

AVELINO BADOTTI NETO

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DOS TEORES DE CTC,
FÓSFORO E POTÁSSIO EM UMA ÁREA AGRÍCOLA SOB SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO NO MUNICÍPIO DE LARANJEIRAS DO SUL-PR**

CURITIBA

2012

AVELINO BADOTTI NETO

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DOS TEORES DE CTC,
FÓSFORO E POTÁSSIO EM UMA ÁREA AGRÍCOLA SOB SISTEMA DE
PLANTIO DIRETO NO MUNICÍPIO DE LARANJEIRAS DO SUL-PR**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento no Curso de Pós-Graduação em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Paraná. Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento no Curso de Pós-Graduação em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Justiniano Ribeiro Jr.

CURITIBA

2012

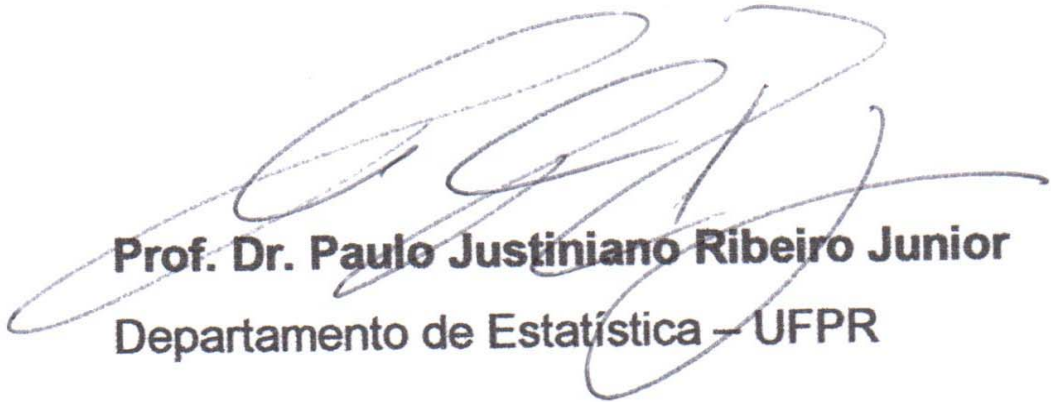
TERMO DE APROVAÇÃO

AVELINO BADOTTI NETO

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DOS TEORES DE CTC, FÓSFORO E POTÁSSIO EM UMA ÁREA AGRÍCOLA SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO MUNICÍPIO DE LARANJEIRAS DO SUL – PR

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista no Curso de Especialização em Geoprocessamento, Setor de Tecnologia, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Paulo Justiniano Ribeiro Junior
Departamento de Estatística – UFPR

Avaliador:



Profª Ms. Lisana Kátia Schmitz Santos
Departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFPR

Curitiba, 12 de julho de 2012.

RESUMO

A atividade agrícola convive com questões desafiadoras, pois além do conhecimento das peculiaridades do manejo de cada cultura, depende ainda de fatores externos como o clima e mercado, sobre os quais o agricultor tem pouca influência. A partir da década de 1980, avanços tecnológicos do maquinário agrícola e da computação, permitiram que o manejo sítio específico começasse a ganhar corpo. Hoje a agricultura de precisão consiste num completo ferramental que visa maximizar a utilização dos insumos de produção, desde o plantio, manejo de pragas e doenças até a colheita. Através do estudo da variabilidade espacial da fertilidade, a agricultura de precisão possibilita o manejo sítio-específico da dosagem de fertilizantes. O presente trabalho analisou três parâmetros de fertilidade química do solo, os teores de CTC, P e K de uma propriedade agropastoril no município de Laranjeiras do Sul-PR, comparando as necessidades de calcário e fertilizante da adubação a taxa variável com as necessidades de adubação da agricultura convencional. A área de estudo apresenta clima Cfa de Köppen (temperado úmido com verão quente), solo predominante do tipo latossolo vermelho escuro, com teor de argila superior a 60 %, numa área agro-pastoril de 41,43 ha, que já utiliza o sistema de plantio direto há cerca de 8 anos. A coleta de solo em um "grid" com 24 pontos georreferenciados na área de estudo permitiram que, utilizando-se de métodos geoestísticos, fosse feita a interpolação dos teores destes elementos para toda a área. A análise estatística clássica dos dados encontrou valores médios de 5,31 e 0,41 ppm de P e K, respectivamente, e de 16,13 cmol/kg de CTC. Os coeficientes de variação foram de 6,49, 40,68 e 29,87 %, respectivamente para a CTC, P e K. A análise exploratória espacial não detectou assimetrias e discrepâncias locais ou globais que sugerissem a transformação dos dados. Os semivariogramas foram ajustados pelo método da máxima verossimilhança e não detectaram efeito pepita nos casos de CTC e P. Para o K, encontrou-se uma participação de 53 % da componente aleatória, provavelmente relacionada a alta mobilidade deste elemento no solo e ao manejo adotado. Os alcances obtidos nos semivariogramas foram de 351,86, 269,41 e 1040,72 m, respectivamente para a CTC, P e K. Utilizando-se das recomendações de adubação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo na krigagem, determinaram-se quatro classes para a CTC e P, e duas classes de manejo de adubação para o K. Os erros médios padronizados da validação cruzada foram de -0,008, 0,002 e -0,004 respectivamente para a CTC, P e K. Os mapas de adubação a taxa variável recomendaram a aplicação total de 186,16 toneladas de calcário, 6,76 toneladas de superfosfato simples e 3,11 toneladas de cloreto de potássio. Comparativamente, considerando os valores médios, como preconizado pela agricultura convencional, seriam necessárias 186,78 toneladas de calcário, 6,21 toneladas de superfosfato simples e 3,11 toneladas de cloreto de potássio. Estes resultados sugerem que a grande vantagem da agricultura de precisão está relacionada a maximização da aplicação de insumos e minimização dos desperdícios e contaminação de solos e cursos d'água.

Palavras-Chave: Agricultura de Precisão. Adubação a taxa variável. Krigagem.

ABSTRACT

Brazilian agriculture has to put up with challenging issues in a regular basis, hence the management of each particular culture, it relies also on external factors such as the market and the weather, which farmers have no or little control. From the 80s on, technological advances on machinery and computational processes, allowed site specific management to gain force. Today precision agriculture consists in a complete set of tools which aim to maximize the use of inputs. The present paper analysed three chemical fertility parameters CEC, P and K from a commercial farm in Laranjeiras do Sul-PR, comparing the needs of chalk and fertilizers from traditional agriculture to variable rate fertilizing. The study area presents Cfa climate according Köppen (humid subtropical úmido with warm summer), "latossolo vermelho escuro" soil, with clay rates over 60 % in an area consisting of 41.43 ha. The establishment of a regular grid and sampling in 24 georeferenced points allowed data interpolation using kriging methods. Classic statistics found mean values of 5.31 e 0.41 ppm for P and K, respectively, and 16.13 cmol/kg of CEC. Coefficients of variation were 6.49, 40.68 e 29.87 %, respectively for CEC, P and K. Spatial exploratory analysis did not find significant asymmetric data or outliers with rindicate transformation. The variograms were adjusted by maximum-likelihood and the nugget effect was not detected for CEC and P. A 33 % participation rate of the random component was detected for K, probably due the high transport rate of this element in the soil and to the soil management adopted. The variograms range were 351,86, 269,41 and 1040,72 m, respectively for CEC, P and K. Kriging interpolation patterns followed The Brazilian Association of Soil Science recommendations and determined four classes for CEC and P, and two classes of fertility management for K. Cross validation for kriged maps found mean standardized errors of $-0,008$, $0,002$ and $-0,004$ respectively for CEC, P and K. Variable rate fertilization maps recommended the application of 186,16 tons of chalk, 6.76 tons of "superfosfato simples" and 3.11 tons of "cloreto de potássio". Considering the needs of conventional agriculture, this study obtained 186.78 tons of chalk, 6.21 tons of "superfosfato simples" and 3,11 tons of "cloreto de potássio", very similar to the prescribed by kriging, suggesting that the great advantage of precision agriculture lies on maximizing the fertilizing application and minimizing losses e soil and water courses contamination.

Key words: Precision agriculture. Variable Rate Fertilization. Kriging

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – CICLO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)	14
FIGURA 2 – FUNÇÃO SEMIVARIOGRAMA	25
FIGURA 3 – MALHA AMOSTRAL UTILIZADA	29
FIGURA 4 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL PARA A CTC	35
FIGURA 5 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL PARA O P	36
FIGURA 6 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL PARA O K	36
FIGURA 7 – SEMIVARIOGRAMAS DA CTC	38
FIGURA 8 – SEMIVARIOGRAMAS DO P	38
FIGURA 9 – SEMIVARIOGRAMAS DO K	39
FIGURA 10 – TEOR DE CTC (cmol/kg)	41
FIGURA 11 – TEOR DE P (ppm)	41
FIGURA 12 – TEOR DE K (ppm)	42
FIGURA 13 - HISTOGRAMA DOS ERROS DA VALIDAÇÃO CRUZADA DA CTC	43
FIGURA 14- HISTOGRAMA DOS ERROS DA VALIDAÇÃO CRUZADA DO P	43
FIGURA 15 - HISTOGRAMA DOS ERROS DA VALIDAÇÃO CRUZADA DO K	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE RESÍDUOS CULTURAIS NO ESCORRIMENTO SUPERFICIAL, INFILTRAÇÃO E PERDA DE SOLO, EM DECLIVIDADE DE 5 %	17
TABELA 2 – CLASSES PARA INTERPRETAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO E NECESIDADE DE FERTILIZANTE	32
TABELA 3 – CÁLCULO DA NECESIDADE DE CALCÁRIO	33
TABELA 4 - CRITÉRIOS PARA DETERMINAR SUB OU SUPER DOSAGEM DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL	33
TABELA 5 – ESTATÍSTICAS DOS PARÂMETROS DE FERTILIDADE QUÍMICA	34
TABELA 6 – PARÂMETROS DE AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS	39
TABELA 7 – ESTATÍSTICAS DE VALIDAÇÃO DA KRIGAGEM	42
TABELA 8 – NECESIDADES DE CALCÁRIO POR CLASSE E ÁREA TOTAL	45
TABELA 9 – NECESIDADE DE SUPERFOSFATO SIMPLE E CLORETO DE POTÁSSIO	45
TABELA 10 - NECESIDADE DE CALCÁRIO E FERTILIZANTE UTILIZANDO A ADUBAÇÃO CONVENCIONAL	45
TABELA 11 - SUB E SUPER DOSAGEM DE INSUMOS	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abracal - Associação Brasileira de Produtores de Calcário

Al_{KCl} – Alumínio pelo método KCl

AP – Agricultura de Precisão

Ca - Cálcio

Cepea – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

cmol/Kg – centi mol por quilo

CTC – capacidade de troca de cátions

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GIS – Geographic Information System

H+Al – cátions Hidrogênio e Alumínio

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ha – hectare

K – Potássio

$K_{MEHLICH}$ – Potássio extraído pelo método de Mehlich

Mg - Magnésio

NC – Necessidade de calcário

P – Fósforo

$P_{MEHLICH}$ – Fósforo extraído pelo método de Mehlich

pH em água – potencial hidrogênio-iônico em água

pH_{CaCl_2} - potencial hidrogênio-iônico pelo método $CaCl_2$

pH_{SMP} - potencial hidrogênio-iônico pelo método SMP

ppm – partes por milhão

S – Saturação de bases

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

SPD – Sistema de Plantio Direto

ton/ha – toneladas por hectare

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 A AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	13
3.2 O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	15
3.3 PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO	18
3.4 A ESTATÍSTICA ESPACIAL COMO FERRAMENTA PARA A AP	20
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS ESPACIAIS	22
3.5.1 <i>Análise exploratória de dados espaciais</i>	22
3.5.2 <i>A teoria da variável regionalizada, a hipótese intrínseca e o semivariograma</i> ...	23
3.5.3 <i>Krigagem</i>	26
3.6 INTEGRAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E OUTROS MAPAS TEMÁTICOS	27
4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS AMOSTRAIS	28
4.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO	29
4.3 TRATAMENTO DOS DADOS	31
4.4 ANÁLISE EXPLORATÓRIA E ESTATÍSTICA ESPACIAL	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA.....	35
5.2 ANÁLISE DOS SEMIVARIOGRAMAS	38
5.3 TEORES DE CTC, P E NUTRIENTES E NECESSIDADE DE FERTILIZANTES	41
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	47
7 REFERENCIAS	49
ANEXO I - PONTOS AMOSTRAIS, COORDENADAS E VALORES	55
ANEXO II - "SCRIPTS DO R"	56

1 INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro tem desempenhado importante papel na geração de emprego e renda brasileiros, atingindo segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), a cifra de R\$ 22,34 bilhões no ano de 2010. Apesar desse crescimento, o agricultor ainda carece, na maioria das vezes, de conhecimento técnico aprofundado na área agrícola, incluindo o uso adequado de insumos como sementes, agrotóxicos, calcário e fertilizantes.

Estima-se que os gastos com calcário e fertilizantes possa chegar em até 50 % dos custos totais de produção de uma lavoura, dependendo dos preços de mercado destes insumos, da cultura e do manejo aplicados, demonstrando a importância do uso correto dos mesmos, evitando o desperdício e diminuindo custos.

Para ilustrar melhor esta questão, dados da Associação Brasileira de Produtores de Calcário (Abracal) referentes ao ano de 2010, apontaram perdas provenientes do desperdício de fertilizantes por falta de correção adequada do solo da ordem de R\$ 6 bilhões. Além desse montante de fertilizantes ter sido desperdiçado, há que se considerar o prejuízo ao meio ambiente, a medida que os nutrientes inaproveitados contaminam o solo e as águas.

Como alternativa para otimizar o manejo agrícola, no início da década de 80 surgiu o conceito de agricultura de precisão (AP). Utilizando-se de tecnologias emergentes à época, como a informática, o geoprocessamento e o posicionamento satelital. Hoje a AP permite um controle apurado dos processos de preparo do solo, aplicação de fertilizantes e herbicidas, plantio e colheita, e proporciona significativa redução de perdas se comparado a agricultura tradicional.

