



JOSÉ ADRIANO DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO LATOSSOLO NO CAMPUS INCONFIDENTES**

**INCONFIDENTES-MG
2018**

JOSÉ ADRIANO DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO LATOSSOLO NO CAMPUS INCONFIDENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão do curso superior de Bacharelado em Engenharia Agrônômica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – campus Inconfidentes, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof^o DSc. Cleber Kouri de Souza

**INCONFIDENTES-MG
2018**

JOSÉ ADRIANO DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS
QUÍMICOS DO LATOSSOLO NO CAMPUS INCONFIDENTES**

Data da aprovação: _____ de _____ 2018.

Profº. D.Sc. Cleber Kouri de Souza
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes
Orientador

Profº. M.Sc. Bruno Manoel Rezende de Melo
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes

Profº. D.Sc. Mosar Faria Botelho
IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes

DEDICATÓRIA

À minha mãe Gonçalina Adriana,

A meu pai José Antonio.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo agradeço a Deus por haver-me guiado, concedido forças, coragem e iluminado meu caminho até este momento de minha vida.

Quero agradecer muita a minha família que sempre me apoiou e deu forças durante estes 5 anos e meio. Minha mãe Gonçalina Adriana, por todo amor e carinho e apoio, meu pai José Antonio que mesmo depois de falecer continuou e continua me ensinando muito, meu irmão José Alexandre que sempre confiou em mim e apesar das brigas nós nos amamos, minha tia Marli que sempre orou muito pelo meu sucesso, aos quatro em especial o meu “MUITO OBRIGADO”.

Agradeço ao IFSULDEMINAS por todas as oportunidades concedidas, desde o primeiro ano, com bolsas, auxílios, experiências vividas e o intercâmbio.

Agradeço às amizades feitas em Inconfidentes, meus grandes amigos Vinicius, Bruno e Andrew. Agradeço as pessoas que me ajudaram e ensinaram muito nesse caminho até aqui: Daniele, Jennifer, Alessandra e Jefferson. Agradeço também a todos meus companheiros de turma, por estes incríveis anos,

Agradeço muito ao MÉXICO, país onde vivi os melhores 4 meses e meio de minha vida, agradeço a toda vivencia que tive neste encantador e maravilhoso país. Agradeço muito a Diana Anahí Pérez Torres, minha melhor amiga e companheira, que me ajudou e ensinou muito não apenas sobre seu país, mas sobre a vida, levarei suas lembranças comigo para toda a vida.

Agradeço ao Professor Cleber Kouri de Souza, pela ajuda e orientação neste trabalho.

Minha gratidão a todos os professores do IFSULEDMINAS que me ajudarem a crescer tanto como pessoa e profissional.

RESUMO

A agricultura de precisão é um sistema de manejo agrícola que tem como um de seus princípios a heterogeneidade de atributos que um solo pode ter, assim como o grau de dependência que essas características possuem em função do espaço e do tempo. Determinar as diferenças espaciais da fertilidade de um solo permite um aproveitamento de mão de obra, maquinário e insumos que possibilitam a maximização do desempenho agrícola de uma cultura. Com o intuito de estudar o comportamento da variabilidade espacial dos atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo eutrófico, foram feitas amostragens de solo no esquema de malha regular de 30m por 30m, em um talhão onde é cultivado anualmente milho para silagem. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de solos para análise química completa. Foram definidos os valores de acidez potencial, acidez ativa, níveis de fósforo, potássio. Determinou-se, também, após concluídas as análises químicas a necessidade de calagem segundo o método da saturação por bases. Os resultados obtidos foram submetidos a análise estatística descritiva e análise geoestatística. Posteriormente elaboraram-se mapas de distribuição espacial para explanação da dinâmica dos atributos químicos estudados. A variabilidade foi classificada como baixa apenas para acidez ativa, média variabilidade fósforo e acidez potencial, e alta para potássio e NC. O modelo matemático esférico apresentou bom ajustes para os semivariogramas, foram observados alcances de 142 m, 187 m, 72 m, 195 m e 211,9 m para pH, P, K, H+Al e NC, respectivamente. As recomendações de calagem para a correção da acidez do solo e de adubações para os próximos cultivos a serem realizados na área devem considerar variabilidade espacial da fertilidade do solo

Palavras-chave - Geoestatística. Mapas de variabilidade. Grau de dependência espacial.

