriente pode substituí-lo. A planta precisa do fósforo para completar seu ciclo normal de produção. O fósforo atua na fotossíntese, na respiração, no

armazenamento, na transferência de energia, na divisão celular, no crescimento das células e em vários outros processos da planta (Associação brasileira para pesquisa da potássio e do fosfato).

O fósforo ajuda as raízes e as plântulas a se desenvolveram mais rapidamente, aumentando a resistência aos rigores do inverno, melhora a eficiência do uso da água, favorece a resistência as doenças em algumas plantas, acelera a maturidade (Associação brasileira para pesquisa da potássio e do fosfato).

3.1.4 Potássio (K)

O potássio é vital para fotossíntese. Quando o teor de potássio é deficiente, a fotossíntese diminui e a respiração das plantas aumenta, essencial na síntese proteica, importante na formação de frutos, melhora a tolerância ao frio reduz danos por doenças e pragas (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

O processo de abertura e fechamento dos poros das folhas das plantas, chamados estômatos, é controlado pela concentração de potássio nas células que circundam os estômatos. Uma falta de potássio faz com que os estômatos se abram apenas parcialmente e se fecham mais lentamente, isso aumenta o estresse causado pela seca (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

O potássio tem grande impacto na qualidade da cultura, inclusive aumentando o peso das sementes e o número de sementes por espiga no milho, melhorando o teor de óleos e proteínas na soja (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

3.1.5 Cálcio (Ca)

O cálcio estimula o desenvolvimento das raízes e das folhas, é essencial ara o desenvolvimento de vagens, ajuda indiretamente a produção, melhorando as condições para o desenvolvimento das raízes, estimulando a atividade microbiana e aumenta a disponibilidade de molibdênio e a absorção outros nutrientes, é exigido em grandes quantidades pelas bactérias fixadoras de nitrogênio (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

O pouco crescimento do sistema radicular é um sintoma comum da deficiência de cálcio. As raízes deficientes em cálcio geralmente escurecem e apodrecem, as folhas deficientes tem um aspecto gelatinoso nas pontas das folhas e nos pontos de crescimento (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

3.1.6 Magnésio (Mg)

O magnésio é o átomo central na molécula da clorofila e, assim, ele está envolvido ativamente na fotossíntese. O magnésio também ajuda no metabolismo do fosfato, na respiração da planta e na ativação de vários sistemas enzimáticos (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

Quando a relação Ca-Mg torna-se muito alta, as plantas podem absorver menos magnésio. Isso pode ocorrer quando o agricultor usa somente calcário por muitos anos, em solos relativamente pobres em magnésio. Os solos geralmente contém menos magnésio do que cálcio, porque o magnésio não é absorvido tão fortemente pelas argilas e matéria orgânica e, consequentemente, é mais sujeita a lixiviação (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

3.1.7 Alumínio (Al^3)

A atividade de Al^3 aumentara continuamente abaixando o ph do solo, se não for feita a calagem adequada. A grande maioria dos solos ácidos do Brasil apresenta a CTC com dominância de Al^3. Consequentemente nestas condições, a porcentagem de saturação por cálcio, magnésio e potássio é muito baixa (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

Os solos da região tropical, o alumino e o ferro estão presentes nos minerais da argila que são estáveis a valores de ph tão abaixo como ph 5,0. O alumínio é “enterrado” nas estruturas da argila e somente torna-se toxico para as plantas quando os óxidos e a caulinita dissolvem a uma faixa de ph menores que 5,0 a 5,3. Neste caso, a toxidez de alumínio pode ser corrigida por calagem par atingir um 5,5 a 6,0, causando precipitação do Al trocável como hidróxido de alumínio e ao mesmo

tempo, causando um aumento apreciável na capacidade de troca de cátions. Consequentemente, sugere-se que as recomendações de calcário para estes solos sejam feitas com base no teor de alumínio trocável presente na camada superficial dos mesmos (Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato).

3.1.8 Saturação da CTC por Bases

A fração de CTC ocupada pelos cátions de reação básica representa a porcentagem das cargas do solo neutralizadas por cátions de reação básica, denominada saturação por bases (valor V), sendo calculada por:

$$V = \left(\frac{Ca + Mg + K}{CTC}\right) 100$$

S = soma dos cátions de reação básica (Ca + Mg + K) em cmol⁄dm³ (Sociedade Brasileira de Ciência).

3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão é o conjunto de técnicas e procedimentos que permite conhecer, localizar geograficamente e delimitar áreas de diferente produtividade, através do emprego da informática, programas específicos, sensores, controladores de máquinas e sistema de posicionamento global GPS (CAMPO, 2000a).

Para Doerge (1999) a agricultura de precisão é controlar e colecionar informações agronômicas para prover necessidades atuais de partes de campos em lugar de necessidades comuns para campos inteiros. Aplicação de insumos em locais específicos comumente usada dividindo-se os campos inteiros em zonas de manejo menores, homogêneas.

Segundo Umezu (2003), o termo "Agricultura de Precisão" é utilizado para descrever o uso de tecnologias avançadas, buscando a redução dos custos de produção. Conforme diversos autores, a agricultura de precisão pode ser dividida em

três grandes etapas: a coleta de dados, com o objetivo de mapear a variabilidade espacial e temporal do campo; a análise de dados e tomada de decisões e na aplicação localizada de insumos agrícolas.

A AP tem como principal conceito aplicar no local correto, no momento adequado, as quantidades de insumos necessários à produção agrícola, para áreas cada vez menores e mais homogêneas, tanto quanto a tecnologia e os custos envolvidos o permitam (DODERMANN & PING, 2004).

A agricultura de precisão tem por objetivo aumentar a eficiência do manejo de técnicas agrícolas, sendo tecnologia em desenvolvimento que modifica técnicas existentes e incorpora novas tecnologias (BISCARO & GARZELLA, 2006).

Recentemente, com a expansão da AP no Brasil, tem sido possível a geração de mapas da distribuição espacial da produtividade das culturas, permitindo relacionar a qualidade do solo com a produtividade das culturas em áreas de lavouras comerciais (AMADO et al., 2007).

Para se praticar a Agricultura de Precisão é necessária à existência de um sistema de posicionamento que permita a localização georreferenciada com acurácia em todos os pontos da área a ser trabalhada (QUEIROZ et al., 2000).

A agricultura de precisão, por seu grau de complexidade, exige investimentos expressivos de recursos materiais e humanos, e necessita de tempo para consolidação. Esses investimentos, eventualmente, poderão apresentar benefícios de curto prazo, porém, os resultados só se manifestarão a longo prazo (BORGELT et al., 1994; DeBOER, 1996).

3.3 GEOPROCESSAMENTO APLICADO À AGRICULTURA DE PRECISÃO

Geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de dados para produzir informação geográfica. O ArcGIS é um ferramenta do geoprocessamento projetada, entre outras inúmeras funções, para criar dados de elevação de superfície e exibí-los em três dimensões, criar e analisar dados geográficos.