Dentre as ferramentas de gerenciamento disponíveis da AP, a confecção de mapas de fertilidade vem se tornando cada vez mais freqüente. Através de uma rede de pontos uniformemente distribuídos no terreno, ou "grid", são coletadas amostras de solos, as quais são analisadas em laboratório quanto a parâmetros físicos e químicos. Então, através da análise estatística espacial, são confeccionados mapas temáticos da variabilidade de nutrientes e de fertilização necessária para cada talhão amostrado.

Em comparação com a agricultura tradicional, que considera os talhões de maneira homogênea e uniformiza a aplicação de calcário e fertilizantes, gerando a problemática da sub ou super dosagem, os mapas de fertilidade surgem como ferramenta essencial para a aplicação de insumos a taxas variáveis, a medida que melhor representam a variação espacial de acidez e fertilidade existentes a campo, otimizando a aplicação dos recursos financeiros do agricultor.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar, utilizando métodos geoestatísticos, a variabilidade espacial de 3 parâmetros químicos de fertilidade do solo, a capacidade de troca de cátions (CTC), o teor de fósforo (P) e o teor de potássio (K) numa área agrícola sob sistema de plantio direto (SPD).

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Produzir mapas de adubação à taxa variável de calcário, superfosfato simples e cloreto de potássio;

Comparar as quantidades de insumos necessárias utilizando a adubação convencional frente a adubação a taxa variável na área em estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura como atividade produtiva convive com particularidades desafiadoras a cada novo ciclo de plantio. De um lado o agricultor deve ficar atento às variáveis relacionadas aos fatores de produção, como recursos naturais (água, solo, fertilizantes), mão de obra, tecnologia (técnicas de manejo da lavoura) e capital. De outro, ainda depende de fatores externos os quais tem pouco ou mesmo nenhum controle, como por exemplo o clima e a variação de preços dos produtos agrícolas.

Buscando otimizar o uso dos recursos naturais e cientes da variabilidade de fertilidade de suas lavouras, aos poucos os agricultores começaram a dividi-las em partes mais homogêneas e tratá-las de maneira diferenciada. Há registros do ano de 1929 nos quais alguns autores propuseram a correção do pH de uma área com 17 ha através da coleta de 23 pontos amostrais (MOLIN, 1998). Os avanços tecnológicos da informática, geoprocessamento e posicionamento por satélites ocorridos ao longo das últimas décadas, fizeram com que a técnica de estabelecimento de zonas homogêneas de manejo ganhasse maior destaque. Fenômenos como a globalização e a elevada competitividade de preços no mercado agrícola, aliada às pressões ambientais por processos de produção mais limpos, impulsionaram os agricultores a buscar alternativas que maximizassem a utilização de insumos (LAMPARELLI, 2001).

Segundo Inamasu, 2011, p.18:

A partir da premissa de que a produção agrícola não é uniforme no espaço e no tempo e de que o substrato de produção, representado pelo solo, também tem elevada variabilidade espacial, é de se considerar como fundamental o gerenciamento que incorpore esses fatores.

Montezano (2006) reafirma a importância do conhecimento da variabilidade da fertilidade do solo em áreas cultivadas, pois o mesmo pode trazer importantes subsídios para a racionalização de uso dos corretivos e fertilizantes do solo. Assim,

num primeiro momento há que se analisar a existência da variabilidade espacial, para então buscar sua interpretação e agir de maneira condizente com a variabilidade encontrada.

O maior entendimento desses conceitos fez surgir a chamada aplicação de fertilizantes a taxa variável, uma das práticas que compõe a agricultura de precisão (MACHADO, 2004).

Os componentes deste conjunto tecnológico permitem variar as taxas de semeadura, aplicação de fertilizantes e agroquímicos, além de obter informações localizadas de produtividade, tornando-a uma importante ferramenta para melhorar o gerenciamento da produção (FERRAZ, 2012). A AP pode ser vista como uma postura gerencial que leva em consideração a variabilidade espacial, com vistas a maximizar a produtividade e minimizar os impactos negativos ao meio ambiente (INAMASU, 2011). A figura 1 abaixo ilustra os diversos processos que compõem um sistema de AP:

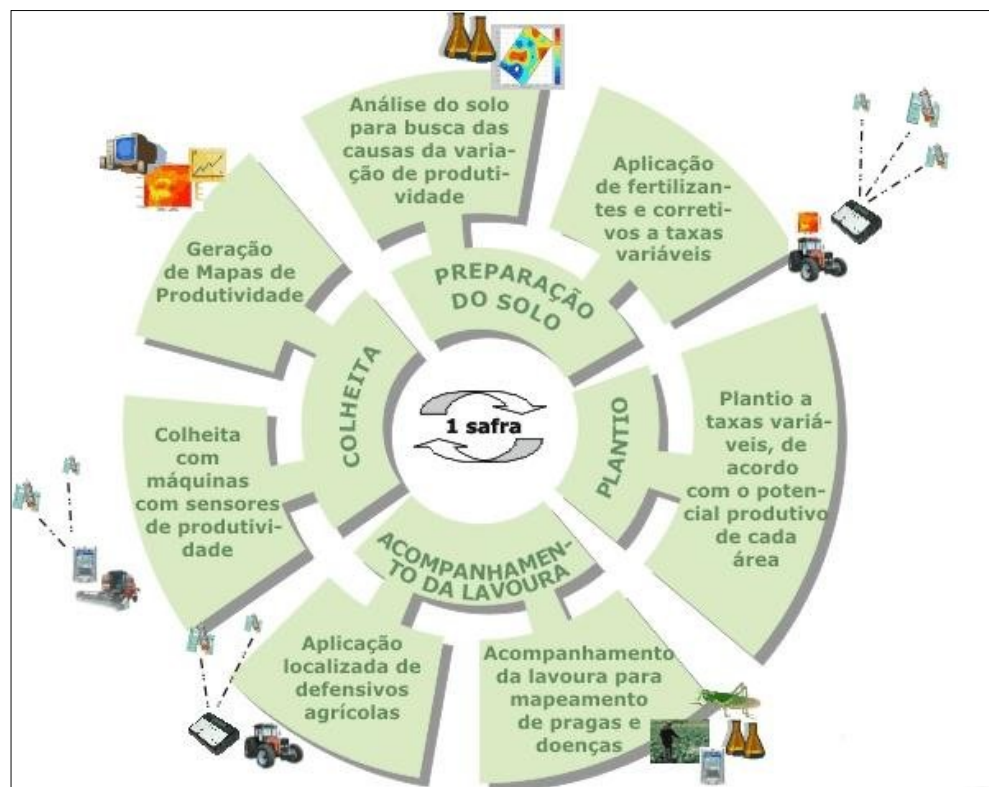


FIGURA 1 – CICLO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)

Fonte: Arvus Tecnologia [200?], adaptado

O início do ciclo normalmente se dá através da análise de solo segundo malhas amostrais, e conseqüente confecção de mapas de teores de nutrientes e de necessidade de fertilizante. Ao final do ciclo, há a possibilidade de geração dos mapas de produtividade, os quais, fusionados aos mapas de aplicação de fertilizantes, geram informação relacionada ao grau de resposta da cultura à adubação a taxa variável e eficiência do manejo aplicado. Logicamente, quanto maior a variabilidade da produção e maior o valor da cultura, mais facilmente se justifica a adoção destas práticas gerenciais. Maiores taxas de aceitação desta tecnologia têm sido encontradas entre agricultores jovens, com melhores níveis educacionais, baixos índices de endividamento e grandes proprietários de terra (SRINIVASAN,2006).

Dessa forma, podemos distinguir três elementos no ciclo gerencial, primeiramente a coleta de dados em escala e frequência adequadas, para posterior análise e interpretação dos mesmos. Finalmente, com base nas etapas anteriores, caberá a implementação de uma resposta a uma escala espacial e de tempo adequada (INAMASU, 2011).

Segundo Buchleiter & Brodahl (2000), um fator preponderante em um plano de agricultura de precisão é decidir sobre quais variáveis do solo agir de maneira a maximizar a produtividade. Alertam ainda para o uso de técnicas estatísticas capazes de identificar de maneira correta os possíveis causadores da variabilidade espacial a campo, para somente então partir para as recomendações de manejo.

A agricultura de precisão é um tema abrangente e multi disciplinar. Embora os avanços na área de AP tenham sido consideráveis, pesquisas complementares ainda se fazem necessárias para comprovar a eficiência econômica e ambiental da utilização da aplicação de insumos de taxas variáveis de fertilizantes.

3.2 O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

A agricultura durante muito tempo preconizou o preparo intensivo do solo, através de operações de aração e gradagem pesada em área total, que com o passar do tempo geravam desestruturação física das partículas do solo, facilitando a perda de material e sua conseqüente lixiviação para as partes mais baixas do

terreno. Se por um lado trazia benefícios ao facilitar o desenvolvimento radicular das culturas, por outro acarretava imensas perdas de solo, notadamente das camadas superficiais, mais férteis, levando ao empobrecimento do mesmo a longo prazo. Outra consequência desta prática, era que, ao promover esta desestruturação, facilitava-se a compactação pelo maquinário agrícola, contribuindo para a diminuição das taxas de infiltração de água no solo, podendo agravar picos de enchente pelo aumento do escoamento superficial.

Como alternativa a agricultura convencional e suas consequências danosas ao ambiente como um todo, passou-se a pensar em um método de cultivo que minimizasse as perdas de solo. A alternativa seria evitar o revolvimento das camadas superficiais, para que o mesmo mantivesse sua estrutura, bem como diminuir as entradas de maquinário na área, evitando a compactação. No Estado do Paraná, o sistema de plantio direto, SPD, como ficou conhecido, foi implantado em 1972, e com empenho do setor público e privado, consolidou-se como uma tecnologia conservacionista bastante difundida, e adaptada aos diferentes climas e solos do país. Em 2008, a área de cultivo sob o sistema de plantio direto já alcançava cerca de 25 milhões de hectares no país, sendo quase 5 milhões no Paraná (CRUZ, 2006; FUENTES LLANILLO, 2010).

Além de reduzir as operações de preparo do solo, o SPD envolve outras técnicas como por exemplo: o uso de herbicidas dessecantes para o controle de plantas daninhas, culturas de cobertura e rotação de culturas. Esses procedimentos quase sempre permitem maior disponibilidade de água e de nutrientes, diminuição da temperatura média do solo, maior teor de matéria orgânica, maiores taxas de infiltração, maior estabilidade e melhoria da micro fauna do solo (CRUZ, 2006; FUENTES LLANILLO, 2010; SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z., 2009).

Cruz et al. (2006), enumeram 13 requisitos necessários à implantação do SPD, dentre os quais pode-se citar: a qualificação do produtor e da mão de obra envolvida, prévia eliminação de camadas compactadas do solo, baixos níveis de acidez e níveis de fertilidade adequados, restos culturais cobrindo cerca de 80% do solo, ou cerca de 6 ton/ha, além de um bom controle inicial de plantas daninhas. Ainda, destacam a manutenção da palhada (restos culturais) e a rotação de culturas como práticas indispensáveis neste sistema. A primeira está diretamente relacionada a proteção do solo de maneira a evitar a erosão, ao favorecimento da atividade biológica, elevação dos teores de matéria orgânica e diminuição da

infestação de plantas daninhas. Já a rotação de culturas objetiva a formação da palhada propriamente dita, pois dentre as culturas mais difundidas no plantio direto, soja e milho, a primeira pouco contribui para a formação de biomassa seca.

Os benefícios da adoção do SPD em relação a agricultura convencional em termos de perda de solo podem ser significativos. Canalli et al. (2010) apresentaram dados de perda de solo da ordem de 108 ton/ha em um plantio convencional, comparados a 57 ton/ha do plantio direto. A tabela 1 a seguir mostra a manutenção de diferentes quantidades de restos culturais e seu impacto sobre o escoamento, infiltração e perda de solo.

TABELA 1 - EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE RESÍDUOS CULTURAIS NO ESCORRIMENTO SUPERFICIAL, INFILTRAÇÃO E PERDA DE SOLO, EM DECLIVIDADE DE 5%.

Resíduos (ton/ha)	Efeitos sobre a água e o solo		
	Escoamento (%)	Infiltração (%)	Perda de solo (ton/ha)
0,000	45,3	54,7	13,69
0,550	24,3	74,7	1,56
1,102	0,5	99,5	0,53
2,205	0,1	99,9	0,00
4,410	0,0	100	0,00

FONTE: CRUZ et al. (2006)

Percebe-se nesse estudo que já a partir de 1,1 ton/ha de resíduos culturais a compactação e erosão do solo atingiram níveis mínimos. É importante destacar que este estudo se desenvolveu em uma área de relevo plano, no qual uma quantidade menor de biomassa foi suficiente para minimizar os efeitos da enxurrada. Portanto, a recomendação geral de manutenção de 80 % de cobertura do solo, ou 6 ton/ha de palhada, deve ser analisada caso a caso, conforme as condições de clima, solo, relevo e cultura.

Temperaturas mais amenas e uma distribuição mais regular de chuvas permitem que na região sul do país haja mais opções para a rotação de culturas. Já no Cerrado, as chuvas escassas de inverno dificultam o estabelecimento de culturas com a finalidade de cobertura do solo, devendo ter preferência àquelas de rápido desenvolvimento e boa tolerância à seca. Em algumas regiões onde o período chuvoso se prolonga, se destacam o cultivo do milho safrinha, o milheto e o girassol. Em regiões onde o plantio comercial da soja não é comum, como por exemplo o sul de Minas Gerais, outras alternativas se fazem necessárias. Devido a forte integração

lavoura-pecuária, o plantio de milho para silagem faz com que a parte aérea da planta seja colhida, não restando material para cobertura do solo. Nesses casos, normalmente é feita a semeadura do capim braquiária a uma maior profundidade, em conjunto com o milho. Quando da colheita do milho, o capim já estabelecido auxiliará na proteção do solo (CRUZ,2006).