RESUMÉN

La agricultura de precisión es un sistema de manejo agrícola que tiene como en sus principios la heterogeneidad de atributos que un suelo puede tener, así como el grado de dependencia que esas características poseen en función del espacio y del tiempo. Las diferencias espaciales de la fertilidad de un suelo permiten un aprovechamiento de mano de obra, maquinaria e insumos que posibilitan la maximización del desempeño agrícola de un cultivo. Con el fin de estudiar el comportamiento de la variabilidad espacial de los atributos químicos de un latosol rojo-amarillo eutrófico (Oxisol Aquox Eutraquox), y así entender la dinámica que involucra características genéticas de suelo en combinación del manejo adoptado en el área. Se realizaron muestreos de suelo en el esquema de malla de 30m por 30m, en un terreno donde se cultiva anualmente maíz para silaje. Enseguida las pruebas fueron encaminadas al laboratorio de análisis de suelo para análisis químico completo. Se definieron los valores de acidez potencial, acidez activa, niveles de fósforo potásico y necesidad de calcáreo. Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo y análisis geoestadístico. Posteriormente se elaboraron mapas de variabilidad espacial para explicar la dinámica de los atributos químicos estudiados. La variabilidad fue clasificada como baja sólo para la acidez activa, media variabilidad al fósforo y acidez potencial, y alta variabilidad para potasio y necesidad de calado. El modelo matemático esférico presentó un buen encuadramiento para los semivariogramas, donde se observaron alcances de 142 m, 187 m, 72 m, 195m y 211,9 m para pH, P, K, H + Al y NC, respectivamente. Las recomendaciones de calado para la corrección de la acidez del suelo y de fertilizantes para los próximos cultivos a ser realizados en el área deben considerar variabilidad espacial de la fertilidad del suelo

Palabras clave - Geoestadística. Mapas de variabilidad. Grado de dependencia espacial.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 3 |
| 2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO | 3 |
| 2.2 FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO | 4 |
| 2.3 ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA | 5 |
| 2.4 VARIABILIDADE ESPACIAL E ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO..... | 6 |
| 2.5 AMOSTRAGENS DE SOLO | 8 |
| 3. MATERIAL DE MÉTODOS | 10 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 15 |
| 5. CONCLUSÕES | 29 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 30 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Representação gráfica de semivariograma..... | 6 |
| Figura 2 – Malha amostral da área | 10 |
| Figura 3 – Mapa da distribuição espacial da acidez ativa | 20 |
| Figura 4 – Mapa da distribuição espacial da acidez potencial | 22 |
| Figura 5 – Mapa da distribuição espacial da disponibilidade de fósforo | 24 |
| Figura 6 – Mapa da distribuição espacial da disponibilidade de potássio..... | 26 |
| Figura 7 – Mapa da distribuição espacial da necessidade de calagem | 28 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação de coeficientes de variação | 11 |
| Tabela 2 - Características físicas do solo amostrado na área experimental no ano de 2015 no município de Inconfidentes-MG | 12 |
| Tabela 3 - Características químicas do solo amostrado na área experimental no ano de 2015 no município de Inconfidentes-MG | 12 |
| Tabela 4 - Classificação do grau de dependência espacial..... | 13 |
| Tabela 5 - Classes de interpretação para variáveis químicas de solo | 14 |
| Tabela 6 - Resultado da análise estatística descritiva..... | 15 |
| Tabela 7 - Estimativa dos parâmetros efeito pepita, patamar, alcance, grau de dependência e raiz quadrada do erro, dos modelos ajustados aos semivariogramas | 17 |

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento exponencial da população mundial, o aumento da temperatura média do planeta e a escassez dos recursos de origem natural a agricultura se encontra face a face com dilemas ambientais, econômicos e sociais. Nos últimos 30 anos a pesquisa por métodos tecnológicos de produção, onde seja possível maior produtividade na mesma área, tornou-se prioridade para a agronomia. Entre o aprimoramento biológico de plantas, desenvolvimento de novos insumos, pesquisas em tecnologias de maquinário, surge a agricultura de precisão, como um método diferenciado de gestão de recursos, através do uso de tecnologias de diferentes ramos da ciência em benefício da produção agrícola.

Os princípios da agricultura de precisão baseiam-se na suposição de que o solo não é homogêneo, características químicas, físicas e biológicas e de gênese o conferem variabilidade, assim como as técnicas de manejo do homem pode acentuar estas diferenças. A agricultura de precisão busca conciliar tecnologias que possibilitem a identificação dessa heterogeneidade, com métodos de manejos diferenciados dentro de uma mesma área. Tais técnicas possibilitam mais atenção a locais deficientes e economia de recursos em locais que possuam melhores condições para o cultivo.

A variabilidade dos atributos do solo é frequentemente descrita pela estatística clássica, a qual assume que a média de determinada variável em uma unidade amostral, é o valor tomado como índice de qualidade em toda a área, com o erro sendo expresso pela variância dos valores (CORÁ et al., 2004). Entretanto, sabe-se que o comportamento dos atributos de solo não ocorre ao acaso, e sim de acordo com algum arranjo estrutural que

possui características espaciais e temporais definidas dentro de uma distância onde seus valores são próximos, tendo como limite o ponto onde os valores são independentes.

O conhecimento desta dependência espacial contribui para o entendimento de como as características do solo e ações antrópicas, podem ter influência sobre produtividade agrícola e a partir disso possibilita a adoção de um sistema de agricultura de precisão.

Considerando a necessidade de um melhor entendimento da dinâmica dos atributos químicos de solo em um talhão destinado a produção de milho silagem foi conduzido este estudo, com o intuito de caracterizar a variabilidade espacial de alguns atributos químicos de solo, e elaborar mapas de distribuição espacial destes atributos e compara-los com o sistema convencional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Serão abordados os princípios e objetivos da agricultura de precisão, as ferramentas necessárias a adoção deste sistema, propriedades da geoestatística, as características da variabilidade espacial dos atributos químicos de solo e as diferenças dos métodos de amostragem convencional e georreferenciada.