Cria modelos de superfície de dados de elevação, tais como curvas de nível, pontos de GPS, ou pontos oriundos de topografia convencional. Ele também pode montar imagens e características vetoriais sobre superfícies, calcular declives,

volumes e áreas de superfície, criar linhas de contorno, e determinar a visibilidade de qualquer ponto sobre uma superfície (KENNEDY, 2009 apud PINTO 2012).

O ArcGIS utiliza o método de interpolação, incorporado no módulo Topogrid, conserva as características locais do relevo sem perder a continuidade do entorno, ou seja, considera de uma forma ampla toda a tendência global da superfície para gerar a elevação de um determinado ponto. Através de uma técnica iterativa de grade ou “grid” variável, a qual considera parâmetros e tolerâncias definidos pelo usuário e características do relevo, ocorre a convergência para o valor de altitude da célula (MIRANDA, 2005 apud PINTO 2012).

Além do ArcGis, um dos aplicativos de informações espaciais mais conhecidos e difundidos no mundo todo é o Google Earth, que permite visualizar imagens de satélite da superfície da Terra. Lançado em 2005 e liberado ao público em 2006 pela empresa Google, o programa rapidamente se tornou popular, como uma ferramenta de fácil acesso e extremamente útil para profissionais da área de Geoprocessamento e de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) assim como para a comunidade geral (PINTO, 2012).

O Google Earth forma mosaico de imagens de satélite e de fotografias aéreas. Como as imagens variam de um a cinco anos, há alguma variação na qualidade das imagens e algumas áreas podem aparecer borradas, sem cor ou cobertas de nuvens. Com o recurso de sobreposição de camadas, o programa disponibiliza detalhes como, por exemplo, estradas, fronteiras e visualização altimétrica do terreno (PINTO, 2012).

O aplicativo representa o planeta através de um modelo chamado Globo Digital ou Globo Virtual que é um modelo 3D simulado que possibilita a livre visualização do ambiente virtual representativo do planeta. Ele mostra a superfície dos continentes e dos oceanos sob uma projeção chamada Perspectiva Geral. O ponto perspectivo para esta projeção está localizado a uma distância finita, fazendo com que o usuário observe a Terra, situado a milhares de quilômetros, a poucos metros acima da superfície ou até mesmo abaixo do nível do mar, com resolução espacial de 90 metros e erro médio de das altitudes é de 5 a 10 metros. As informações altimétricas são espaçadas em aproximadamente 1 pé (BRANDALIZE, 2007 apud PINTO 2012).

Devido ao fácil acesso, à interface intuitiva, à velocidade de obtenção e transmissão de dados e à interação com outros programas de geoprocessamento, o

Google Earth tem se destacado como o programa de informações geográficas com maior número de usuários em todo o planeta, pois é utilizado não só pela comunidade acadêmica, mas também pela comunidade em geral (PINTO, 2012).

3.4 INTERPOLADORES ESPACIAIS

Em um *raster* (imagem) temático, as amostras dos fenômenos, são utilizadas para estimar os valores das células desconhecidas no modelo. Este processo é chamado de interpolação, e é usado para criar modelos de fenômenos mensuráveis, tais como elevação, chuva, poluição do ar, profundidade da neve, ruído e contaminação (KENNEDY, 2009 apud PINTO 2012).

Na Figura 1, o ponto no centro se encontra a meio caminho entre dois valores conhecidos, 3 e 5, de modo que o seu valor será estimado em 4, aproximadamente.

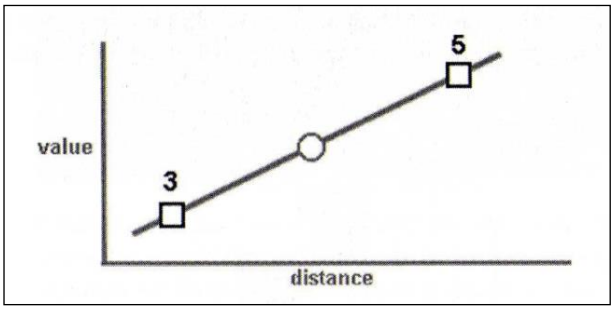

FIGURA 1 – Um exemplo de interpolação linear.
Fonte: Kennedy, 2009.

Interpolar valores através de uma superfície é mais complicado do que estimá-los ao longo de uma linha reta. Na Figura 2, uma superfície de elevação foi interpolada a partir de um conjunto de pontos. Cada ponto representa um local onde a elevação foi medida. A quadrícula resultante é uma previsão do que a elevação é em qualquer localização na superfície real. Quanto mais pontos forem coletados, maior será a precisão do modelo (KENNEDY, 2009 apud PINTO 2012).

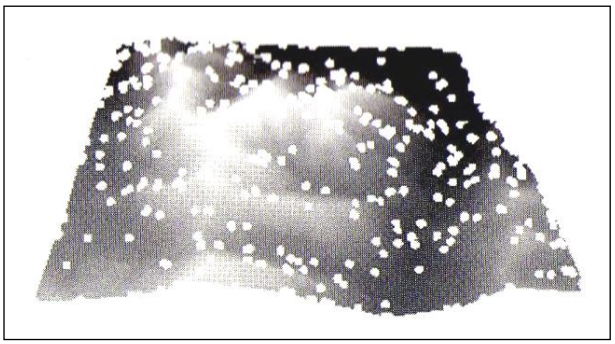

FIGURA 2 – Representação das amostras coletadas.
Fonte: Kennedy, 2009.

3.5 MODELAGEM DIGITAL DO TERRENO

Modelo digital do terreno (MDT) é uma representação estatística da superfície contínua do terreno por um grande número de pontos selecionados com conhecimento das coordenadas X, Y, Z em um sistema de coordenadas conhecido. O termo MDT apareceu pela primeira vez em 1958, em um artigo dos autores Charles Miller e R. A. LaFlamme (PETRIE & KENNIE, 1990).

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática computacional da ocorrência de um determinado fenômeno espacialmente distribuído, numa região limitada da superfície terrestre (ROCHA, 2002).

Alguns autores como (Andrade, 1998) preferem usar o termo Modelo Digital de Elevação (MDE) para designar apenas a elevação da superfície e o termo MDT significando um modelo mais completo do terreno, incluindo outras feições, tais como: casas, prédios, vegetação, árvores etc. Na literatura de língua inglesa DTM é a sigla para *Digital Terrain Model*, e DEM é a sigla para *Digital Elevation Model* (Modelo Digital de Elevação).

Segundo Felgueiras (1997), existem três nomenclaturas diferentes relativas a modelos tridimensionais gerados em ambiente SIG:

MDT - Modelo Digital de Terreno: utilizado para modelagem do relevo e outros tipos de informações que variam de acordo com ele. Ex.: temperatura.