Em um estudo comparativo, Zanão Júnior et al. (2010) analisaram que no sistema de plantio direto a aplicação superficial uniforme do calcário, a ausência de revolvimento do solo, e o mecanismo de adubação, além do acúmulo de biomassa superficial, alteraram a variabilidade dos atributos químicos do solo em relação ao plantio convencional. Concluíram, assim, que o entendimento da variabilidade é fundamental para o estabelecimento do correto manejo da fertilidade do solo.

Apesar dos benefícios decorrentes do emprego do SPD, o produtor deve se manter atento às práticas de conservação do solo e água, que incluem a construção de terraços em curvas de nível, a rotação de culturas e o entendimento das particularidade de cada tipo de solo. Caso contrário, as perdas de solo, água e nutrientes com erosão e a poluição hídrica podem voltar a surgir na lavoura (CRUZ, 2006; FUENTES LLANILLO, 2010).

3.3 PARÂMETROS DE FERTILIDADE DO SOLO

Os solos minerais agrícolas possuem basicamente quatro componentes principais: substâncias minerais, matéria orgânica, água e ar. Como regra geral, cerca da metade é ocupada por espaços sólidos (substâncias minerais e matéria orgânica) e metade por espaços vazios (água e ar). Numa suposta condição ideal de crescimento vegetal, ter-se-ia 25 % dos espaços vazios ocupados por água e 25 % ocupado por ar. Na prática, estas proporções estão sujeitas a grandes variações, sendo que os quatro componentes principais possuem elevada interdependência (BRADY, 1989).

As plantas retiram do solo 13 elementos provenientes do componente mineral ou inorgânico essenciais ao seu desenvolvimento. Desses, seis são absorvidos em maiores quantidades pelos vegetais: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, recebendo a denominação de macronutrientes.

Igualmente importantes, o ferro, manganês, zinco, molibdênio, boro, cobre e cloro, mas usados em montantes relativamente pequenos, recebendo o nome de micronutrientes (BRADY, 1989; LAMPARELLI, 2006).

Uma característica importante do solo é sua capacidade de troca de cátions (CTC), que representa o potencial que o solo tem de reter ou liberar nutrientes para serem absorvidos e aproveitados pelas plantas. É expressa pela somatória de cátions alumínio, hidrogênio, cálcio, magnésio e potássio (EMBRAPA, 2006).

A aplicação de calcário está diretamente relacionada a redução da acidez dos solos. Sabe-se que a acidez pode promover o surgimento de elementos tóxicos como o Alumínio (Al), além de causar a diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes para as plantas (MONTE SERRAT, 2002). A recomendação das quantidades de calcário a serem aplicadas (NC) é feita visando o aumento da saturação de bases do solo em um nível previamente determinado para cada cultura. Para a maioria das culturas agrícolas a saturação de bases a ser atingida é da ordem de 60 a 70% (V_2), e varia de acordo com características químicas do solo em questão, como a CTC e a saturação de bases inicial (V_1) (OLEYNIK et al., 1998).

O teor de fósforo no solo é em grande parte proveniente da presença de minerais fosfatados do material de origem, na maioria das vezes a apatita. Somente uma porção muito pequena do fósforo total está presente na solução do solo e assim, prontamente disponível para as plantas. Em razão da reduzida mobilidade do íon fosfato no solo, a difusão é o principal meio de transporte do fósforo. Solos argilosos retêm maiores quantidades de fósforo que solos arenosos, portanto muito mais fertilizante fosfatado se faz necessário no momento da adubação (BARROS, 1990).

Presente em grandes quantidade nas sementes e frutos, o fósforo é o macronutriente menos absorvido pelas plantas. O fósforo atua no processo fotossintético, e assim, na produção de energia para a planta, bem como na formação de raízes, frutificação e maturação dos frutos, além de auxiliar na fixação do nitrogênio. (LAMPARELLI, 2006; MONTE SERRAT, 2002). A cultura da soja apresenta elevadas exigências nutricionais quanto aos teores de P no solo, entre 9 a 12 mg/dm³ (ALMEIDA, FISCHER & HARGER, 2001). Basicamente, as funções deste elemento estão diretamente relacionadas à síntese de energia e atuação como elemento estrutural. Além disso, participa como componente da adenosina

difosfato (ADP) e da adenosina trifosfato (ATP), os quais desempenham a maioria dos processos bioquímicos que exigem energia, a exemplo da síntese do amido. Além disso, atua como componente da estrutura macromolecular do ácido desoxiribonucleico (DNA), responsável pela transmissão de caracteres genéticos, e do ácido ribonucleico (RNA), essencial a síntese protéica. (BRADY,1989; MARSCHNER, 1995).

O potássio do solo se encontra normalmente adsorvido ao complexo de troca do solo e na solução do solo, em ambos os casos prontamente disponíveis para as plantas. Em solos argilosos é comum encontrar um teor de potássio capaz de manter uma boa produção no primeiro e segundo ciclos. Entretanto, em solos com baixos níveis de CTC, as perdas de K por lixiviação podem ser significativas (BARROS,1990).

A presença do potássio nas plantas está relacionado a síntese de açúcares, óleos, gorduras e proteínas, além de conferir maior resistência a adversidades climáticas como secas e geadas, e também à pragas, pois atua na abertura e fechamento dos estômatos (LAMPARELLI, 2006; MONTE SERRAT,2002). Estima-se que as exigências para a cultura do milho de média/alta tecnologia, por exemplo, seja da ordem de 140 a 160 Kg de potássio por hectare. Dentre as mais importantes funções do potássio na planta, pode-se destacar as relacionadas à fotossíntese, já que este regula a abertura e fechamento dos estômatos nas folhas. Teores elevados de potássio também auxiliam o bom desenvolvimento radicular, tendo a adubação potássica importante papel no cultivo de tubérculos, como por exemplo a batata (COELHO & FRANÇA, 1998).

3.4 A ESTATÍSTICA ESPACIAL COMO FERRAMENTA PARA A AP

A preocupação com a dependência espacial ou temporal de observações realizadas para um determinado atributo é bastante antiga, mas se notabilizou na década de 60 face as necessidades de uma metodologia para se estimar reservas minerais. A estatística espacial faz parte de um contexto maior, a análise espacial de dados, que objetiva mensurar propriedades e relacionamentos de objetos

considerando a localização espacial do fenômeno em estudo. Pode-se dizer que os fenômenos naturais apresentam-se com uma certa estruturação nas variações entre vizinhos, ou seja, estas variações não se dão ao acaso, apresentado algum grau de dependência espacial.

Dessa forma, a estatística espacial busca por padrões e associações entre objetos considerando o espaço e o tempo (FOOK, 2005; GOOVAERTS, 1997; GUIMARÃES, 2004). Segundo Druck et al. (2004, p.3) “A Análise Espacial é composta por um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que considera explicitamente os relacionamentos espaciais presentes no fenômeno”. A partir da década de 1980, a informática veio a facilitar alguns cálculos relativamente trabalhosos, fazendo com que a análise espacial de dados, utilizando a geoestatística, ganhasse impulso em áreas distintas da mineração e da geologia. A análise espacial de dados apresenta-se como uma complementação da estatística clássica, pois procura considerar a posição espacial relativa de cada amostra, permitindo assim sua diferenciação. Hoje as aplicações da análise espacial de dados estão amplamente difundidas nas áreas de ciências de saúde, humanas, biológicas e exatas.

De uma maneira geral, consideram-se duas áreas de estudo principais da análise espacial: a modelagem espacial e a análise estatística de dados espaciais. A modelagem espacial se utiliza de modelos determinísticos e estocásticos para aplicações nas ciências ambientais e socioeconômicas. A análise estatística de dados espaciais engloba a amostragem de objetos no banco de dados e escolha da escala de análise adequada, compatibilização de dados coletados, análise exploratória e análise inferencial de dados espaciais (FISCHER et al., 1996).

Segundo Ribeiro Jr. (2008), a análise exploratória espacial tenta identificar a presença de dependência espacial, a existência de dados discrepantes (globais ou locais), assimetrias, necessidades de transformação e tendências com coordenadas ou covariáveis. Ainda, pode ser definida como sendo um conjunto de técnicas para analisar distribuições espaciais, identificar situações *outliers*, descobrir padrões de associação espacial, *clusters* e sugerir regimes espaciais ou formas de heterogeneidade espacial (FOOK, 2005). Já a análise inferencial se refere a estimação de parâmetros de modelos e teste de hipóteses baseada em certas suposições, estabelecendo ou não relações de causa e efeito.

Embora a análise da dependência espacial de um determinado fenômeno possa ser resultado de um conjunto de fatores que atuam sobre o mesmo, a literatura subdivide a análise espacial de acordo com a característica do dado tratado. Assim, resultam três sub áreas: análise de dados pontuais ou eventos, de superfícies ou distribuições e de áreas, cabendo a cada uma delas suas particularidades.

Enfatizando a análise de superfícies e distribuições, foco deste trabalho, pode-se dizer que esta é gerada a partir de um processo de interpolação dos dados pontuais presentes na área de estudo. Um conjunto de amostras de campo, regular ou irregularmente distribuídas, desde que representativas do fenômeno, permite assim que se estime uma superfície contínua. Este tipo de dado espacialmente contínuo é geralmente referenciado como dado geoestatístico. Os métodos geoestatísticos possuem como hipótese central o conceito de estacionariedade, que supõe um comportamento homogêneo da estrutura de correlação espacial na região em estudo (BURROUGH & MCDONNEL, 1998; CÂMARA et al., 2003).

Define-se um processo como estacionário aquele em que seu desenvolvimento ocorre de maneira mais ou menos homogênea, com oscilações aleatórias contínuas em torno de um valor médio, em que nem a amplitude média e nem as oscilações mudam bruscamente no tempo ou no espaço, independente do ponto tomado como origem (GUIMARÃES, 2004).

Na área agrícola, a análise de superfícies encontra ampla aplicação, especialmente na ciência do solo, estimando padrões de distribuição espacial da fertilidade gerando mapas de aplicação de insumos a taxas variáveis e de mapas de produtividade.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS ESPACIAIS

3.5.1 Análise exploratória de dados espaciais

A análise exploratória objetiva um melhor entendimento e resumo da variável em estudo, através da interpretação de estatísticas clássicas como média, variância, coeficiente de variação e distribuição de frequência, para citar algumas delas.

A média representa o valor mais provável de uma medida, mas nem sempre expressa adequadamente uma determinada variável. Como auxiliares neste entendimento, normalmente são utilizadas outras estatísticas como a variância e o coeficiente de variação, que representam o padrão de distribuição dos dados em torno da média obtida.

A distribuição de frequências, que consiste em agrupar as medidas em classes, e o histograma, que consiste na representação gráfica desta distribuição, permitem visualizar a tendência de concentração ou simetria da variável em estudo, sinalizando para uma eventual necessidade de transformação dos dados anterior a análises futuras. A ferramenta *box plot*, introduzida pelo estatístico americano John Tukey, através da representação gráfica do valor máximo, mínimo e quartis, dá uma melhor noção da posição, dispersão e assimetria dos dados. Permite também a visualização de valores atípicos ou discrepantes, os quais poderão ser adequadamente tratados. (MEDRI, 2011).

3.5.2 A teoria da variável regionalizada, a hipótese intrínseca e o semivariograma

Entende-se por variável regionalizada aquela cuja distribuição espacial varia de um lugar para outro, com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por função determinística.

Uma variável regionalizada $Z(x)$ pode ser considerada como uma variável aleatória, no sentido em que os valores das medições feitas podem variar consideravelmente entre si, e assume um carácter estruturado dentro de uma determinada área, segundo uma certa lei no espaço, considerando que os valores das observações não são completamente independentes da sua localização geográfica. Assim, a variável regionalizada pode ser considerada como uma realização única de uma variável aleatória Z para uma localização dentro dessa

área. Se a variável regionalizada $Z(x)$ for considerada para todos os locais da referida área, torna-se uma dentre um conjunto infinito de variáveis aleatórias $Z(x)$ para todos os locais da área (SOUZA, 1992).

Dentro da hipótese de estacionaridade de segunda ordem, a covariância e a semivariância são ferramentas equivalentes para caracterizar a auto-correlação entre duas variáveis $Z(x)$ e $Z(x+h)$, separadas pela distância h (JOURNEL & HUIBREGTS, 1978). A primeira expressa a similaridade dos valores e a segunda o afastamento relativo destes. A estacionaridade de segunda ordem implica a existência da covariância e, portanto uma variância finita. Esta hipótese pode não ser satisfeita para alguns fenômenos físicos. Para tais situações, uma hipótese menos restritiva, a hipótese intrínseca, pode ser aplicável (VIEIRA, 2000).

A hipótese intrínseca é a hipótese mais freqüentemente usada em geoestatística, por ser menos restritiva e, portanto, o semivariograma é sua ferramenta mais difundida, porque exige apenas a hipótese intrínseca, enquanto o autocorrelograma exige a estacionaridade de segunda ordem. Esta hipótese requer apenas a existência e estacionaridade do variograma, sem nenhuma restrição quanto à existência de variância finita, o que corresponde ao fato de que para todo vetor h , a variância da diferença $[Z(x) - Z(x+h)]$ é finita e independente da posição na região, dependendo apenas do valor de h . De outro modo, o variograma é a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados por uma distância h , conforme a equação abaixo:

$$2\gamma(h) = E\{[Z(x+h) - Z(x)]^2\}$$

O semivariograma analisa o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem. Ainda, o variograma é a ferramenta básica que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado. A natureza estrutural de um conjunto de dados (assumido pela variável regionalizada) é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978).