2.1 A AGRICULTURA DE PRECISÃO

Agricultura de precisão em sua essência é um conjunto de técnicas e recursos tecnológicos de apoio ao gerenciamento dos sistemas de produções agrícolas com os objetivos de racionalizar o uso de insumos, maximizar os resultados econômicos, otimizar os recursos disponíveis e preservar o meio ambiente.

Segundo Coelho e Silva (2009), o conceito de agricultura de precisão está normalmente associado à utilização de equipamento de alta tecnologia (sejam equipamentos, ou programas de computador) para avaliar, ou monitorizar, as condições numa determinada parcela de terreno, em seguida aplicando os diversos fatores de produção (sementes, fertilizantes, fitofármacos, reguladores de crescimento, água) em conformidade.

Os mesmos autores também dizem que o monitoramento e a aplicação diferenciada, exigem a utilização de tecnologias recentes, como os sistemas de posicionamento a partir de satélites (GNSS - Global Navigation Satellite System), os sistemas de informação geográfica (SIG) e os sensores eletrônicos, associados a reguladores

automáticos de débito nas máquinas de distribuição e a medidores de fluxo de entrada nas máquinas de colheita.

Segundo Mantovani (2005), agricultura de precisão é uma forma de gestão de todo o processo agrícola que leva em consideração a variabilidade existente nas lavouras. Logo é necessário avaliar, quantificar e mapear essa variabilidade, a fim de gerenciá-la eficientemente. Considera-se que o ponto de partida para se começar a praticar agricultura de precisão, demanda a identificação desta variabilidade. Além disso, estão sendo viabilizadas técnicas de agricultura de precisão para o gerenciamento econômico de sistemas de produção agrícola, visando a melhoria de produtividade, para as culturas. Também são desenvolvidos mapas georreferenciados de caracterização da área de produção, tais como altimetria, textura, matéria orgânica, fertilidade do solo, incidência de pragas, doenças, plantas daninhas e produtividade.

2.2 FERRAMENTAS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO

Para a implementação de agricultura de precisão dentro de uma lavoura faz-se necessário o uso de diversas ferramentas de sensoriamento remoto, satélites de posicionamento global, softwares de SIG (sistemas de informações geográficas) e manipulação de dados com geoestatística (SHIRATSUCHI, 2001).

Os satélites de posicionamento global permitem a localização georreferenciada e precisa de todos os pontos de interesse que existam dentro da área agrícola a ser estudada. Um dos sistemas mais comumente utilizados é GPS (Global Positioning System), que foi desenvolvido pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América na década de 1960. O sistema funciona através da triangulação de um grupo de satélites, onde, o tempo de transmissão dos sinais entre o usuário e os satélites na órbita terrestre determina o posicionamento terrestre do ponto em questão.

Até princípios dos anos 2000, o sinal disponibilizado pelo governo norte americano possuía um erro de posicionamento proposital, devido a questões de segurança militar. Devido à retirada desse erro, diversos equipamentos práticos de campo tiveram sua precisão melhorada, fato este que possibilitou aprimoramento da qualidade do georreferenciamento e tornou mais difundida a utilização de instrumentos de agricultura de precisão (MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015).

Sistemas de informações geográficas são um dos principais instrumentos para a compreensão da distribuição espacial de um número elevado de informações. Estes se baseiam na aplicação de softwares que analisam, processam e organizam os dados obtidos no campo. É um instrumento de manuseio de dados espaciais, de modo que permitem a geração de mapa e análise estatística para apresentação das informações em um sistema comum de coordenadas geográficas. Os dados são divididos em mapas de acordo com sua especificidade, como, tipo de solo, doenças, pragas, fertilidade e física de solo. Feitas as comparações entre os diferentes mapas, é possível aprimorar o entendimento do sistema de produção, auxiliando na tomada de decisões (MAROIS, 2000).

2.3 ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA

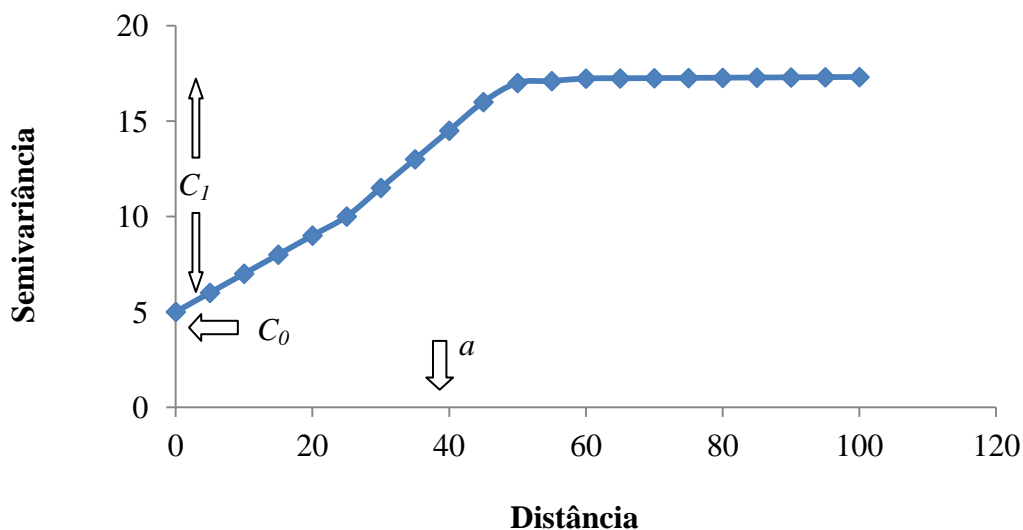
A estatística tradicional faz o uso de parâmetros como desvio padrão, média, mediana para poder fazer analogia a um fenômeno, e parte do princípio que as variações de um local para o outro são aleatórias. Contudo a geoestatística tem por característica a consideração que a organização das informações possui dependência espacial até certo ponto a partir da origem principal do grupo de dados (VIEIRA, 2000). Por isso em agricultura de precisão as duas vertentes devem se complementar.