MNT - Modelo Numérico de Terreno: quando se utiliza uma variável "z" de uma dada área da superfície terrestre; essa variável pode ser de qualquer natureza, tanto física quanto socioeconômica, como por exemplo nível de poluição atmosférica e densidade populacional.

MDE - Modelo Digital de Elevação: utilizado exclusivamente para a modelagem de relevo. Modernamente, alguns autores fazem distinção entre MDT (superfície do terreno) e MDE (elevação, incluindo vegetação, construção, etc.), como Correia (2008).

Com o advento da informática, o uso de geotecnologias, do SIG (sistema de informações geográficas) e de dados de MDT (modelos digital do terreno), vem crescendo e sugerindo novos caminhos e modelos que possibilitam o tratamento de grande quantidade de dados e informações indispensáveis aos mapeamentos realizados em ciência do solo (CARVALHO et al, 2009).

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) representa o comportamento de um fenômeno que ocorre em uma região da superfície terrestre. Os dados de MDTs são de fundamental importância em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esses modelos são obtidos a partir de uma amostragem do fenômeno dentro da região de interesse. As amostras são processadas de forma a criar modelos digitais que vão representar a variabilidade do fenômeno nessa região. Os modelos digitais são utilizados por uma série de procedimentos de análises úteis para aplicações de geoprocessamento. A utilização dos modelos digitais, pelas análises, possibilita o estudo de um determinado fenômeno sem a necessidade de se trabalhar diretamente na região geográfica escolhida (FELGUEIRAS 1997).

Hoje em dia, o conceito de mapeamento em geral envolve o conceito de modelos digitais de superfícies, em particular a do relevo terrestre, e não mais apenas o traçado de curvas de nível analógicas sobre uma base de poliéster. O modelo digital de superfícies (MDS) pode ser definido como qualquer representação numérica para uma determinada superfície física, do terreno a ser representada (BRITO, et al., 1999).

O método de análise digital do terreno aprezenta algumas vantagens em relação ao método tradicional para separação das unidades de mapeamento: é uma alternativa rápida e econômica que pode ser aplicada para quantificar e classificar o relevo, permitindo a definição automática ou semi- automática das unidades morfológicas da paisagem (Mc-BRATNEY *et al*., 2003; REIS *et al*., 2004; SMITH *et al*., 2006; SOUZA JUNIOR e DEMATTÊ, 2008).

Dados de relevo, informação geológicas, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informação meteorológicas e dadas geofísicas e geoquímicas são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT (FELGUEIRAS 1997).

O processo para a geração do MDT consiste, basicamente, em três etapas: aquisição de dados; edição dos dados; e geração do modelo. A aquisição de dados pode ocorrer por digitalização, restituição fotogramétrica, sensoriamento remoto ou levantamento de campo direto (SPRING, 2004). Neste último os dados são obtidos utilizando-se instrumentos topográficos convencionais (teodolitos e níveis) ou informatizados (estações totais e níveis digitais) e mais recentemente têm sido utilizados sistemas mais sofisticados como o sistema de posicionamento global, pelo qual as coordenadas tridimensionais são obtidas via satélite.

Pesquisas sobre a variabilidade espacial dos atributos do solo que influenciam a produtividade são de uma grande importância para o desenvolvimento de novas técnicas que beneficiam a agricultura. A variabilidade desses atributos pode ser avaliada por técnicas de geoestatística e auxiliar no mapeamento e manejo do solo. A geoestatística surgiu para o estudo de variáveis regionalizadas, ou seja, o estudo de uma função espacial numérica, que varia de um local para outro, com continuidade aparente e cujos valores são relacionados com a posição espacial que ocupam. Oferece técnicas para elaboração de mapas do comportamento de variáveis georreferenciadas, utilizando o método de interpolação de informações a partir de dados obtidos em locais convenientemente amostrados e modelados em um semivariograma experimental (FARACO et al, 2008).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O trabalho foi realizado em uma área experimental de 6,6517 ha (Figura 3b) com solo caracterizado como Latossolo Vermelho Alumino férrico Típico em condições de plantio direto, localizada no Campus II da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, no município de Erechim – RS (Figura 3a) de coordenadas geográficas centrais latitude -27,63° e longitude -52,27° (IBGE, 2010), de altitude média de 783 metros acima do nível do mar.

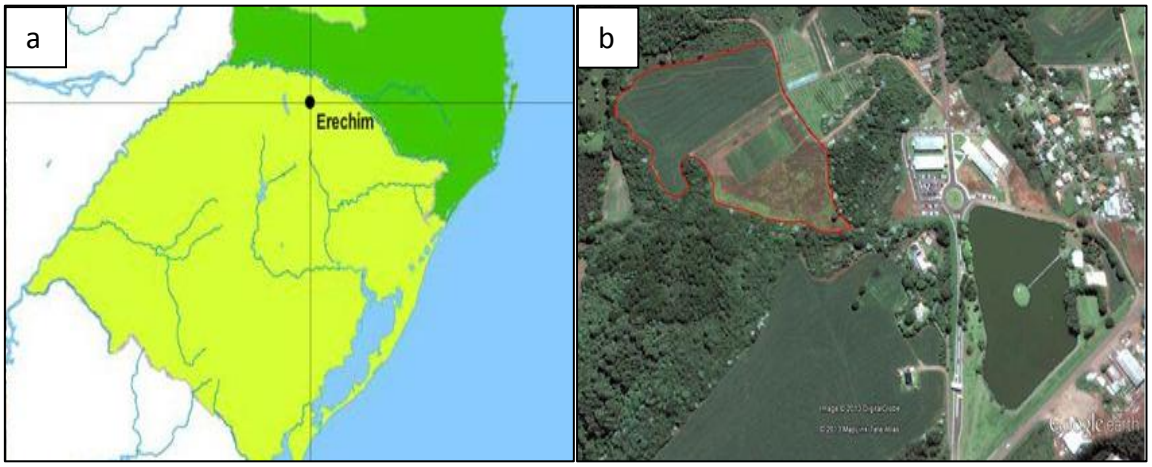

FIGURA 3a – Cidade de Erechim (RS) e FIGURA 3b – Delimitação da Área.
Fonte (a): IBGE, 2010. Fonte (b): Google Earth, 2010.

4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

4.2.1 Dados Obtidos por Topografia Convencional

Para a determinação da declividade entre pontos, foi realizado um levantamento plani-altimétrico a campo com técnicas de topografia convencional, utilizando o método do nivelamento trigonométrico com uma estação total da marca Leica modelo TC-307 (Figura 4). Para isso, foi implantada uma poligonal para obtenção de coordenadas horizontais e verticais com pontos regularmente

espaçados em 70x70m possibilitando-se obter uma informação altimétricas homogênea do terreno.

FIGURA 4 – Fotografia da Estação Total Utilizada.
Fonte: O autor.