Graficamente, a função semivariograma é expressa plotando-se as distâncias (h) contra a semivariância ($\gamma(h)$), conforme a Figura 2 abaixo:

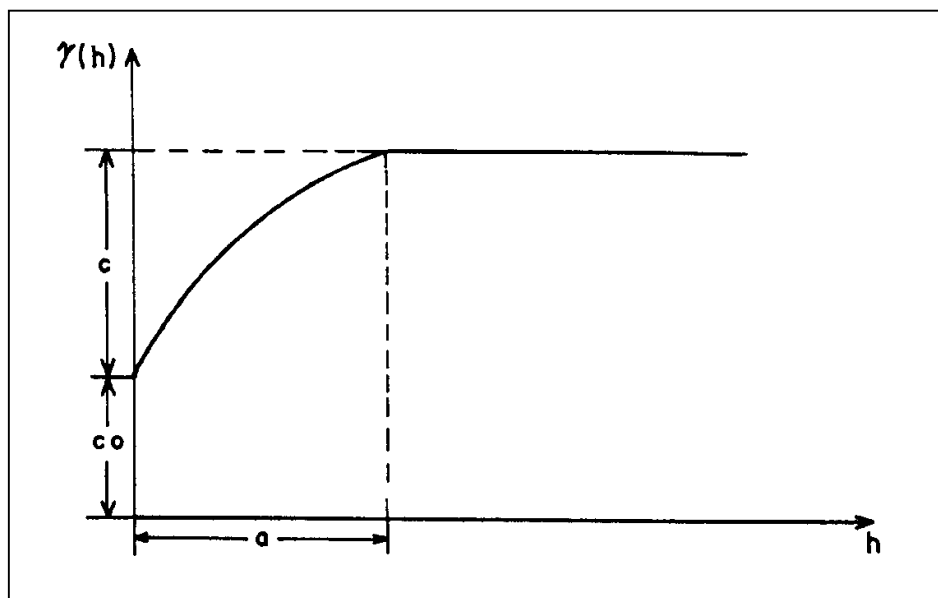


FIGURA 2 – FUNÇÃO SEMIVARIOGRAMA
Fonte: LIMA (2006)

No comportamento típico de um semivariograma ajustado, o valor de semivariância aumenta à medida que aumenta a distância de separação entre os pontos, até se estabilizar, caracterizando o patamar (dado por $C_0 + C$ na figura 2) (VIEIRA, 2000).

Já o alcance “ a ” representa a distância “ h ” a partir da qual as amostras passam a ser independentes. Assim, o alcance reflete o grau de homogeneidade da variável, pois representa o campo estruturado em que há dependência espacial. A utilização de dados amostrais na estimativa da semivariância e na construção do semivariograma, revela que, freqüentemente, para $h = 0$ a semivariância (0) difere de zero. Desse modo, diferenças entre as amostras de maior proximidade, erros de

amostragens ou erros de medidas normalmente geram esta descontinuidade na origem, denominada efeito pepita e representada pelo segmento (C_0). No ambiente R, mais especificamente no pacote geoR, o patamar parcial (C) é denominado (σ^2), o efeito pepita (τ^2) e o alcance (a) recebe o nome de alcance prático.

A escolha do modelo matemático que melhor se ajustará aos dados (semivariograma experimental) é de extrema importância na geoestatística. Deste dependerá a fase de inferência estatística e consequente predição dos valores não amostrados, portanto o ajuste do semivariograma é uma fase crucial na análise estatística de dados espaciais.

3.5.3 Krigagem

A grande maioria dos softwares de GIS (*Geographic Information System*) disponíveis atualmente já possuem ferramentas para cálculos geoestatísticos em suas plataformas, dentre as quais a interpolação é uma delas. Os métodos de interpolação mais comuns dos SIGs em geral pertencem a duas categorias: globais e locais, sendo os globais mais utilizados em superfícies de tendência, e os locais podem ser polinômios de baixa ordem, funções spline, poliedros, triangulação e médias móveis ponderadas.

A interpolação é uma técnica utilizada para a estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados, a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. A interpolação espacial converte dados de observações pontuais em campos contínuos, produzindo padrões espaciais que podem ser comparados com outras entidades espaciais contínuas. O raciocínio que está na base da interpolação é que, em média, os valores do atributo tendem a ser similares em locais mais próximos do que em locais mais afastados. Esse conceito também fundamenta a base das relações espaciais entre fenômenos geográficos, utilizando a correlação espacial como meio de diferença dos atributos estimados (CÂMARA & MEDEIROS, 1998; JAKOB & YOUNG, 2006; LAMPARELLI, 2006).

O método da krigagem se utiliza de um “modelo contínuo de variação espacial”, ou “um estimador linear não-viciado com mínima variância”, para interpolação do atributo medido, em posições não amostradas. Este estimador consiste em uma média móvel ponderada, que leva em conta a estrutura da variabilidade das medições, expressa pelo semivariograma, e pela localização dos valores conhecidos. Justifica-se assim a criteriosa escolha do semivariograma que melhor se ajusta ao dados, pois dele vai depender o processo de krigagem (IMAI et al., 2003; ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989; JAKOB & YOUNG, 2006; LAMPARELLI, 2006).

3.6 INTEGRAÇÃO DE MAPAS DE FERTILIDADE E OUTROS MAPAS TEMÁTICOS

O produto mais usual dos mapas de fertilidade gerados por interpolação tem sido a geração de mapas que permitem a aplicação de fertilizantes a taxa variável. Este mapeamento possibilita a maximização da aplicação de insumos, evitando a sub ou super dosagem, com o início da substituição do manejo tradicional pela visão sistêmica do manejo sítio específico. Entretanto, para entender e manipular o resultado final esperado na agricultura, o aumento da produtividade, se faz necessário o estudo de outros fatores intrínsecos e extrínsecos das lavouras. Estudos a campo em propriedades que adotaram a AP demonstram que os mapas de atributos químicos isoladamente pouco explicam a variabilidade espacial encontrada nos mapas de rendimento. Ou seja, a correlação entre atributos químicos de solo e rendimento de grãos tem se mostrado baixa na maioria dos estudos desenvolvidos. Isto porque, como dito anteriormente, o rendimento é função de um conjunto numeroso de variáveis que de forma integrada determina a produção a ser obtida (SANTI et al., 2009).

A sobreposição de mapas como o de precipitação, resistência a penetração do solo, ocorrência de pragas e doenças, para citar alguns, com os mapas de fertilidade e produtividade, em um ambiente GIS, permitem maior controle de operações de manejo. Além disso, esta integração possibilita o armazenamento, visualização e manipulação de dados georreferenciados ao longo do tempo,

essencial para o entendimento da atividade agrícola de maneira holística, como preconizado pela AP.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho consistiu na análise da variabilidade espacial de três parâmetros de fertilidade química do solo, teores de CTC, P e K, e posterior geração de mapas de aplicação de fertilizantes a taxas variáveis, para fins de comparação com a necessidade de fertilizantes utilizado pela agricultura convencional.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS AMOSTRAIS

Para fins de melhorias do aspecto gerencial da produção agrícola, notadamente a maximização da aplicação de calcário e fertilizantes, alguns produtores do município de Laranjeiras do Sul- PR, associados à Cooperativa de Produtores de Sementes (COPROSSEL), já mostravam interesse em investigar a relação entre a produtividade de suas lavouras e a variabilidade de fertilidade do solo. Os dados aqui apresentados foram provenientes de 24 amostras de solo coletadas na fazenda Theodoro Pesch, de propriedade dos sr. Theódor Luis.Pesch. Badotti e Odimn Pesch Badotti, em Laranjeiras do Sul-PR.

A área de estudo apresenta classificação climática Cfa de Köeppen (Clima temperado úmido com verão quente), solo predominante do tipo latossolo vermelho escuro, com teor de argila superior a 60 %, numa área agro-pastoril de 41,43 ha, que já vem utilizando o sistema de plantio direto há cerca de 8 anos.

4.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

Diante da demanda existente junto aos produtores associados, a COPROSSEL contratou a empresa Produtécnica Ltda., sediada em Pitanga-PR, para a realização de serviços técnicos em agricultura de precisão. As amostras de solo foram coletadas utilizando-se um quadriciclo marca Fourtreck, com trado perfurador de solo, e com um aparelho GNSS modelo Juno, marca Trimble embarcado, para permitir a coleta georreferenciada de dados. O aparelho rastreou utilizando o código C/A, sem pós-processamento, configurado para coordenadas geográficas, datum WGS84 e precisão posicional estimada de 2 a 5 metros. Primeiramente foi delimitado o perímetro da área, e após feita a coleta de solo propriamente dita, através da locação de um grid mais ou menos regular, conforme ilustrado na figura 3 a seguir:

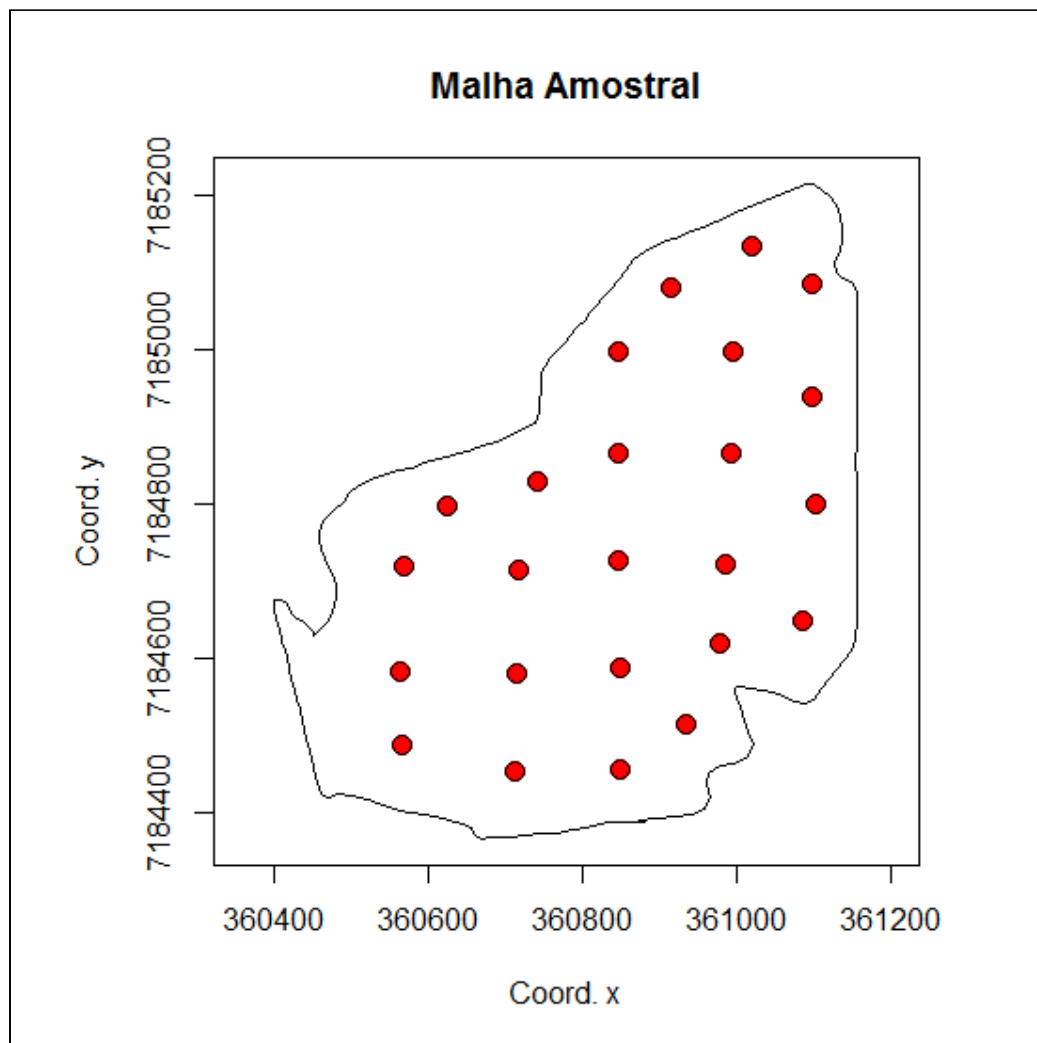


FIGURA 3 – MALHA AMOSTRAL UTILIZADA
Fonte: o autor (2012)

Durante a coleta, foram retirados aproximadamente 2 cm de profundidade da camada mais superficial, coletando com o uso do amostrador o solo até uma profundidade média de 15 cm. Para cada ponto amostrado, foram coletadas 12 sub-amostras, sendo uma central, identificada temporariamente por uma bandeira, e as 11 restantes num raio de até aproximadamente 20 m do ponto.

Este conjunto de 12 coletas simples foi misturado e homogeneizado, constituindo então uma amostra composta, fazendo-se o mesmo para cada ponto da malha. Estas foram então encaminhadas a um laboratório de análise de solos, que procedeu a análise de 9 parâmetros químicos de fertilidade (pH em água, pH_{SMP} , pH_{CaCl_2} , $K_{MEHLICH}$, $P_{MEHLICH}$, Ca, Mg, Al_{KCl} , H+Al) de maneira direta e outras 7 análises

provenientes de relação entre os parâmetros anteriores (CTC, saturação de bases, % de Ca, Mg e K na saturação de bases, relação Ca/Mg, e % de Al).

Processadas as amostras de solo, havia então como produto um conjunto de 18 parâmetros, para cada um dos 24 pontos georreferenciados, entregues em forma de relatório impresso aos proprietários da área. Dentre estes, foram escolhidos para este estudo os parâmetros CTC(cmol/Kg), P(ppm) e K(ppm) por apresentarem relação direta com as recomendações de uso de calcário e fertilizantes super fosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, insumos de interesse para o cálculo das adubações a taxa variável (SBCS, 2004). Os parâmetros selecionados para estudos encontram-se sumarizados no Anexo I deste trabalho.

4.3 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados referentes aos três parâmetros em estudo e suas respectivas localizações espaciais foram agrupados em uma planilha Excel, ordenadas em cinco colunas contendo latitude, longitude, teores de CTC, fósforo e potássio. As coordenadas geográficas foram transformadas em coordenadas UTM através do software TCGeo desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), utilizando como padrão de transformação o datum SIRGAS2000, que possui maior similaridade com o datum WGS84 das coordenadas amostradas.

4.4 ANÁLISE EXPLORATÓRIA E ESTATÍSTICA ESPACIAL

A análise exploratória, bem como a análise estatística espacial foi desenvolvida utilizando o programa estatístico “R”, versão 2.14.2 (R *Development Core Team*, 2012) com o uso do pacote geoR, versão 1.7-2 (RIBEIRO JR. &

DIGGLE, 2001). Primeiramente, calcularam-se estatísticas clássicas como o valor mínimo, médio e máximo, mediana e coeficiente de variação. Posteriormente, fez-se a plotagem da localização das amostras e seus respectivos teores, dados contra coordenadas “x”, dados contra coordenadas “y” e o histograma.