A análise descritiva tem o objetivo de observar o comportamento geral dos dados (distribuição, magnitude de variabilidade, assimetria e curtose). Este tipo de análise é necessário, pois apesar de considerarem-se os dados espacialmente independentes, com ela é possível a identificação de dados atípicos que podem influenciar nas análises geoestatísticas (COELHO e SILVA, 2009).

Os valores de assimetria e curtose referem-se a proximidade entre a distribuição da frequência dos dados e a distribuição normal cujos valores para variáveis de solo geralmente podem ser 0 e 3, adimensionais, em função do software utilizado (OLIVEIRA et al, 1999; DODD et al., 2006).

Dentro da geoestatística o semivariograma, representado na Figura 1, é responsável por esquematizar a dependência espacial das informações e determina o grau de similaridade entre valores das variáveis, através da distância de separação e direção.

Figura 1 – Representação gráfica de semivariograma



Fonte: GREGO, OLIVEIRA e VIEIRA, (2014) - Adaptado

Para isso são utilizados três principais parâmetros, sendo eles, alcance (a), que representa a distância limite de dependência entre as amostras; efeito pepita (C_0) refere-se ao valor do semivariograma na interceptação do eixo Y e representa o comportamento da variação ao acaso, e patamar (C_0+C_1) que representa o valor máximo da assíntota vertical do modelo ajustado. Dividindo o efeito pepita pelo valor do patamar obtém-se o grau de dependência espacial.

Grego, Oliveira e Vieira, (2014), afirmam que a validação de modelos geoestatísticos é melhor adequada quando utilizam-se as mesmas equações em todas as variáveis, assim, os atributos de semivariograma (alcance, efeito pepita e patamar) podem ser explanados em base do mesmo modelo matemático.

2.4 VARIABILIDADE ESPACIAL E ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLO

As características e atributos de solo que influenciam no desempenho agrônômico de uma determinada espécie, bem como o impacto de seu cultivo no meio ambiente variam de acordo com o espaço e o tempo. Devido a isso, conhecer a variância temporal e espacial dos fatores de produção é um dos princípios para a adoção plena de um sistema de agricultura de precisão (CORÁ et al, 2004)

Os principais fatores que influenciam a variabilidade de atributos de um solo dentro de uma mesma área são os processos de sua formação, as práticas de manejo adotadas

para as culturas de interesse, o relevo, o volume e o fluxo de escoamento das águas (MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015).

A heterogeneidade do solo é uma de suas propriedades que o tipifica e a distribuição de seus atributos ocorre devido a sua origem (SOUZA et al., 2001). O manejo pode alterar atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto principalmente nas camadas superficiais do solo (CARVALHO, TAKEDA e FREDDI, 2003). Acidez, disponibilidade de nutrientes (fósforo, potássio, magnésio, ferro) e as recomendações do manejo (correções de acidez e adubação) são algumas das características altamente influenciadas por estas propriedades.

De acordo com Lopes, Silva e Guilherme, (1991) a acidez do solo pode ser dividida em acidez ativa e acidez potencial, e esta, por sua vez, em acidez trocável e acidez não trocável. Souza et al., (2004), observaram que a acidez ativa de um latossolo apresentava baixa variabilidade e forte dependência espacial nas camadas superficiais. A acidez potencial pode ter alta heterogeneidade de sua distribuição em diferentes solos, sendo altamente influenciada pelos manejos aplicados ao solo em função do cultivo, principalmente a calagem (GOMES et al., 2008).

A dinâmica do fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo, assim como o manejo aplicado. Nos latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas (RHEINHEIMER, GATIBONI e KAMINSKI, 2008). Silva, Reichert e Storck, (2003) ao observar um latossolo cultivado com milho, em seu estudo verificaram que o fósforo apresentou o maior alcance dentre as variáveis observadas e seus valores demonstraram forte dependência espacial.