Para o reconhecimento do local e planejamento da materialização da poligonal foi utilizado o programa Google Earth. Após, o programa ArcGis para fazer o georreferenciamento da imagem de satélite da área onde foi delimitado os grides de pontos, para uma melhor localização de onde foram coletadas cada amostra de solo ajudando numa melhor homogeneidade do terreno e dos resultados das amostras de solo.

4.2.2 Coleta das Amostras de Solo

Amostragem do solo seguiu as seguintes etapas: coleta de amostra; análise; interpretação dos resultados analíticos.

O primeiro passo para à amostragem do solo foi dividir a área em porções homogêneas, como foi descrito anteriormente. Os critérios para o estabelecimento do tamanho das grades e a localização dos pontos de coleta ainda não foram estabelecidos nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. O tamanho da grade diminui com o aumento da variabilidade espacial dos parâmetros indicados da fertilidade do solo, grades pequenas requerem um numero elevado de amostras e maior investimento (COELHO, 2003).

A profundidade de coleta foi de 0 a 20 cm, totalizando 20 amostras, que foram

coletadas e acondicionadas em sacos plásticos e enviados ao laboratório para análise.

Os procedimentos de amostragem do solo são eliminar a vegetação, as folhas, ramos, as pedras da superfície do solo, etc. As amostras de solo foram coletadas com auxílio do trado holandês em aço-inoxidável e possui uma caçamba de 20 cm e diâmetro de 3”, numa profundidade de 20 cm, este trado é mais aconselhado, por que requer menor esforço para remoção do interior do solo, e proporciona melhor amostragem (Figura 5).

Para a demarcação dos pontos no terreno foi utilizadas de estacas de madeira de 25 cm, pintadas de amarelo.

FIGURA 5 – Fotografia da coleta de solo utilizando trado holandês.
Fonte: O autor.

4.3 ELABORAÇÃO DO MDT E DOS MAPAS GEORREFERENCIADOS

Após a análise do solo os dados são tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel e transferidos para o programa ArcGis 9.3 para estudos de dados georreferenciados.

4.3.1 Modelo Digital do Terreno

Para a elaboração do modelo digital do terreno (MDT) foi utilizado o programa ArcGis, nos seguintes passos: i) tabulação dos dados em planilha eletrônica no formato .xls; ii) cálculo das cotas dos pontos levantados através do método de nivelamento trigonométrico. A altitude do ponto inicial (P01) foi obtida por GPS de navegação; iii) importação dos dados para o programa ArcMap 9.3. As coordenadas dos pontos foram obtidas com o programa Google Earth; vi) interpolação dos pontos com a ferramenta Spatial Analyst do ArcGis utilizando o método de interpolação *topo to raster*; v) criação do MDT através da ferramenta *3D Analyst*. A visualização do MDT foi feita na extensão ArcScene do ArcGIS 9.3.

4.3.2 Mapas de Fertilidade

Para a confecção dos mapas de fertilidade foram seguidos os mesmos passos utilizados no MDT, onde foram adicionados aos pontos georreferenciados, o resultado da análise do solo nos locais coletados.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o Coeficiente de Correlação de Pearson.

O coeficiente de correlação r é calculado a partir de uma amostra de *n* pares de observações de *x* e *y*, mede a quantidade de dispersão em torno da equação linear ajustada através do método de mínimos quadrados, ou o grau de relação das variáveis, na amostra. Não obstante o uso do coeficiente de correlação permanece, principalmente devido à vantagem que apresenta, decorrente da facilidade de interpretação e de seu intervalo compreender valores em uma escala reduzida (FONSECA, et al., 2012).

O valor de r deve sempre estar entre -1 e +1. Se r estiver muito próximo de 0, concluímos que não há correlação linear significativa entre x e y , mas se estiver

próximo a -1 e ou de +1 concluímos que a uma relação linear significativa entre x e y (tabela 1) (TRIOLA, M.F., 2008).

Tabela 1: Significados dos valores de r.

Tipo de relação	Sinal de *b*	Valor de *r*
Linear perfeita	$b < 0$	-1
Linear perfeita	$b > 0$	1
Ausência de relação linear	$b = 0$	0

Fonte: Fonseca, 2012.

Usamos o termo correlação positiva quando $r > 0$, e nesse caso à medida que *x* cresce também cresce *y*, e correlação negativa quando $r < 0$, e nesse caso à medida que *x* cresce, *y* decresce (em média).

Quanto maior o valor de *r* (positivo ou negativo), mais forte a associação. No extremo, se $r = 1$ ou $r = -1$ então todos os pontos no gráfico de dispersão caem exatamente numa linha reta.

A tabela 2 fornece um guia de como podemos descrever uma correlação em palavras dado o valor numérico. É claro que as interpretações dependem de cada contexto em particular (SHIMAKURA, 2006**).**

Tabela 2: Valor das correlações.

Valor de ρ (+ ou −)	Interpretação
0.00 a 0.19	Uma correlação bem fraca
0.20 a 0.39	Uma correlação fraca
0.40 a 0.69	Uma correlação moderada
0.70 a 0.89	Uma correlação forte
0.90 a 1.00	Uma correlação muito forte

Fonte: Shimakura, 2006

Para verificar a correlação entre declividade do terreno e os diferentes nutrientes contidos no solo, foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson permite quantificar o grau de associação entre as duas variáveis envolvidas na análise (SCHNEIDER, 1998), sendo seu campo de variação entre -1 e 1 e quanto

maior o seu valor absoluto maior o grau de associação entre os valores observados e os valores estimados.

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) pode ser estimado por:

$$\rho = \left[\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})\,(y_i - \overline{y})\right].\left\{\left[\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2\right]^{1/2}.\left[\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{y})^2\right]^{1/2}\right\}^{-1}$$

Onde:

ρ é o coeficiente de correlação de Pearson;

x_i são os valores estimados;

y_i são os valores observados;

$\overline{x}$ é a média dos valores interpolados;

$\overline{y}$ é a média dos valores observados.

Para elaboração do coeficiente de correlação foi utilizado o programa Minitab, nos seguintes passos: i) tabulação dos dados em planilha eletrônica no formato .xls; ii) exportados para uma planilha no minitab; iii) Basic Estatistics iiii) Correlação escolher os dois componentes a serem correlacionados por exemplo Altitude e MO, deste modo o programa irra fornecer a correlação dos dados escolhidos: *Pearson correlation of Altitude end MO.*

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO

É utilizado para visualizar os desníveis do terreno. Auxilia no planejamento de praticas e conservação do solo, é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada superfície, construído a partir de curvas de nível e pontos altimétricas (Figura 6).

São obtidos por redes ou grades de pontos na forma regular ou irregular, a aquisição desses dados é realizada por um levantamento a campo com topografia.