Dando continuidade ao estudo da variabilidade espacial, foi feito o ajuste do semivariograma pelo método da máxima verossimilhança, um método de ajuste direto aos dados, no qual se procura obter a partir de uma amostra, o estimador mais “verossímil” dos parâmetros de um certo modelo probabilístico (RIBEIRO JR. et al., 2005). Para tanto, foram testados diferentes valores iniciais dos parâmetros para iniciar o algoritmo, designados τ^2 e σ^2 , de maneira a obter maior estabilidade do modelo. Após os modelos ajustados, foram analisados os parâmetros de ajuste e comparados com resultados da bibliografia. Um dos parâmetros apresentados por alguns autores foi o grau de dependência espacial, dado pelo quociente entre C_0 e C .

Na krigagem ordinária dos teores de CTC, fósforo e potássio, foram usados como parâmetros do modelo aqueles obtidos no semivariograma experimental, e uma malha de 5 x 5 m para a interpolação. Na determinação dos intervalos de classes do P e K na krigagem, bem como a necessidade de fertilizantes, foram utilizados os padrões da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para adubação da soja (SBCS, 2004).

Adicionalmente aos teores dos elementos, foram calculadas as necessidades de calcário e fertilizantes necessários para a adubação a taxa variável, para efeitos de comparação com as recomendações da agricultura convencional.

No cálculo da necessidade de superfosfato simples foi tomado um teor de 20 % de P_2O_5 , e para o cloreto de potássio 60 % de K_2O por quilo de fertilizante. Nas tabelas de dupla entrada para obtenção das classes foram considerados teor de argila superior a 60 % (obtido a partir da análise granulométrica do solo e igual a 61 %), e CTC maior que $15,0 \text{ cmol/dm}^3$ (tomando por base o teor médio de CTC igual a $16,31 \text{ cmol/dm}^3$), resultando na tabela 2 abaixo.

TABELA 2 – CLASSES PARA INTERPRETAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO E NECESSIDADE DE FERTILIZANTE

Classe	Teor / Necessidade Fertilizante				
	P (ppm)	P_2O_5	S. Simples	K (ppm)	K_2O Cloreto
Muito baixo	$\leq 2,0$	70	350	$\leq 0,075$	85 140

Baixo	2,1 – 4,0	50	250	0,076 – 0,150	65	110
Médio	4,1 – 6,0	30	150	0,151 – 0,230	45	75
Alto	6,1 – 12,0	30	150	0,231 – 0,450	45	75
Muito Alto	> 12,0	30	150	> 0,450	45	75

FONTE: SBSC (2004), ADAPTADO

Para a CTC não existem padrões estabelecidos, sendo que o intervalo de classes foi dividido de maneira subjetiva, procurando levar em conta a amplitude dos dados observados. A necessidade de calcário a ser aplicado foi calculada através da seguinte fórmula:

$$NC (t ha^{-1}) = \frac{[(V_2 - V_1) \times T] \times f}{100}$$

Sendo:

NC - Necessidade de calcáreo;

V_2 - Saturação de bases desejada

V_1 - Saturação de bases existente, dada por $(S.CTC^{-1}) \times 100$

S - Soma de bases ($Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+}$)

T = $CTC_{Cmol/kg}$

f = fator de correção = 1,2 (depende da qualidade do calcário, profundidade da calagem)

O valor V_2 foi considerado como sendo 70 %, que é o adotado na prática pelos técnicos da área agrônômica para a cultura da soja, além de encontrar amparo na bibliografia (OLEYNIK et al.,1998). Para o cálculo do V_1 adotou-se a soma de bases média da área de estudo que foi de 7,66. Os valores de CTC considerados para o cálculo da necessidade de calcário foram os centros da classe.

A tabela 3 a seguir sumariza o procedimento adotado.

TABELA 3 – CÁLCULO DA NECESSIDADE DE CALCÁRIO

Intervalo da Classe	Parâmetro
---------------------	-----------

	Centro da Classe	V ₁ (%)	NC (ton.ha ⁻¹)
14,0 - 15,0	14,5	52,8	3,0
15,1 - 16,0	15,5	49,4	3,8
16,1 - 17,0	16,5	46,4	4,7
17,1 - 19,0	18,0	42,6	5,9

FONTE: O autor (2012)

Após delimitados os intervalos de classe, e obtidas as “imagens krigadas” para cada um dos parâmetros, utilizou-se da técnica de validação cruzada, método *leave one out*, obtendo uma estimativa do erro cometido. Neste método são comparados os valores observados e preditos, com a remoção sucessiva de um dado e predição em função dos dados remanescentes, até a remoção do último valor (RIBEIRO JR.,2008).

Validados os modelos, obtiveram-se as áreas de cada classe por percentual de pixels. Então, foram elaboradas as tabelas de recomendação de adubação a taxa variada, para fins de comparação com a adubação convencional. Adicionalmente, para ilustrar o problema da sub e super dosagem advindas do emprego da adubação convencional, calcularam-se as áreas correspondentes aos valores abaixo e acima dos teores médios, conforme a tabela 4 a seguir:

TABELA 4 - CRITÉRIOS PARA DETERMINAR SUB OU SUPER DOSAGEM DA ADUBAÇÃO CONVENCIONAL

Parâmetro	Teor (cmol/kg ou ppm)		
	< Valor médio	Valor médio	> Valor médio
CTC		16,13	
P	SUB DOSAGEM	5,31	SUPER DOSAGEM
K		0,65	

FONTE: O autor (2012)

Assim, teores de CTC, P e K, abaixo de 16,13; 5,31 e 0,65, respectivamente, foram caracterizados como áreas sub adubadas. Do mesmo modo, teores acima dos mencionados se enquadraram como áreas de super adubação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais resultados deste trabalho, envolvendo a análise exploratória dos dados, confecção do semivariograma e mapas temáticos de teores de nutrientes e aplicação de calcário e fertilizantes, obtidos por krigagem encontram-se descritos nos itens a seguir.

5.1 ANÁLISE EXPLORATÓRIA

A análise estatística tradicional dos parâmetros analisados encontra-se sumarizada na tabela 5 abaixo:

TABELA 5 – ESTATÍSTICAS DOS PARÂMETROS DE FERTILIDADE QUÍMICA

Parâmetro	Estatística				
	min	max	med	mediana	cv (%)
CTC	14,59	18,77	16,13	16,31	6,49
Fósforo	1,43	10,94	5,31	5,68	40,68
Potássio	0,18	0,65	0,41	0,39	29,87

FONTE: O autor (2012)

Percebe-se que para o P e K os coeficientes de variação foram maiores se comparados a CTC, tendência esta análoga a obtida por Dalchiavon et al. (2012) e Cavalcante et al. (2007). Esta maior variabilidade pode estar diretamente relacionada ao manejo da área, gerando acúmulo de P e K superficial, característico do sistema de plantio direto. O acúmulo do P superficial também apresenta relação com a sua típica baixa mobilidade no solo. Montezano et al. (2006), afirmaram que a alta variabilidade do P estaria relacionada com a aplicação de fertilizantes em linha, ao efeito da adubação residual e a exposição das camadas mais pobres nesse nutriente pelo processo de erosão superficial. Observou-se também que os valores médios se apresentaram relativamente próximos das medianas, sugerindo uma aproximação da distribuição normal.

Apesar da relativa estabilidade dos latossolos pelo seu significativo grau de intemperização, Amaro Filho et al. (2007), mencionaram uma alta variabilidade também para atributos físicos do solo, como por exemplo a granulometria.

Na bibliografia pode ser encontrada uma vasta gama de autores que procuraram classificar os diferentes valores do coeficiente de variação em níveis, baixo, médio ou intermediário e alto. Exemplos desta classificação podem ser

encontrados em Motomiya et al. (2011); Dalchiavon et al. (2012); Amaro Filho et al. (2007), Cavalcante et al. (2007).

Adicionalmente, foram plotados gráficos com a localização espacial dos dados, dados versus coordenadas e histograma, separadamente para os teores de CTC, P e K conforme figuras 4, 5 e 6 a seguir.

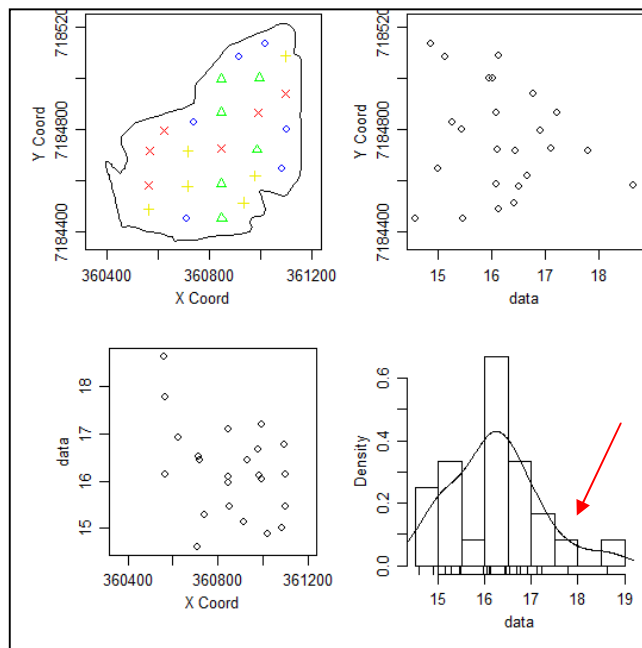


FIGURA 4 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL PARA A CTC

FONTE: o autor (2012)

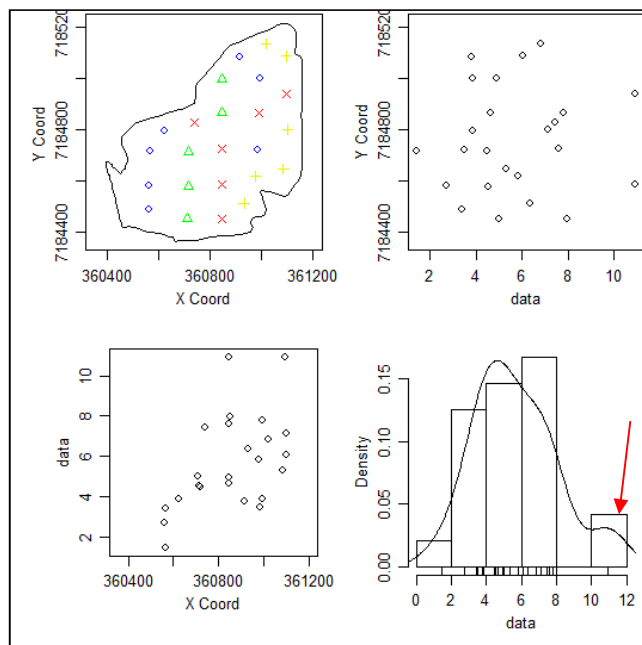


FIGURA 5 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL PARA O P
 FONTE: O autor (2012)

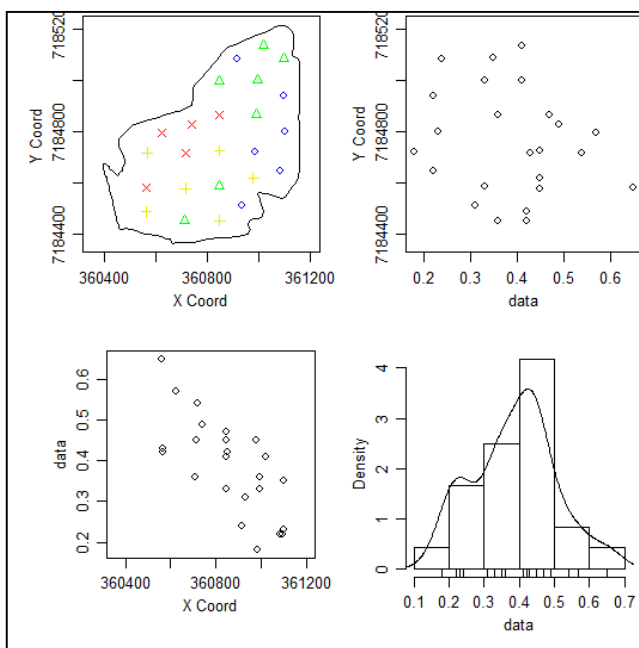


FIGURA 6 – ANÁLISE EXPLORATÓRIA ESPACIAL PARA O K
 FONTE: O autor (2012)

Para todos os parâmetros pode-se observar um certo grau de dependência espacial (caracterizado por agrupamentos mais ou menos homogêneos de pontos, representados pelo mesmo símbolo e cor). Os histogramas da CTC e do P apresentaram leve assimetria à esquerda, e caudas curtas, sendo a cauda da CTC ligeiramente mais alongada, como se percebe pelas setas indicativas em vermelho. No caso do K, percebeu-se um deslocamento dos dados à direita em relação a distribuição normal. De maneira geral, não foram detectadas discrepâncias nos dados, gradientes de distribuição direcional, nem assimetria acentuada, havendo um certo padrão de dependência espacial. Silva Neto et al. (2011) atribuíram a maior ou menor simetria dos dados à aplicação variada de adubo, sob diferentes regimes de manejo. Como a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, apenas é conveniente que as caudas dos histogramas não sejam alongadas, e não haja pontos discrepantes, não houve necessidade de transformação dos dados em estudo previamente a confecção dos semivariogramas.