O potássio é um íon positivo de caráter básico, e a difusão é o principal responsável pelo seu transporte da solução do solo até as raízes, na solução do solo podendo apresentar valores elevados e assim conferindo-lhe maior mobilidade em relação ao fósforo (SILVA, 2000). Segundo Corá et al., (2004), ao observar a variabilidade espacial do potássio em diferentes latossolos, verificaram que sua dependência espacial foi moderada em todos os casos, e seu alcance mostrou-se inferior a outros atributos como acidez potencial, disponibilidade de fósforo e saturação por bases.

O conhecimento da distribuição de variabilidade espacial do solo em determinado talhão é importante para um melhor rendimento das práticas de manejo agrícola que possibilitem melhorar a exploração sem afetar a sanidade ambiental. Do mesmo modo o

conhecimento desta heterogeneidade do solo é importante para o levantamento da classificação dos solos, para a avaliação de sua fertilidade e desenvolvimento de esquemas de amostragem mais adequados para o planejamento experimental assim como as práticas mais adequadas à exploração que visem tanto o lado econômico como o ambiental (OLIVEIRA et al, 1999).

2.5 AMOSTRAGENS DE SOLO

Uma amostragem de solo, para ser representativa, necessita que a área seja o mais homogênea possível, assim, a propriedade em questão deve ser dividida em glebas ou talhões levando-se em consideração: vegetação, histórico da área (cultura atual, anterior, e o uso de fertilizantes), características de solo (cor, textura e drenagem), e posição topográfica (encosta, baixada, várzea) (COELHO e SILVA, 2009)

A amostragem de solo da agricultura convencional é realizada a partir da coleta de amostras simples que representarão como um todo o talhão ou gleba de interesse. Partindo-se deste pressuposto espera-se que uma única amostra que é enviada ao laboratório possa representar todos os atributos físico-químicos da área estudada (CANTARUTTI et al., 1999).

Na análise convencional, os pontos amostrais para a coleta são poucos, por este motivo é feita sobre a média da lavoura, um ponto que possua menor incidência de determinada praga é aplicada a mesma quantidade de um defensivo que um ponto que possua alta incidência, ou vice-versa, ocorrendo dessa maneira uma distribuição desuniforme do defensivo. (MOLIN, AMARAL e COLAÇO, 2015).

A análise de solo na agricultura de precisão faz uso de GNSS, onde são coletados vários pontos amostrais, dentro de um talhão onde geralmente recomenda-se uma quantidade pré-determinada de pontos amostrais em função do tamanho da área (VIEIRA, 2000). Segundo Brasil (2013), a coleta de amostras georreferenciadas tem o objetivo de determinar as necessidades do solo com maior detalhamento quando comparado à prática da amostragem convencional, dividindo o talhão em quadrículas imaginárias, regulares ou não, e em cada quadrícula retirando-se amostras.

Na agricultura de precisão, as amostragens são georreferenciadas e espaçadas nas áreas, diferindo do conceito tradicional. Para tanto, Roloff e Fochi (2002) propõem utilizar a metodologia denominada de "malha de amostragem". Depois disso é realizada a análise de

solo, e esta tem seus resultados inseridos em um software que fará a interpretação dos dados marcados por satélite e relacionaram as variáveis para originar os mapas georreferenciados da área.

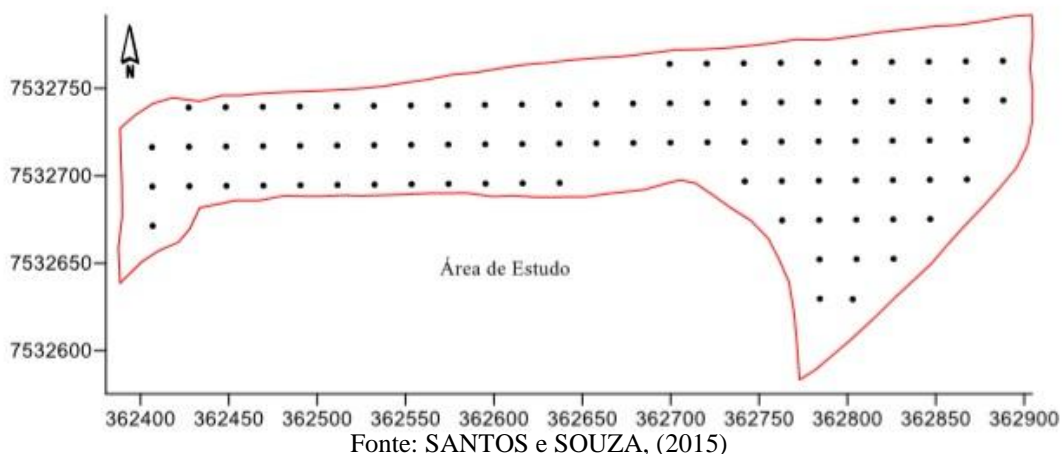
Segundo Inamasu (2013), a agricultura de precisão não se restringe ao uso de máquinas, computadores e tecnologia GNSS para o monitoramento da propriedade agrícola. Na propriedade como um todo, devem-se identificar as diferenças de locais, para que não haja desperdício para o agricultor e prejuízo para o meio ambiente.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área de cultivo de milho silagem (4,75 ha) da Fazenda escola do IFSULDEMINAS Campus Inconfidentes - MG, altitude 869 m, latitude - 22° 19' 01'', longitude 46°19'54,9''. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico, com predominância argilosa (SOUZA, 2015). O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é o Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado) (SÁ JÚNIOR, 2014)

A área foi demarcada em esquema amostral de formato em malha (grid) regular de 30 m x 30 m totalizando 86 pontos georreferenciados (FIGURA 2). Em cada ponto foram coletadas 10 amostras simples, para composição de uma composta, respeitando um raio de 5 metros em torno do ponto, em uma profundidade de 20 cm, com auxílio de um trado tipo sonda amostral.