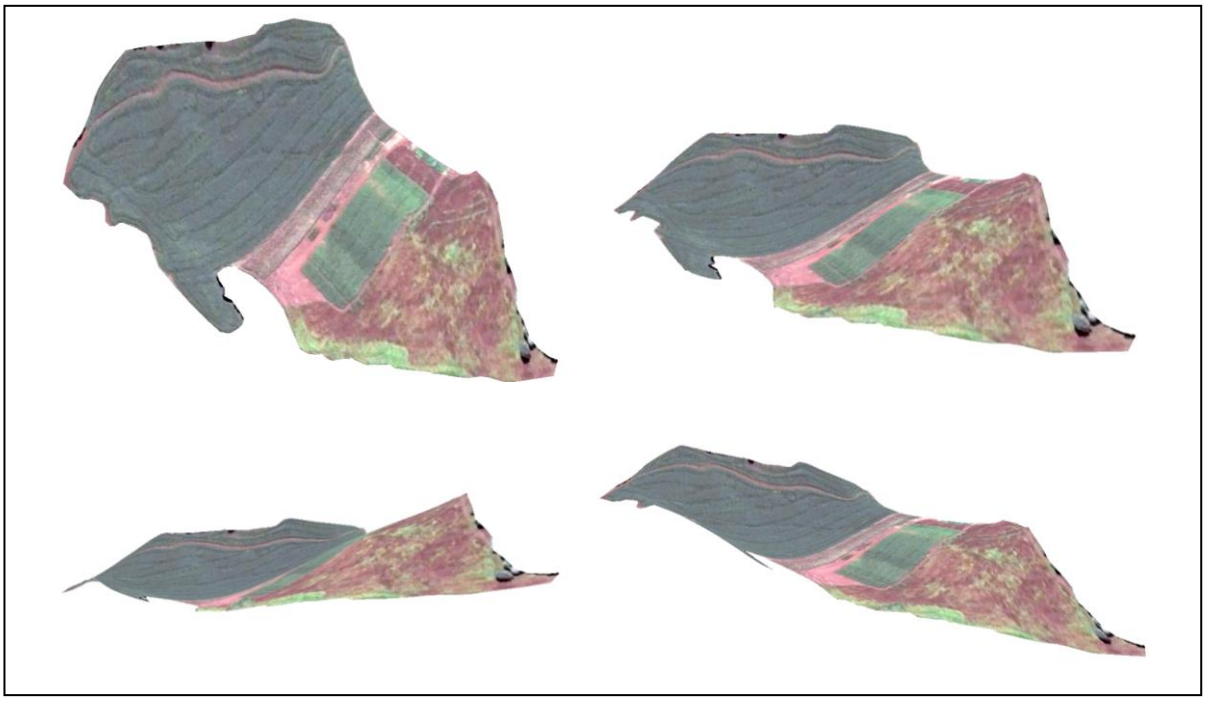

FIGURA 6 – Modelo digital da área experimental
Fonte: O autor.

5.2 MAPAS DE FERTILIDADE

São utilizados para uma melhor demonstração e visualização de onde a uma menor concentração de nutrientes, para uma posterior correção do solo com aplicação localizada, desse modo podendo reduzir custos, e aumentar a produtividade, com uma agricultura mais econômica e rentável sem agredir ao meio

ambiente. Muitos agricultores buscam ajuda das análise de solo para saber o que o solo necessita, observando a quantidade de nutrientes em cada amostra coletada.

Neste trabalho obtemos os resultados das análises de solo e foi observada a concentração de oito parâmetros relacionados à fertilidade do solo em cada amostra retirada, estes são: Cálcio (Figura 7), Potássio (Figura 8), Magnésio (Figura 9), Matéria orgânica (Figura 10), Fósforo (Figura 11), Potencial de hidrogênio - pH (Figura 12), Alumínio (Figura 13) e Saturação de CTC/bases (Figura 14) e confeccionados os mapas de fertilidade do solo com cada nutriente correlacionando com a declividade (Figura 15a). Estes nutrientes foram encontrados em pouca concentração nas maiores altitudes, o alumínio foi o único dos nutrientes observados que teve uma maior concentração nas maiores altitudes.

Nestes mapas de fertilidade a concentração de nutrientes e a altitude pode ser representadas através de corres, as mais fortes significam uma maior concentração de nutrientes onde a uma menor declividade, e as mais fracas uma menor concentração de nutriente onde há uma maior altitude.

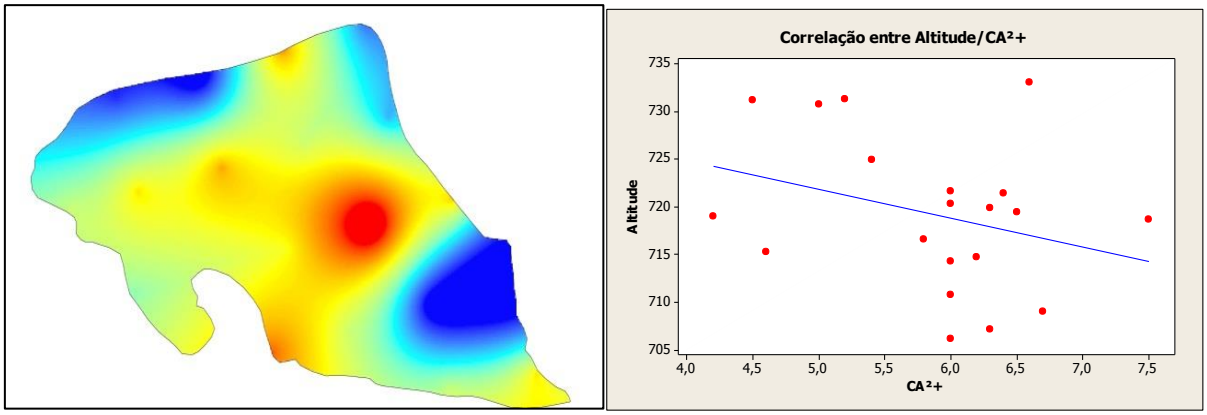

FIGURA 7 – CA² (Cálcio)
Fonte: O autor.

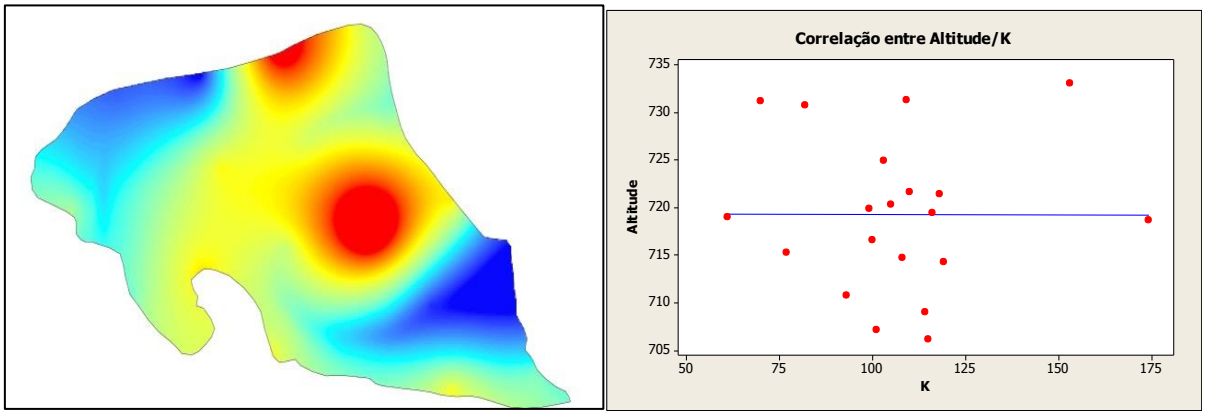

FIGURA 8 – K (Potássio)
Fonte: O autor.