5.2 ANÁLISE DOS SEMIVARIOGRAMAS

O ajuste dos semivariogramas experimentais se deu pelo método da máxima verossimilhança, o qual é frequentemente utilizado pela sua consistência e eficiência. Gomes et al. (2007), apontaram um melhor desempenho do método da máxima verossimilhança, com modelos de baixo efeito pepita, elevados graus de dependência espacial e melhor ajuste aos pontos do semivariograma comparado ao método dos quadrados médios ponderados. Os valores de *start* que possibilitaram estabilidade do modelo foram 0,75 e 100 para a CTC, 5 e 100 para o P, e 0,018 e 170 para o K, respectivamente para τ^2 e σ^2 . De maneira geral, estes valores são equivalentes ao patamar e ao alcance prático (igual a 1/3 do alcance), respectivamente. Para checar a estabilidade do modelo, foi mantido um parâmetro fixo, e variado o segundo parâmetro à metade e ao dobro de seu valor numérico. Testou-se também a qualidade do ajuste do modelo variando os dois parâmetros seguindo o procedimento descrito anteriormente. Em todas as situações testadas os valores do ajuste se mantiveram constantes.

As figuras 7, 8 e 9 a seguir mostram os modelos ajustados para cada um dos parâmetros.

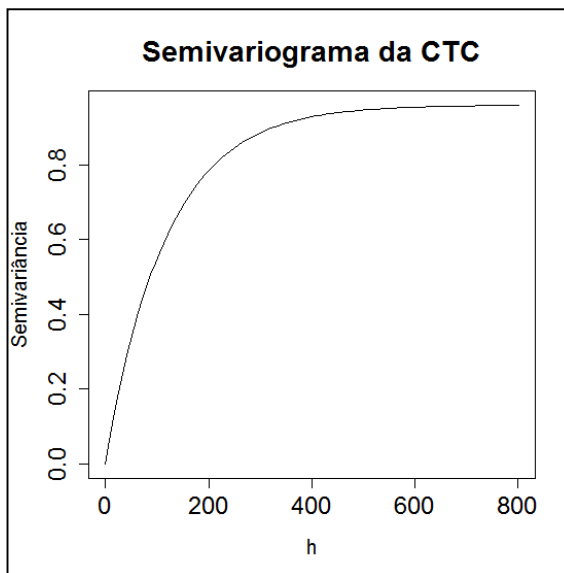


FIGURA 7 – SEMIVARIOGRAMAS DA CTC
FONTE: O autor (2012)

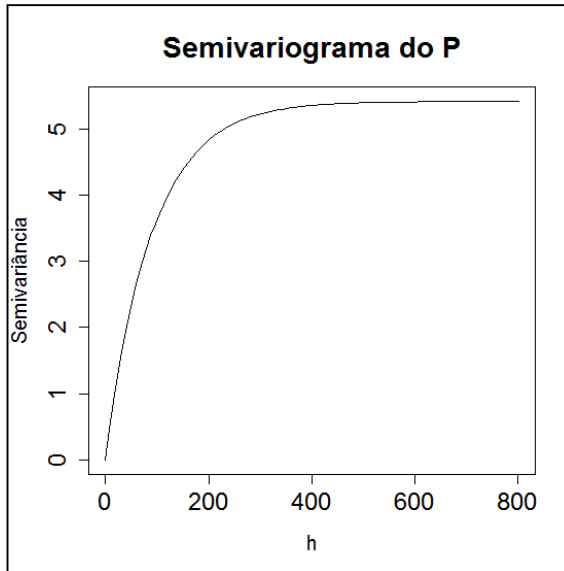


FIGURA 8 – SEMIVARIOGRAMAS DO P
FONTE: O autor (2012)

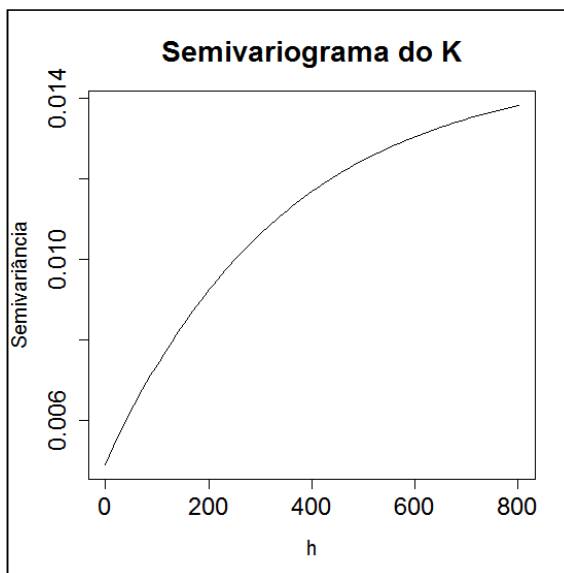


FIGURA 9 – SEMIVARIOGRAMAS DO K
FONTE: O autor (2012)

Da análise dos semivariogramas experimentais ajustados, percebeu-se que nos casos da CTC e do K, estes se estabilizaram (atingiram o "patamar") com valores numéricos de semivariâncias menores (em torno de 0,10 e 0,014, respectivamente) se comparados ao P (semivariância em torno de 5). Tal ocorrência sugere uma maior variabilidade deste elemento na área em estudo, que pode estar

relacionada tanto ao manejo de adubação, como a características físicas do solo, como por exemplo a textura.

Para um melhor entendimento dos resultados obtidos, a tabela 6 sumariza os parâmetros de ajuste para cada um dos modelos.

TABELA 6 – PARÂMETROS DE AJUSTE DOS SEMIVARIOGRAMAS

Modelo	Parâmetro				Valor ajuste
	Patamar parcial (C)	Efeito pepita (C_0)	Alcance (a)	E (C_0/C_0+C)	
CTC	0,9612	0,0000	351,86	0,00	-31,23
P	5,4200	0,0000	269,41	0,00	-53,07
K	0,0099	0,0049	1040,72	0,33	20,88

FONTE: O autor (2012)

Da análise do ajuste dos modelos, percebe-se que a CTC e o P não apresentaram efeito pepita, sugerindo pouca influência do componente aleatório. Ao contrário, o K apresentou um valor de cerca de 33 % caracterizado como componente aleatória. A descontinuidade na origem observada para o K pode estar relacionada a microregionalizações resultantes do manejo da área e a grande mobilidade no solo deste elemento. Variáveis que apresentam uma fraca dependência espacial estariam mais sujeitas a influências de fatores extrínsecos do solo, como por exemplo as práticas de manejo. Já variáveis com forte dependência espacial seriam mais fortemente influenciadas por fatores intrínsecos como mineralogia e textura. Alguns estudos sobre o SPD apontam que o uso continuado do solo pela agricultura, através do preparo do solo, aplicação de fertilizantes em linha e rotação de culturas conduz ao aumento da heterogeneidade dos atributos físicos, químicos e biológicos (SILVA NETO et al., 2011; MOTOMIYA et al., 2011).

A distância a qual a semivariância se estabiliza é considerada o alcance da dependência espacial. Alcances de 351,86 m e 269,41 m, foram observados para a CTC e o P respectivamente. Partindo deste raciocínio, Motomiya et al. (2011) sugeriram que a otimização da coleta de amostras de solo deveria seguir o valor encontrado no alcance. Assim, a distâncias maiores que o alcance as amostras não representariam a variabilidade espacial dos dados, e a distâncias menores haveria sobreposição das características amostrais, aumentando os custos relativos a coleta de amostras. Entretanto essa hipótese deve ser vista com ressalvas, pois para um ajuste adequado do modelo se requer amostras tomadas a também a distâncias menores que o alcance, para que se possa melhor captar a variabilidade do

fenômeno estudado. No caso do K por exemplo, se fossem tomadas amostras somente nas faixas do alcance de 1040,72 m, o ajuste do modelo do variograma seria prejudicado ao não considerar por completo sua variabilidade espacial, especialmente a distâncias menores. Para tentar contornar essa questão, Gomes et al.,2007 propuseram um “grid” com 80 pontos distribuídos sistematicamente ao longo da área de estudo, aliado a uma malha amostral aleatória com 79 pontos que partiu de cada um dos quatro vértices da área.

5.3 TEORES DE CTC, P E NUTRIENTES E NECESSIDADE DE FERTILIZANTES

Com base nos semivariogramas ajustados, confeccionaram-se as “imagens krigadas” para a CTC, P e K, obtendo assim as classes de teores de nutrientes e suas áreas respectivas, conforme os gráficos 2, 3 e 4 a seguir.

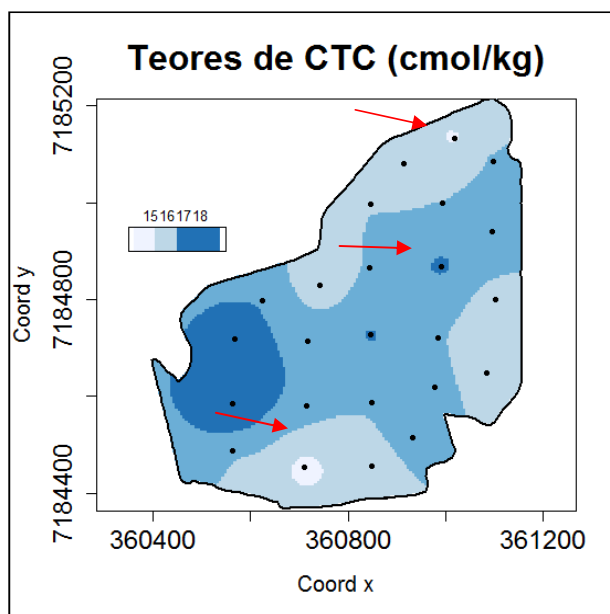


FIGURA 10 – TEOR DE CTC (cmol/kg)
FONTE: O autor (2012)

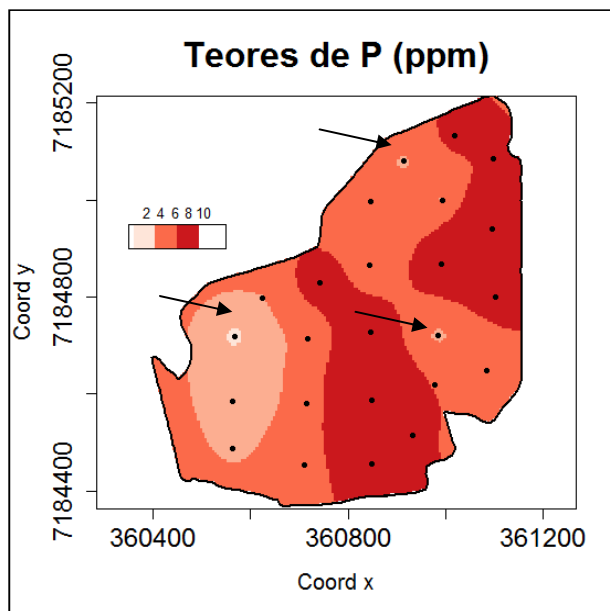


FIGURA 11 – TEOR DE P (ppm)
FONTE: O autor (2012)

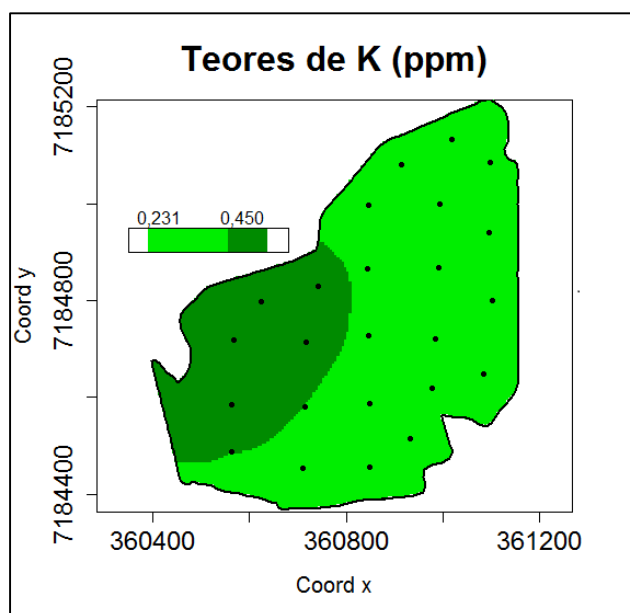


FIGURA 12 – TEOR DE K (ppm)
FONTE: O autor (2012)

Percebe-se que nas imagens geradas para a CTC e P (figura 10 e 11, respectivamente), houve a presença de alguns pontos isolados com teores discrepantes (conforme identificados pelas setas). Este fato pode sugerir uma variabilidade espacial característica do fenômeno ou mais provavelmente falhas na amostragem de solo ou análise laboratorial, necessitando ser melhor investigado.

Para checar a confiabilidade das krigagens geradas, procedeu-se a validação cruzada através do método *leave-one-out*, apresentando os erros padronizados, mínimos, médios e máximos, os quais consistem nos erros divididos pela raiz quadrada das variâncias previstas, conforme a tabela 7 a seguir.

TABELA 7 – ESTATÍSTICAS DE VALIDAÇÃO DA KRIGAGEM

Parâmetro	Estatística			
	Erro min	Erro med.	Erro máx	Variância
CTC	-1,735	-0,008	2,539	0,9892
P	-1,410	0,002	2,348	1,0152
K	-1,879	-0,004	2,273	1,0435

FONTE: O autor (2012)

Para os três parâmetros analisados, percebeu-se que o erro médio apresentou-se próximo de zero e a variância aproximadamente igual a unidade, sugerindo um ajuste adequado das krigagens (RIBEIRO JR, 2012). Adicionalmente, foi analisada a distribuição de frequência dos erros obtidos, conforme os gráficos 5, 6 e 7 a seguir.