Figura 2 – Malha amostral da área.



As amostras foram identificadas e submetidas ao Laboratório de Solos do IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes para determinação das variáveis acidez ativa (pH em H₂O), acidez potencial (H+Al – cmol_c dm⁻³), disponibilidade de fósforo (P – mg dm⁻³), e disponibilidade de potássio (K – mg dm⁻³). Utilizaram-se os métodos de análises químicas de solo conforme recomendado por Teixeira et al, (2017). Também foi determinada a necessidade de calagem (NC) a ser aplicada por meio do método da saturação por bases, segundo o descrito por Alvares e Ribeiro (1999) pela equação abaixo:

$$NC = \frac{T(Ve-Va)}{PRNT} \quad (1)$$

NC = Necessidade de Calagem (t ha⁻¹)

T = H+Al + Ca⁺² + Mg⁺² + K⁺² (cmol_c dm⁻³)

Ve = Saturação por bases esperada (No trabalho considerou-se 60%)

Va = 100 * $\frac{Ca + Mg + K}{H+Al + Ca + Mg + K}$ (%)

PRNT = Poder reativo de neutralização total do calcário utilizado – 85% em todos os cálculos

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos à análise por meio de estatística descritiva utilizando-se o GEOSTAT a partir do software STAT conforme descrito por Vieira, Millete e Topp (2002). Realizou-se o cálculo de média, mediana, mínimo, máximo, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Para fins de comparação ocuparam-se os limites de coeficiente de variação (%) segundo o proposto por Warrick e Nielsen (1980), apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de coeficientes de variação.

| Classificação | Baixa | Média | Alta |
|----------------------|--------------|--------------|-------------|
| Valores | ≤ 12% | 12 a 60% | ≥ 60% |

Fonte: WARRICK e NIELSEN (1980)

Foi feita a comparação dos dados da amostragem georreferenciada com os resultados obtidos da análise química e física a partir da amostragem convencional do mesmo talhão (Tabela 2 e 3).

Tabela 2 - Características físicas do solo amostrado na área experimental no ano de 2015 no município de Inconfidentes-MG

| Profundidade | Areia | Silte | | Argila |
|--------------|-------|---------------|--|--------|
| | | ----- % ----- | | |
| 0-20 cm | 23,41 | 13,59 | | 63,00 |

Fonte: SOUZA (2015)

Tabela 3 - Características químicas do solo amostrado na área experimental no ano de 2015 no município de Inconfidentes-MG.

| pH | P | K | Al | Ca | Mg | H+Al | SB | CTC | V | NC |
|------------------|---------------------|-------|--|------|------|------|------|------|-------|--------------------|
| H ₂ O | mg dm ⁻³ | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | % | t ha ⁻¹ |
| 5,83 | 18,90 | 35,50 | 0,00 | 1,90 | 0,60 | 2,89 | 2,61 | 5,51 | 47,44 | 0,81 |

Fonte: LIMA, (2017)

Para avaliar a variabilidade espacial, utilizou-se o software VESPER 1.63 partindo-se dos princípios de estacionaridade e hipótese intrínseca. A autocorrelação entre pares de pontos vizinhos separados por uma distância h foi calculada através da semivariância $\gamma(h)$ conforme a equação abaixo:

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

Onde $\gamma^*(h)$ é a semivariância estimada a partir dos dados experimentais; Z são os valores medidos das variáveis nos pontos x_i e $x_i + h$; N(h) é o número de pares de valores medidos Z(x_i), Z(x_i+h), separados por um vetor h.

Utilizaram-se os modelo esférico (3), gaussiano (4) e exponencial (5) (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

$$\gamma^*(h) = C_0 + C \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a}\right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \quad (3)$$

Para $0 < h \leq a$,

e

$$\gamma^*(h) = C_0 + C$$

Para $h \geq a$.

$$y^*(h) = C_0 + C[1 - \exp(-\left(\frac{h}{a}\right)^2)] \quad (4)$$

Para $h \geq 0$.

$$y^*(h) = C_0 + C[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)] \quad (5)$$

Fez-se o cálculo do grau de dependência espacial dividindo-se o efeito pepita pelo patamar. Para confrontar as variáveis ocupou-se a faixa de aceitação proposta por Cambardella et al. (1994), observada na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação do grau de dependência espacial.

| Dependência Espacial | Forte | Moderada | Fraca |
|-----------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| Valores | $\leq 25\%$ | 25 a 75% | $\geq 75\%$ |

Fonte: CAMBRADELLA et al., (1994)

Depois de verificada a dependência espacial e aplicadas as equações de modelagem para definição de seus atributos, os resultados foram submetidos à estimativa geoestatística de valores por meio de krigagem no software VESPER 1.63. Utilizou-se este método pois ele apresenta estimativas não tendenciosas, mínima variância associada ao valor estimado e leva em consideração pontos além do alcance que podem ser considerados como pertencentes à vizinhança. O produto obtido foi salvo e transferido ao software QGIS 2.18.7 onde foram elaborados os mapas e inseridas os requisitos cartográficos.