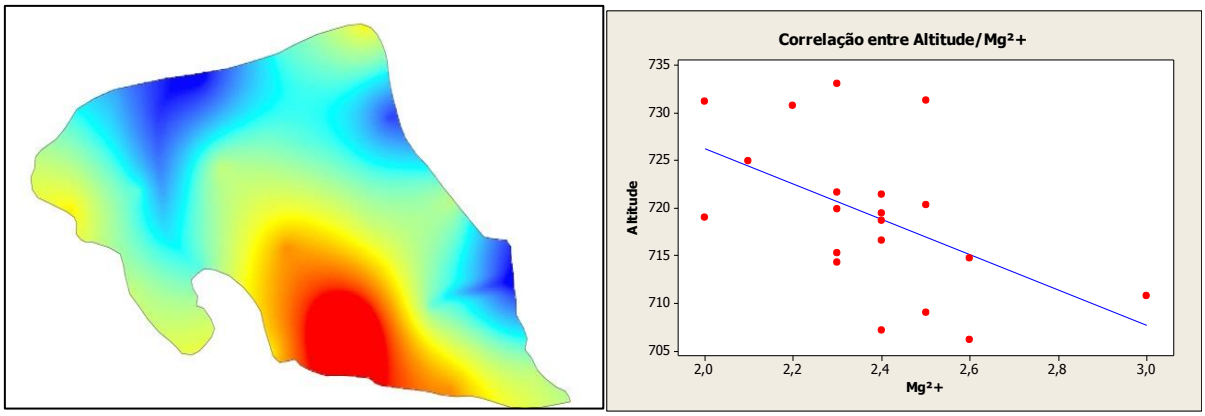

FIGURA 9 – Mg² (Magnésio)
Fonte: O autor.

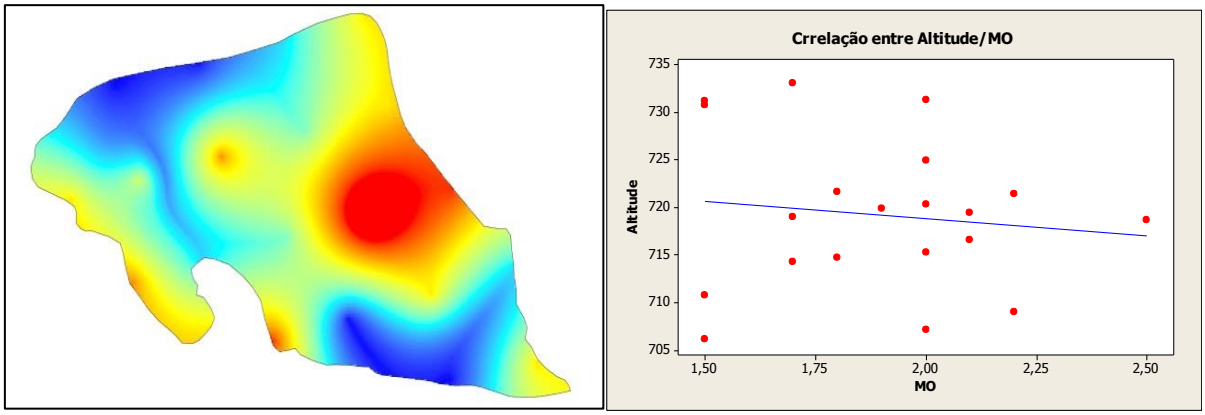

FIGURA 10 – MO (Matéria Orgânica)
Fonte: O autor.

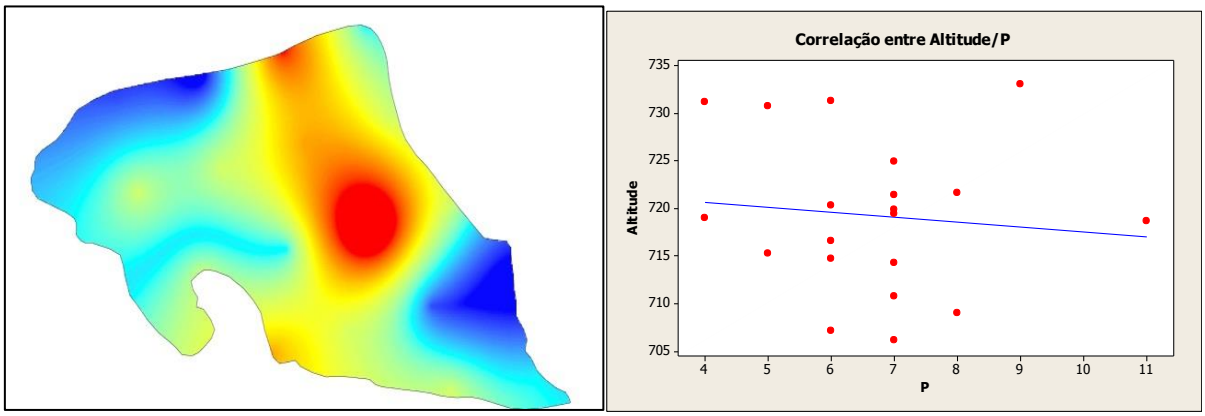

FIGURA 11 – P (Fósforo)
Fonte: O autor.

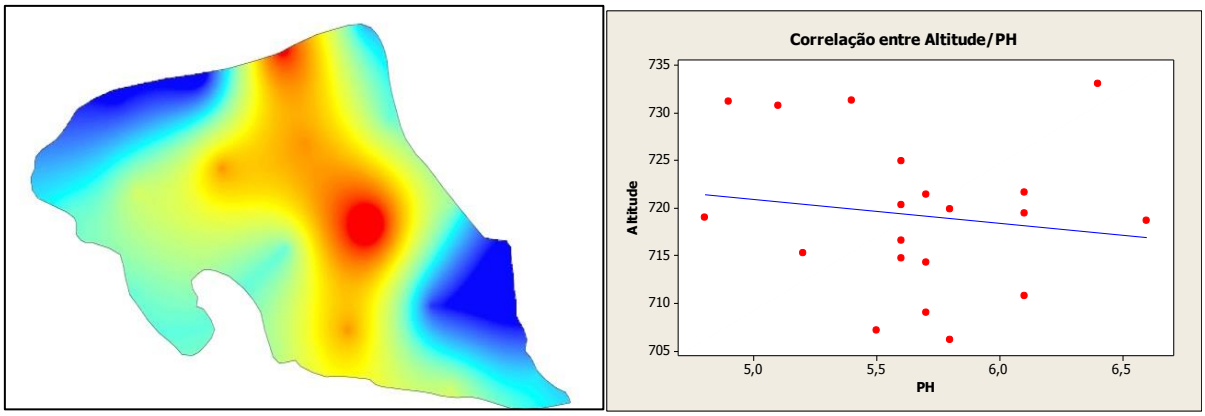

FIGURA 12 – pH (Potencial de Hidrogênio)
Fonte: O autor.