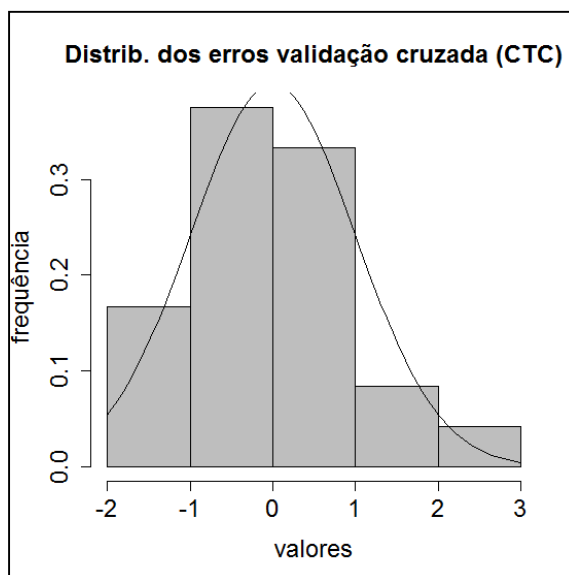


FIGURA 13 – HISTOGRAMA DOS ERROS DA VALIDAÇÃO CRUZADA DA CTC
FONTE: O autor (2012)

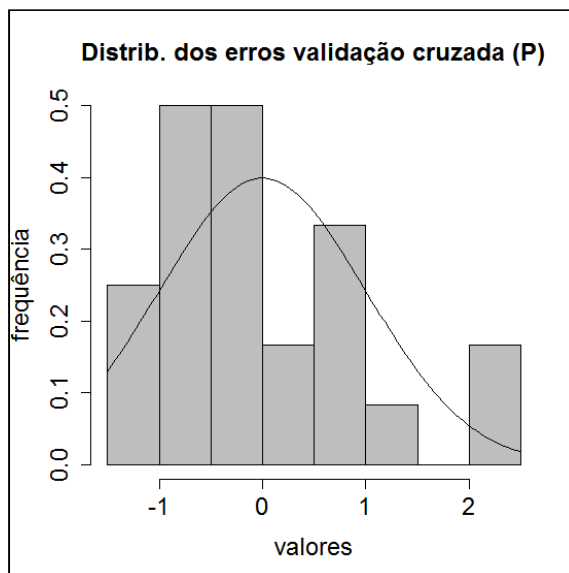


FIGURA 14 – HISTOGRAMA DOS ERROS DA VALIDAÇÃO CRUZADA DO P
 FONTE: O autor (2012)

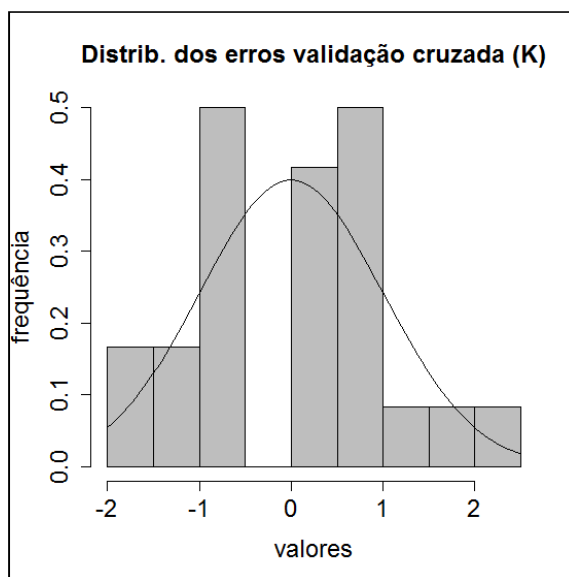


FIGURA 15 – HISTOGRAMA DOS ERROS DA VALIDAÇÃO CRUZADA DO K
 FONTE: O autor (2012)

Da análise da distribuição dos erros, percebe-se ligeira assimetria dos histogramas. No caso da CTC, o histograma se apresentou levemente deslocado para a esquerda, indicando tendência de subestimativa do modelo, o mesmo ocorrendo para o P. O histograma do K apontou dois picos, com pequena assimetria à direita, com tendência a superestimativa do modelo. De maneira geral, pode-se

dizer que os modelos tendem a normalidade, não comprometendo a avaliação das krigagens para a finalidade a que destinam.

5.4 APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES

Para o cálculo da quantidade de fertilizantes a ser utilizado em caso de adubação a taxas variáveis, procedeu-se a quantificação das áreas krigadas de CTC, P e K. Então, multiplicou-se o total de área pela necessidade de calcário e fertilizante por hectare, conforme ilustrado nas tabelas 8 e 9 respectivamente.

TABELA 8 – Necessidade de calcário por classe e área total

Classe	Centro da Classe	Área da classe	NC (ton.ha ⁻¹)	NC total
1	14,5	0,36	3,0	1,08
2	15,5	15,33	3,8	58,25
3	16,5	20,86	4,7	98,04
4	18,0	4,88	5,9	28,79
Total	-	41,43	-	186,16

FONTE: O autor (2012)

TABELA 9 – Necessidade de Superfosfato Simples e Cloreto de Potássio por classe e área total

Classe	P			K		
	Área (ha)	Necess. Fertiliz. (kg.ha ⁻¹)	NecessTotal (kg)	Área (ha)	Necess. Fertiliz. (kg.ha ⁻¹)	Necess.Total (kg)
Muito baixo	-	350	-	-	140	-
Baixo	5,59	250	1.397,50	-	110	-
Médio	19,63	150	2.944,50	-	75	-
Alto	16,12	150	2.418,00	29,64	75	2.223,00
Muito Alto	-	150	-	11,79	75	884,25
Total	41,43	-	6.760,00	41,43	-	3.107,25

FONTE: O autor (2012)

Em caso de adubação a taxas variáveis, haveria a necessidade de aplicação de 186,16 toneladas de calcário, 6,76 toneladas de superfosfato simples e 3,11 toneladas de cloreto de potássio. No caso da adubação convencional, que levaria em consideração o teor médio da CTC, P e K, a necessidade total seria igual ao produto da necessidade média de insumo pela área total. Assim, tem-se as necessidades para a área, conforme sumarizado na tabela 10.

TABELA 10 – Necessidade calcário e fertilizante utilizando a adubação convencional

Parâmetro	Amostra média	Necessidade (ton.ha ⁻¹)	Necessidade (ton)
CTC (calcário)	16,31	4,51	186,78
P (Super Simples)	5,31	0,150	6,21
K (Cloreto)	0,41	0,075	3,11

FONTE: O autor (2012)

Na agricultura convencional seriam necessárias 186,78 toneladas de calcário, 6,21 toneladas de superfosfato simples e 3,11 toneladas de cloreto de potássio, valores estes bem próximos dos encontrados para a adubação a taxa variável.

Apesar de necessidades de insumos totais relativamente similares nos dois casos, na adubação convencional toda a área é tratada de maneira homogênea. Esta visão generalista pode acarretar falhas na adubação, com algumas áreas recebendo insumos em menor quantidade que o necessário (sub dosagem) e áreas que recebem insumos a mais (super dosagem).

Adotando os critérios estabelecidos na tabela 4, calcularam-se as áreas (por percentual de pixels) de sub e super dosagem, para cada um dos insumos a serem aplicados, conforme a tabela 11 a seguir.

TABELA 11 – Sub e super dosagem de insumos

Insumo	Sub-dosagem		Super-dosagem	
	% área total	Área (ha)	% área total	Área (ha)
Calcário	54,71	22,67	45,29	18,76
Super Fosfato	43,17	17,89	56,83	23,54
Cloreto	58,61	24,28	41,39	17,15

FONTE: O autor (2012)

No caso do calcário e cloreto de potássio, predominaria a sub dosagem de insumos, em 54,71 % e 58,61 % da área total. Essa aplicação a taxas menores que a requerida pode ocasionar déficit nutricional e afetar a produtividade de culturas sensíveis a acidez elevada e que demandam teores elevados de potássio, como por exemplo a cultura do milho. Quanto ao super fosfato, observou-se que a aplicação de adubo seguindo a agricultura tradicional, resultaria em predomínio de super dosagem, em 56,83 % da área, traduzindo-se em desperdícios de fertilizantes e contaminação ambiental, em especial do solo, devido a baixa mobilidade deste elemento.

A realidade a campo apontada pelos mapas de krigagem (figuras 10, 11 e 12), indica a existência de variabilidade da fertilidade, em maiores níveis para o

calcário e fosfato, e num menor grau para cloreto de potássio. Esta variabilidade justifica a adoção de práticas de agricultura de precisão, notadamente a aplicação de fertilizantes a taxa variável, trazendo benefícios agronômicos e ambientais.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A agricultura de precisão vem ganhando corpo como sistema de gerenciamento da produção agrícola, notadamente nas últimas décadas, com o aprimoramento dos equipamentos de plantio, pulverização e colheita, bem como com o advento de instrumentos de mapeamento, processamento e armazenamento de dados. O estudo da variabilidade espacial de características de fertilidade do solo é uma área complexa que exige o conhecimento de quais variáveis afetam a produtividade, e em que grau se dá essa influência. A escolha desses parâmetros nem sempre é uma tarefa fácil, pois há que primeiro se determinar quais fatores são limitantes pra cada área e cultura.

A análise exploratória clássica se mostrou como ferramenta necessária a sumarizar os dados e sua variação em torno da média, que aliada a análise exploratória espacial possibilitou a visualização de possíveis tendências, distribuições assimétricas e dados discrepantes. Na análise dos semivariogramas, um alcance de 1040,72 m foi obtido para o P, entretanto foi o que apresentou maiores influências da componente aleatória, quando comparado a CTC e ao K. Este comportamento provavelmente está associado a sua grande mobilidade no solo e a fatores externos, como por exemplo as práticas de manejo empregadas no plantio direto.

As krigagens resultaram em quatro classes para o P e K, e somente duas classes para a CTC, havendo a presença de alguns pontos isolados com variação de teor nas imagens de CTC e P que merecem ser melhor investigados.

As necessidades de insumos da adubação a taxa variável quando comparados a adubação convencional se mostraram muito próximos, e no caso das do cloreto de potássio até numericamente idênticas. Esse fato indica que a amostragem do solo em grid da agricultura de precisão e a amostragem convencional de solo apresentaram congruência entre si, a medida que prescreveram quantidades totais de insumo semelhantes. Assim, a utilização da adubação a taxa variável não representaria vantagem direta na aquisição de insumos, já que consistiu numa "média ponderada" de necessidade de adubação, tomando por base a área e a necessidade de insumo para cada classe de fertilidade de cada elemento, conforme obtidas pela krigagem.

Entretanto, a determinação das diferentes classes de fertilidade e delimitação de suas respectivas áreas, permite a maximização da aplicação de fertilizantes, customizando quantidades de acordo com cada classe e com as recomendações agronômicas. De outro modo, os mapas de krigagem de cada elemento permitem a aplicação de fertilizantes a taxa variável, de acordo com a prescrição agronômica. Áreas com solos "mais pobres" recebem uma maior quantidade de insumos, "solos mais ricos" recebem uma menor quantidade. Outro benefício advindo desta técnica é a redução da contaminação do solo e dos cursos d'água por fertilizantes, já que a mesma evita a ocorrência de super dosagens.

As vantagens da aplicação a taxas variáveis podem ser mais significativas quanto maiores as variabilidades dos teores de nutrientes, ex. a presença de um maior número de classes, quanto maior a influência do nutriente sobre a produção e quanto maiores as áreas a serem adubadas.

Dentro deste contexto, as ferramentas de geoestatística utilizadas se mostraram de fundamental importância para a descrição e entendimento da relação espacial das variáveis estudadas, permitindo a geração dos mapas de krigagem, bem como a comparação das necessidades de insumos em aplicação convencional ou a taxa variada, propostas por este estudo.

O programa "R" mostrou-se flexível e dotado de uma ampla gama de recursos para análise geoestatística. A comparação de outros modelos de semivariogramas pode melhorar a eficiência das predições obtidas. Ainda, a

integração das funcionalidades estatísticas do R com softwares GIS pode aliar as potencialidades do primeiro com as facilidades de armazenamento, visualizações, consultas e manipulação de objetos do segundo.

Em complemento as análises realizadas neste estudo, recomenda-se ainda a produção de mapas de produtividade e a sobreposição dos mesmos a mapas de variabilidade espacial de nutrientes. Com isso pode-se melhor entender quais parâmetros químicos podem ser limitantes a produção agrícola.

7 REFERENCIAS

AMARO FILHO, J. et al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.31, n.3, p.415-422, 2007.

Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000300001> Acesso em 15 Mai 2012

ARVUS TECNOLOGIA, **Ciclo da agricultura de precisão**. Disponível em: < http://www.arvus.com.br/infos_AP.htm> Acesso em 8 Mai 2012.

BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa. Folha de Viçosa, 1990.

BUCHLEITER, G.W.; BRODAHL, M.K. **Analysis of precision farming data with classification trees**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Bloomington, 2000. Proceedings... Bloomington, 2000. CD ROM.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. Rio de Janeiro. Freitas Bastos, 1989 7ª edição.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações**

na agricultura. 2. ed. ver. ampl. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, pp.3-11, 1998.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MENEZES, J. S. Representações Computacionais do Espaço: Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação. Revista Geografia (UNESP), v. 28, n.1, p. 83-96, 2003

CANALLI, L. B. et al. **Conservação do solo: quem usa protege**. Curitiba: SENAR-PR, 2010.

CAVALCANTE, E. G. S. Variabilidade espacial de M.O.,P,K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, 2007. p. 394-400. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000200015 Acesso em: 15 Mai 2012

CEPEA. PIB do Agronegócio. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>> Acesso em 04 out.2010.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>> Acesso em: 24 set. 2011

CRUZ, J.C. Cultivo do milho. In: Embrapa Milho e Sorgo. **Sistemas de produção, 1**. Versão eletrônica, 2006. Disponível em: http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2e/d/mandireto.htm Acesso em 17 Mai. 2012

DALCHIAVON, F.C et al. Variabilidade especial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob sistema de plantio direto.**Revista Ciência Agrônômica**. Ceará, v.43, n.3, p.453-461, 2012. Disponível em:<
<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1538>>
Acesso em 15 Mai 2012

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA (ISBN 85-7383-260-6), 2004.

EMBRAPA. Glossário. In Embrapa Arroz e Feijão. **Sistemas de produção, 7**. Versão eletrônica, 2006. Disponível em:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/glossario.htm> Acesso em 17 Mai. 2012

FERRAZ, G. A. E. S. et al. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, Feb. 2012. Disponível em : <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000100015&lng=en&nrm=iso>. acesso em 04 Mai 2012.

FOOK, K.D. **Integração da estatística espacial em ambiente GIS**. Monografia de Qualificação em Computação Aplicada – INPE, São José dos Campos, 2005. Disponível em:< <http://www.dpi.inpe.br/~karla/qualificacao.pdf>> Acesso em 10 Fev 2012

FUENTES LLANILLO, R. et al. **Plantio direto. Em busca da qualidade**. Curitiba: SENAR-PR, 2010.