Os valores observados foram divididos em classes para cada atributo de acordo com a classificação proposta por Alvarez et al., (1999), onde o fósforo é classificado em função dos teores de argila presentes no solo (TABELA 5). Para NC os valores foram agrupados em cinco classes para manter o padrão de classificação das outras variáveis.

Tabela 5 – Classes de interpretação para variáveis químicas de solo.

| Variável | Classificação | | | | |
|------------------------------------|----------------------|--------------|--------------|-------------|-------------------|
| | Muito Baixo | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |
| Acidez Ativa * | < 4,5 | 4,5 – 5,4 | 5,5 – 6,0 | 6,1 – 7,0 | > 7,0 |
| Acidez Potencial | ≤ 1,00 | 1,01 – 2,50 | 2,51 – 5,00 | 5,01 – 9,00 | > 9,00 |
| Disponibilidade de Fósforo | | | | | |
| Teor de Argila (%) | Muito Baixo | Baixo | Médio | Bom | Muito Bom |
| 60 - 100 | ≤ 2,7 | 2,8 – 5,4 | 5,5 – 8,0 | 8,1 – 12,0 | > 12,0 |
| 35 – 59 | ≤ 4,0 | 4,1 – 8,0 | 8,1 – 12,0 | 12,1 – 18,0 | > 18,0 |
| 15 – 34 | ≤ 6,6 | 6,7 – 12,0 | 12,1 – 18,0 | 18,1 – 30,0 | > 30,0 |
| 0 - 14 | ≤ 10,0 | 10,1 – 20,0 | 20,1 – 30,0 | 30,1 – 45,0 | > 45,0 |
| Disponibilidade de Potássio | | | | | |
| | ≤ 15 | 16 - 40 | 41 - 70 | 71 - 120 | > 120 |

* A classificação indica adequado (bom) ou inadequado (muito baixo, baixo, alto e muito alto)

Fonte: ALVAREZ et al., (1999) - Adaptado

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da análise estatística descritiva dos atributos acidez ativa, acidez potencial, potássio, fósforo e necessidade de calagem, na camada de 0 à 0,20 m, na área de estudo.

Tabela 6 – Resultado da análise estatística descritiva.

| Atributo | Média | Med. | Mín. | Máx. | Coeficientes | | |
|----------|-------|-------|-------|--------|--------------|------------|---------|
| | | | | | Varição (%) | Assimetria | Curtose |
| pH | 5,80 | 5,72 | 4,80 | 7,83 | 7,67 | 1,80 | 6,54 |
| P | 28,82 | 23,84 | 8,22 | 90,95 | 54,41 | 1,53 | 3,37 |
| K | 41,57 | 30,80 | 12,20 | 152,70 | 71,21 | 1,83 | 2,82 |
| H+Al | 4,70 | 4,46 | 1,17 | 8,47 | 31,22 | 0,10 | -0,29 |
| NC | 1,49 | 1,44 | 0,00 | 4,29 | 64,74 | 0,46 | -0,17 |

Med. = Mediana; Min. = Mínimo; Máx. = Máximo

Fonte: Do Autor (2018)

A partir da comparação das médias obtidas pela amostragem georreferenciada com os resultados analíticos (Tabela 3), observou-se que a variável potássio apresentou valores de 35,5 mg dm⁻³ contra 41,47 mg dm⁻³; a acidez potencial de 2,89 cmol_c dm⁻³ contra 4,70 cmol_c dm⁻³ e, a NC de 0,81 t ha⁻¹ contra 1,49 t ha⁻¹. Para acidez ativa, o valor das duas variáveis estão próximos, sendo de 5,83 para a amostragem convencional e 5,80 (pH em água) para a georreferenciada, e para a variável fósforo o resultado analítico foi ligeiramente superior de 18,90 mg dm⁻³ para 28,82 mg dm⁻³, com uma diferença de 9,92 mg dm⁻³. Observa-se que para todas as variáveis a média dos resultados da amostragem georreferenciada é maior que os apresentados pela amostragem convencional. Afere-se pela

comparação das médias que em uma recomendação de aplicação de calcário em área total, os valores analíticos subestimaria a dose a ser aplicada.

De acordo com a interpretação das classes definidas na Tabela 5, para a média das variáveis, pH, fósforo e H+Al foram enquadradas dentro na mesma classificação, tanto para os resultados analíticos quanto para a amostragem georreferenciada, sendo adequado, muito bom e médio, respectivamente. A disponibilidade de potássio foi classificada como baixa pelo método analítico e médio pelas amostras georreferenciadas. Estes resultados, auxiliam na definição de talhões uma vez que refletem probabilidade de resposta diferenciadas das culturas a aplicação de fertilizante.