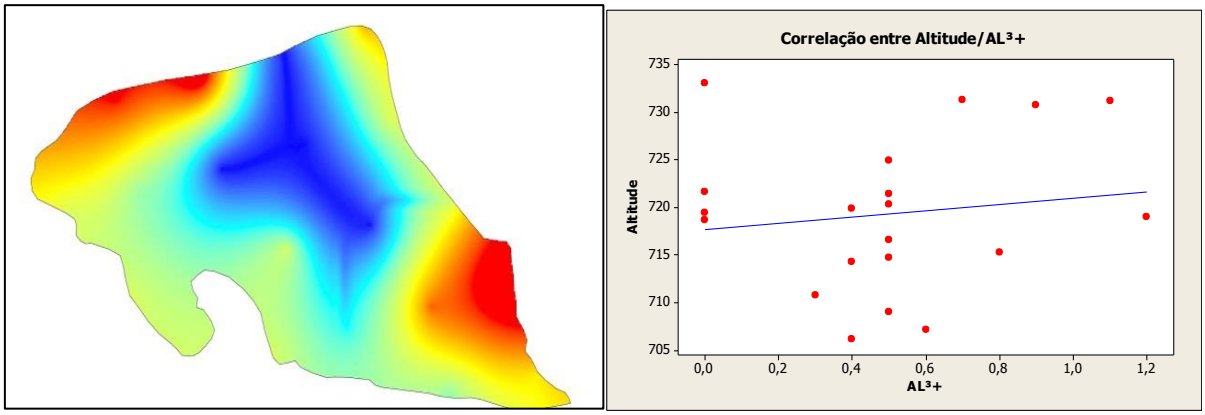

FIGURA 13 – AL³ (Alumínio)
Fonte: O autor.

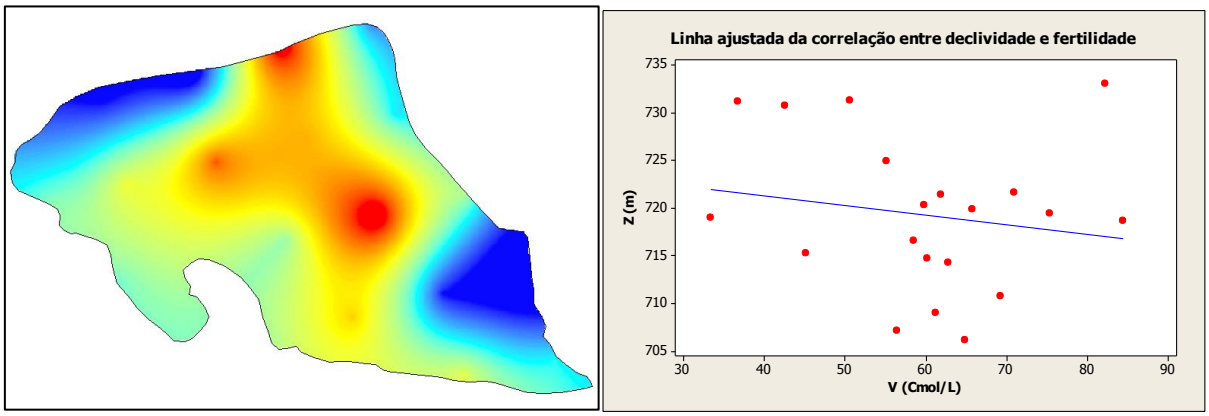

FIGURA 14 – Concentração de Nutrientes do solo (CTC/base)
Fonte: O autor.

Pela análise visual dos mapas abaixo, podemos notar a significativa diferença entre os níveis de declividade (Figura 15a) e a concentração de nutrientes no solo (Figura 15b) na forma de saturação de CTC por base.

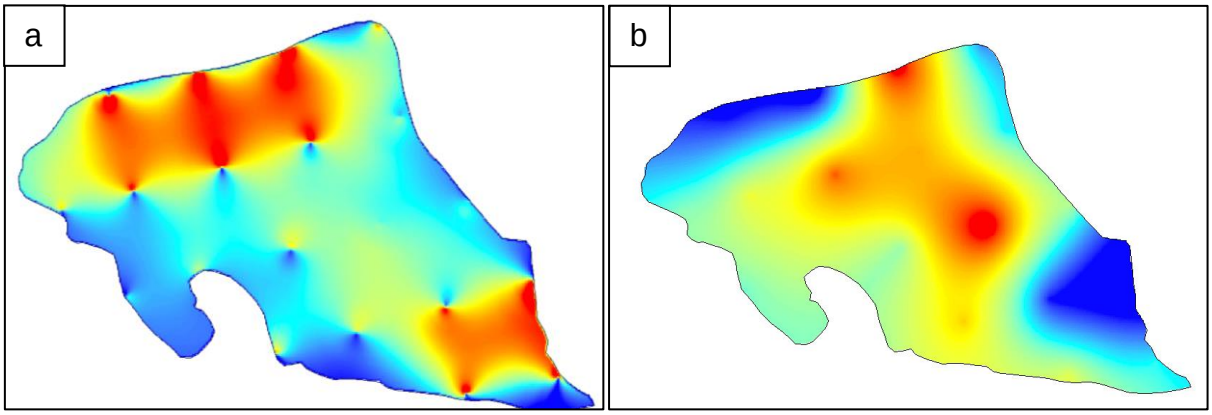

FIGURA 15a – Mapa de Declividade e FIGURA 15b – Nível de fertilidade do solo
Fonte: O autor.

O teste de Ryan-Joiner constatou a normalidade dos dados de V, e o coeficiente de correlação de Pearson prova estatisticamente que há uma correlação negativa entre a declividade do solo e a concentração de nutrientes encontrados nele (tabela 3).

Tabela 3: Correlação entre altitude e fertilidade do solo.