GOMES, N. M. et al. Ajuste de variogramas no estudo da continuidade espacial de atributos físicos do solo. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.1, p.92-107, 2007. Disponível em: < <http://200.145.140.50/ojs1/viewissue.php?id=23>> Acesso em 15 Mai 2012

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resource evaluation**. Michigan: Oxford University, 1997.

GUIMARAES, E. C. Geoestatística básica e aplicada. Uberlândia, 2004. Disponível em:<<http://ednaldoufu.webnode.com.br/geoestatistica/>> Acesso em 10 Fev 2012

IMAI, N. N. et al. Análise comparativa da interpolação por krigagem e krigagem por indicação no caso de ervas daninhas em cultura de soja. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, XXI, 2003, Belo Horizonte. Disponível em: www.cartografia.org.br/xxi_cbc/232-SG50.pdf Acesso em 15 Mai 2012

INAMASU, R. Y. et al., Agricultura de Precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. In: _____ **Agricultura de Precisão: um novo olhar**. 3ª Edição. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação, 2011. p. 14-26. Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/laboratorio-nacional-de-agricultura-de-precisao/livro-agricultura-de-precisao-um-novo-olhar/introducao>> Acesso em: 05 Mai 2012.

ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An Introduction to Applied Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

ISHIKAWA, M. I.; BARROS, Z. X. de. **Determinação das coordenadas dos vértices limítrofes de imóveis rurais utilizando-se do Posicionamento GPS.** Disponível em: < <http://200.145.140.50/index.php/energia/article/view/48>> Acesso em 08 out.2010.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG. A.F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 15, 2006, Campinas. **Anais...** Disponível em: < http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006_388.pdf> Acesso em 23 Mai 2012.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining Geostatistics.** London: Academic Press, 1978.

LAMPARELLI, R.A.C; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações.** Guaíba: Edipecc, 2001.

LIMA, E. R. V. de., Geoestatística Aplicada ao Estudo de Solos. In: **3º Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**, Aracaju, 25 outubro 2006. Anais... Aracaju: Mini Curso. Disponível em: < <http://www.cpatc.embrapa.br/srgsr/programa.html>> Acesso em 04 Mai 2012.

MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A. (Ed). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** San Diego. Academic Press, 1995 2nd edition.

MEDRI, W. **Análise exploratória de dados.** In: Curso de especialização Lato Senu em Estatística. Centro de Ciências Exatas – CCE. Departamento de Estatística. Londrina: UEL, 2011.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão. Parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento.** Disponível em: < <http://www.leb.esalq.usp.br/artigosap.php>> Acesso em 30 Abr. 2012

MONTE SERRAT et al. **Conhecendo o solo**. 1. Ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2002.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 30, n. 5, Oct. 2006 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000500010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 04 Mai 2012

MOTOMIYA, A. V. de A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo e produtividade do algodoeiro. **Revista Agrarian**. Dourados, v.4, n.11, p.01-09, 2011. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/artigosap.php>> Acesso em: 15 Mai 2012

NOGARA NETO, F. et al . Atributos de solo e cultura espacialmente distribuídos relacionados ao rendimento do milho. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 35, n. 3, June 2011 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000300036&lng=en&nrm=iso>. acesso em 06 Mai 2012.

OLEYNIK, José. **Análises de solo**. 5.Ed. Curitiba: EMATER, 1998.

QUEIROZ, R. B. et al. Estudo Comparativo entre as Técnicas Máxima Verossimilhança Gaussiana e Redes Neurais na Classificação de Imagens IR-MSS CBERS 1. In: I WorkComp Sul. 2004, Florianópolis. **Anais**. Disponível em: <<http://inf.unisul.br/~ines/workcomp/cd/pdfs/2307.pdf>> Acesso em: 9 Mai 2012.

PEREIRA, M. A. **Viabilidade técnica e econômica da aplicação de fertilizantes em taxa variável em glebas comerciais do 2º planalto paranaense**. 93f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, Disponível em: <<http://www.R-project.org/>> Acesso em 01 Dez 2011.

RIBEIRO JÚNIOR, P.J; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. R-NEWS, 1(2):15-18. June, 2001.

RIBEIRO JR. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.69, p. 25-37, 2005. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr69/cap02.pdf> Acesso em 20 Mai 2012.

RIBEIRO JÚNIOR., P.J. **Análises exploratórias iniciais e espaciais**. Curitiba, 2008
Disponível em: < <http://leg.ufpr.br/geoR/tutorials/explora.R>> Acesso em 12 Fev 2012.

RIBEIRO JÚNIOR., P.J. Análise exploratória de dados espaciais. Curitiba, 13 abr 2012. Comunicação verbal.

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTES, C.Z. **Sistema plantio direto**. O produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SAMPAIO, M. da S. et al. Avaliação do comportamento da variabilidade espacial do fósforo remanescente no solo de lavoura cafeeira. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, 2011, Curitiba. **Anais**. P.9203-9210. Disponível em:
< <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0977.pdf>> Acesso em 15 Mai 2012

SANTI, A. L., et al. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**. ed.109. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009 ,

SILVA NETO, S.P. et al. Análise espacial de parâmetros de fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes regimes de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v.32, n.2, p.541-552, 2011.

Disponível em:
<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/download/3925/7407>
Acesso em 15 Mai 2012

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem** para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10ª Ed. Porto Alegre, 2004.

SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Por to Alegre, 1992. 162p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SRINIVASAN, A. (Ed.) et al. **Handbook of Precision Agriculture: principles and applications**. New York: Food Products, 2006.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

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.

ANEXO I - PONTOS AMOSTRAIS, COORDENADAS
E VALORES

Ponto	Longitude	Latitude	CTC	K	P
1	360564	7184488	16.13	0.42	3.41
2	360563	7184584	18.64	0.65	2.72
3	360567	7184719	17.79	0.43	1.43
4	360624	7184797	16.91	0.57	3.87
5	360742	7184830	15.28	0.49	7.44
6	360717	7184715	16.45	0.54	4.47
7	360715	7184580	16.52	0.45	4.55
8	360711	7184454	14.59	0.36	5.01
9	360849	7184455	15.47	0.42	7.97
10	360848	7184587	16.1	0.33	10.94
11	360846	7184727	17.11	0.45	7.59
12	360845	7184865	16.09	0.47	4.63
13	360847	7184998	15.96	0.41	4.93
14	360915	7185081	15.14	0.24	3.79
15	361019	7185134	14.88	0.41	6.83
16	360994	7184999	16.03	0.33	3.87
17	360992	7184867	17.21	0.36	7.82
18	360985	7184721	16.11	0.18	3.49
19	360978	7184619	16.67	0.45	5.84
20	360933	7184515	16.43	0.31	6.37
21	361085	7184648	15	0.22	5.31
22	361101	7184800	15.45	0.23	7.14
23	361096	7184940	16.77	0.22	10.94

24	361098	7185086	16.13	0.35	6.07
----	--------	---------	-------	------	------

ANEXO II - "SCRIPTS DO R"

```

## para carregar o pacote GeoR e tcltk2##
require(geoR)
require(tcltk2)

## carregando os dados CTC, P e K e transformando no formato geodata##
all.data <-
read.csv("C:/Users/Neto/Desktop/monografia/material_apoio/R/dadosAvelino_alt.csv", header =
TRUE, sep= ",")
    ctc.geo <- as.geodata(all.data, coords.col=1:2, data.col=3)
    pot.geo <- as.geodata(all.data, coords.col=1:2, data.col=4)
    fos.geo <- as.geodata(all.data, coords.col=1:2, data.col=5)

## adicionando um arquivo com as bordas da área
ctc.bor <-
read.table("C:/Users/Neto/Desktop/monografia/material_apoio/R/bordas_utm_alt.csv", header =
FALSE, sep = ",")
    ctc.geo$borders <- ctc.bor
    fos.bor <-
read.table("C:/Users/Neto/Desktop/monografia/material_apoio/R/bordas_utm_alt.csv", header =
FALSE, sep = ",")
    fos.geo$borders <- fos.bor

```



```

    pot.bor <-
read.table("C:/Users/Neto/Desktop/monografia/material_apoio/R/bordas_utm_alt.csv", header =
FALSE, sep = ",")
    pot.geo$borders <- pot.bor

## análise exploratória espacial dos dados##
plot(ctc.geo)
plot(fos.geo)
plot(pot.geo)

## plotando os semivariogramas ##
ctc.vario <- variog(ctc.geo)
fos.vario <- variog(fos.geo)
pot.vario <- variog(pot.geo)

## ajustando o semivariograma pelo método da max. verossimilhança ##
mod.ctc <- likfit(ctc.geo, ini=c(0.75,100))
mod.fos <- likfit(fos.geo, ini=c(5,100))
mod.pot <- likfit(pot.geo, ini=c(0.018,170))

## plotando uma linha ao semivariograma ajustado ##
lines(mod.ctc, main="Semivariograma da CTC", xlab="h", ylab="Semivariância")
lines(mod.fos, main="Semivariograma do P", xlab="h", ylab="Semivariância")
lines(mod.pot, main="Semivariograma do K", xlab="h", ylab="Semivariância")

## criando um grid de predição##
gr.ctc <- pred_grid(ctc.geo$borders, by = 5)
gr.fos <- pred_grid(fos.geo$borders, by = 5)
gr.pot <- pred_grid(pot.geo$borders, by = 5)

## fazendo a krigagem ##
kc_ctc <- krige.conv(ctc.geo, loc=gr.ctc, krige=krige.control(obj.m=mod.ctc))
kc_fos <- krige.conv(fos.geo, loc=gr.fos, krige=krige.control(obj.m=mod.fos))
kc_pot <- krige.conv(pot.geo, loc=gr.pot, krige=krige.control(obj.m=mod.pot))

## validação cruzada ##
xvalid(ctc.geo, model=mod.ctc)
xvalid(fos.geo, model=mod.fos)
xvalid(pot.geo, model=mod.pot)

```

```

## histograma dos erros padronizados da validação cruzada ##
ste.ctc <- c(-0.82848661, 2.53875113, 0.86952207, 0.46172844, -1.37381316, -
0.21871511, 0.31543178, -1.73521809, -0.45218664, -0.34067210, 1.12242860, -0.10981234,
0.20725423, -0.70287001, -1.17524600, -0.09333147, 1.29154246, -0.24554325, 0.85496738,
0.51622097, -1.32200440, -0.94883191, 0.69070853, 0.48607235)
ste.fos <- c(-0.52734607, -0.58908115, -1.40115614, -0.31250802, 1.15760615, -
0.54291561, -0.56651456, -0.28580630, 0.75854660, 2.31486290, 0.74768977, -0.80679841,
0.01980103, -0.73322801, 0.79099173, -1.32901635, 0.85284688, -1.40954783, -0.03590548, -
0.43123122, -0.06595902, 0.30219294, 2.34800583, -0.20632200)
ste.pot <- c(-0.63629100, 2.27330881, -1.04617939, 1.06445726, 0.18077225,
0.76176263, 0.01780317, -0.73604272, 0.63915513, -0.82048113, 0.50846038, 0.69731784,
0.36747641, -1.59275586, 0.90558242, 0.02142501, 0.54244881, -1.87870236, 1.72776642, -
0.67628780, -0.98939063, -0.57120538, -1.05507647, 0.20188594)

hist.ctc <- hist(ste.ctc, xlab="valores", ylab="frequência", main="Distribuição dos erros da
validação cruzada (CTC)", col="gray")
hist.fos <- hist(ste.fos, xlab="valores", ylab="frequência", main="Distribuição dos erros da
validação cruzada (P)", col="gray")
hist.pot <- hist(ste.pot, xlab="valores", ylab="frequência", main="Distribuição dos erros da
validação cruzada (K)", col="gray")

## carregando o pacote Color Brewer e criando paletas de cores##
require(RColorBrewer)
cores.ctc <- brewer.pal(4, "Blues")
cores.fos <- brewer.pal(4, "Reds")
cores.pot <- brewer.pal(3, "Greens")

## visualização dos dados da krigagem ##
image(kc_ctc, breaks=c(14.6,15,16,17,18.6), col=cores.ctc, main="Teores de CTC
(cmol/kg)", xlab="Coord x", ylab="Coord y",x.leg=c(360350,360550), y.leg=c(7184900,7184950),
coords.dat=ctc.geo$coords)
image(kc_fos, breaks=c(0,2,4,6,10.87), col=cores.fos, main="Teores de P (ppm)",
xlab="Coord x", ylab="Coord y",x.leg=c(360350,360550), y.leg=c(7184900,7184950),
coords.dat=fos.geo$coords)
image(kc_pot, breaks=c(0,0.231,0.45,0.54), col=cores.pot, main="Teores de K (ppm)",
xlab="Coord x", ylab="Coord y",x.leg=c(360350,360680), y.leg=c(7184900,7184950),
coords.dat=pot.geo$coords, cex=.5)

## calculando as faixas de variação dos teores de CTC, P e K

```

```
range(kc_ctc$pred)
range(kc_fos$pred)
range(kc_pot$pred)

## calculando as áreas por classe em (%) ##
mean(kc_ctc$pred > 14 & kc_ctc$pred < 15)*100
mean(kc_ctc$pred > 15 & kc_ctc$pred < 16)*100
mean(kc_ctc$pred > 16 & kc_ctc$pred < 17)*100
mean(kc_ctc$pred > 17 & kc_ctc$pred < 18.6)*100

mean(kc_fos$pred > 2 & kc_fos$pred < 4)*100
mean(kc_fos$pred > 4 & kc_fos$pred < 6)*100
mean(kc_fos$pred > 6 & kc_fos$pred < 12)*100

mean(kc_pot$pred > 0.151 & kc_pot$pred < 0.231)*100
mean(kc_pot$pred > 0.231 & kc_pot$pred < 0.45)*100
mean(kc_pot$pred > 0.450)*100

## analisando teores abaixo dos valores médios ##
mean(kc_ctc$pred < 16.31)
mean(kc_fos$pred < 5.31)
mean(kc_pot$pred < 0.41)
```