Correlação	Al./MO	Al./PH	Al./P	Al./K	Al./CA^{2}+	Al./MG^{2}+	Al./Al^{3}+
	-0.124	-0.143	-0.107	-0.002	-0.312	-0.522	0.139
P-value	0.603	0.549	0.653	0.992	0.18	0.018	0.558

6 CONCLUSÃO

O Teste t, ao nível de significância de 95%, comprovou a correlação entre os nutrientes encontrados no solo e a declividade do terreno e o Coeficiente de Correlação de Pearson mostra que essa correlação é negativa. Isso significa que quanto maior a declividade do terreno menor será a fertilidade do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados em SOUZA et al. (2004) e SOUZA et al. (2006a) onde estudos mostram que há maior variabilidade de atributos químicos e físicos em áreas de formas côncavas e convexas em relação às formas lineares, independentemente do histórico de manejo dessas áreas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de Precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E. (Coord.) Manejo e fertilidade do solo no sistema de plantio direto. Cruz Alta: Fundacep, 2007.

Associação Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosforo; Manual Internacional de Fertilidade do Solo; 2ª edição; 1998; pag:11-81.

BERTONI, J.; NETO, L. F.; Conservação do Solo, São Paulo, 1999, 4º ed. p. 37-44.

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

BRITO, J. L. N. e S.; PRADO, W. da S.; AUGUSTO, E. G. G. Estágio de Fotogrametria Digital para Engenheiros Cartógrafos - Notas de Aula. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, Brasil: 1999.

CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 13, n. 3, maio/jun. 2009.

CAMPO, P. do. Agricultura de precisão. Inovações do campo. Piracicaba. 2000a. Disponível em http://www1.portaldocampo.com.br/inovacoes/agric_precisao, acessado em 06 Mai. 2000.

CORREIA, J. D. 2008. *Mapeamento de Feições Deposicionais Quaternárias por Imagens Orbitais de Alta Resolução Espacial - Médio Vale do Paraíba do Sul*. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 267p.

CARVALHO, N.C.C.; ROCHA, F.W.; UCHA, M.J. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy, Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.13 no.1 Campina Grande Jan./Feb. 2009.

DeBOER, J.L. *Economics of precision farming payoff in the future*. Purdue University, 1996. 6p.

DODERMANN, A.; PING, J.L. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. Agronomy Journal, Madison, v.96, n.1, p.285-297, 2004.)

DOERGE, T.A. Management zone concepts. Site-specific management guidelines. 1999. p.4. Disponível na Internet. http://www.farmresearch.com/SSMG/ssmg-02/SSMG 02.pdf em 04 Dez. 1999.

DORAN, J.W.; PARKIN,T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.;COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (eds). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America Special Publication Number 35, 1994. p.1-20.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro. Palestras... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. Publicação apresentada em CD-ROM.

FARACO, A.M; OPAZO, U. A. M; SILVA, A. A. E.; JOHANN, A. J.; BORSSOI, A.J.; Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.32 no.2 Viçosa Mar./Apr. 2008.

FELGUEIRAS, C.A. 1997. *Apostila do Curso de Modelagem Digital de Terreno e Aplicações*. São José dos Campos, INPE, 48 p.

FONSECA, J.S.; MARTINS, G. A.; TOLEDO, G.L.; Estatística Aplicada. 2.ed. -18 reimp. –São Paulo: Atlas, 2012, pag. 11-15.

GANDAH, M. et al. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa and implications for precision agriculture research. Agricultural Systems, Oxon, v.63, n.2, p.123-140, 2000.

GRANATSTEIN, D.; BEZDICEK, D.F. The need for a soil quality index: local and regional perspectives. American Journal of Alternative Agriculture, v.7, n.1-2, p.12-16, 1992.

GROENIGEN, van J.W. et al. Contrained optmisation of soil sampling for minimisation of the kriging variance. Geoderma, Amsterdam, v.87, n.3-4, p.239-259, 1999.

HUFFMAN, E.; EILERS, R.G.; PADBURY G.; WALL, G.; MacDONALD, B. Canadian Agri-Environmental Indicators Related to Land Quality: Soil cover, Soil Erosion, Soil Salinity and Risk of Water Contamination. In: CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16, 1998, Montpellier. Palestras... Montpellier: Rural Development Sector – World Bank, 1998.

JOHNSON, G. et al. Spatial and temporal analysis of weed populations using geoestatistics. Weed Science, Champaign, v.44, n.3, p.704-710, 1996.

KENNEDY, K. H., Introduction to 3D data : modeling with arcGIS 3D analyst and Google Earth. ISBN 978-0-470-38124-3. Ed. Wiley. US, 2009.

LARK, R.M. Designing grids from imprecise information on soil variability, an approach based on the fuzzy kriging variance. Geoderma, Amsterdam, v.98, n.1-2, p.35-39, 2000.

MCBRATNEY A.B, MENDONCA S.M.L, MINASNYA, B (2003) On digital soil mapping. *Geoderma 11*: 3-52

PARR, J.F.; PAPENDICK, S.B.; HORNICK, S.B.; MEYER, R.E. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. American Journal of Alternative Agriculture, v.7, n.1-2, p.5-11, 1992.

PETRIE, G. & KENNIE, T. J. M. Terrain modelling in surveying and civil engineering. Caithness : Whittles, 1990.

PINTO, L. M; Altimetria Com Topografia Convencional E Sensoriamento Remoto; Dissertação de mestrado. Santa Maria, 2012.

QUEIROZ, D. M.; GUTEMBERG, P. D.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO. Anais. Viçosa: s. ed., 2000. p. 1-42.

RAIJ, B. V., Fertilidade do Solo e Adubação, São Paulo-Piracicaba-1991-p-343.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: tecnologia transdiciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2000. SPRING: Sistema de processamento de informações georeferenciadas. Tutorial de geoprocessamento. Divisão de Geoprocessamento de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html. atualização: 06 de fevereiro de 2004.

SHIMAKUR, S. E, 2006. Disponível em: leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html, acessado em 14 de maio de 2013.

SCHNEIDER, P. R. Análise de regressão aplicada à engenharia florestal. 2. ed. Santa Maria: UFSM/CEPEF, 1998. 236 p.

SMITH, M. P, XING, Z. A., BURT, J.E., STILES, C (2006) The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey. *Geoderma 137*: 58-69.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Comissão de química e fertilidade do solo-10.ed. Porto Alegre, 2004, pag: 44.

SOUSA Jr, J. G. A., DEMATTÊ, J. A. M. (2008) Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico. *Rev. Brás. Ciênc. Solo 31*: 449-456.

SOUZA, L.S. et al. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, em relação a sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.1, p.77-86, 1998.

TRIOLA, M. F.; Introdução a estatística- 10 ed. – Rio de Janeiro: Ltc, 2008, pag. 411-417.

UMEZU, C. K. Sistema de controle de um equipamento de formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos a taxas variáveis. Campinas - UNICAMP, 2003. 171p. Tese Doutorado.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. *et al*. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um latossolo em sistema de plantio direto. Revista Ceres, v. 57, n. 3, p. 429-438, 2010.

WHITE, J.G. e ZASOSKI, R.J. Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research*, Amsterdam, v.60, p.11-26, 1999.).