A análise da amplitude dos dados revela que houve uma variação de 11 vezes para fósforo, aproximadamente 13 vezes para potássio, 4 vezes para a NC e de 7 vezes para acidez potencial sendo a menor amplitude observada para acidez ativa de 1,5 vezes. Esses resultados reforçam a dificuldade de se trabalhar com o sistema convencional de amostragem uma vez que este pode superestimar ou subestimar os resultados analíticos. Tomando a variável potássio como referência nota-se que a classificação dada pela Tabela 5, que existem faixas enquadrada desde muito baixo a muito bom, caso fosse considerado apenas o valor obtido pelo sistema convencional a variável seria enquadrada como de baixa disponibilidade, neste caso, nota-se que haveria na área locais que receberiam fertilizantes em excesso, pois não seriam considerados os pontos que apresentam níveis mais elevados de potássio.

A observação da amplitude dos dados permite-se aferir que a recomendação por amostragem convencional é passível de restrições devido ao fato de basear-se em uma única dose para toda a área, e neste caso a quantidade de fertilizantes ou defensivos pode não suprir ou corrigir as necessidades agrônômicas do cultivo em questão.

Segundo a classificação da Tabela 1, o valor do coeficiente de variação para pH, P, K, H+Al, e NC foram classificados como baixa, média, alta, média e alta variabilidade, respectivamente. Uma alta variabilidade nos dados reflete o observado na amplitude, onde houve grande diferença dos valores medidos. Assim, uma alta variabilidade dos dados dentro da área indica uma maior dispersão dos valores em relação média observada o que acarreta em uma menor continuidade de distribuição dos valores na área.

Sch lindwein e Anghinoni, (2000) atribuem a alta variabilidade dos atributos químicos de solo aos efeitos da aplicação de fertilizantes e manejo do solo, o que proporciona a existência de locais com valores extremamente baixos e altos das variáveis.

Todas as variáveis apresentaram assimetria positiva com coeficientes entre 0,46 a 1,80, entretanto para curtose H+Al e NC, apresentaram valores negativos, -0,29 e -0,17 respectivamente. Segundo a classificação adotada por Oliveira et al, (1999); Dodd et al., (2006) para os valores de assimetria e curtose as variáveis fósforo e potássio pode-se observar que houve maior simetria de resultados, já que apresentaram valores de assimetria e curtose próximos ao padrão, 0 e 3 respectivamente. Apenas os valores de acidez potencial e NC ficaram distantes aos padrões, pois obtiveram curtose negativa.

De acordo com Cressie (1993), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, desde que a distribuição dos dados não apresente extremidades da distribuição muito alongadas. Assim conclui-se que apesar de algumas das variáveis não apresentarem distribuição de valores dentro dos padrões esperados para atributos de solo, esses resultados não tiveram influência negativa nas análises geoestatísticas.

Na Tabela 7, são apresentados os resultados da modelagem geoestatística para os atributos pH, P, K, H+Al e NC da área de estudo.

Tabela 7 - Estimativa dos parâmetros efeito pepita, patamar, alcance, grau de dependência e raiz quadrada do erro, dos modelos ajustados aos semivariogramas, para as propriedades químicas estudadas.

| Atributo | Modelo | C ₀ | C ₀ +C ₁ | A (m) | GDE | RQSM |
|----------|----------|----------------|--------------------------------|--------|-------|-------|
| pH | Esférico | 0,01 | 0,25 | 142,10 | 3,52 | 0,03 |
| P | Esférico | 33,42 | 386,22 | 187,30 | 8,65 | 40,55 |
| K | Esférico | 72,98 | 231,88 | 72,00 | 31,47 | 55,23 |
| H+Al | Esférico | 0,00 | 2,88 | 195,10 | 0 | 0,12 |
| NC | Esférico | 0,07 | 1,22 | 211,9 | 5,73 | 0,04 |

C₀ = Efeito pepita; C₀+ C₁ = patamar; a = alcance; GDE = grau de dependência; RQSM = raiz quadrada do erro médio.

Fonte: Do Autor (2018)

Todas as variáveis foram ajustadas ao modelo esférico, que de acordo com Trangmar et al. (1987), Cambardella et al. (1994), Souza, Cogo e Vieira (1997) e Oliveira et al. (1999) é o modelo que melhor se ajusta a variáveis de solo.

A partir da análise dos modelos nota-se que o alcance (a) foi maior que o espaçamento amostral, indicando que as amostras foram representativas para o estudo da variabilidade.

O alcance indica a máxima distância onde os pontos estão correlacionados entre si, ou seja, quanto maior o alcance, maior a área do círculo em que os valores vizinhos são tão semelhantes que podem ser utilizados para estimar o valor de qualquer ponto entre eles. Um

futuro esquema amostral para a área poderia considerar a coleta de duas amostras por hectare, pois estas seriam representativas para as cinco variáveis observadas levando-se em consideração o menor alcance observado que foi o potássio.

Segundo a classificação proposta apresentada na Tabela 4, todos os valores apresentaram forte dependência espacial, com exceção do potássio, que teve dependência moderada. Um grau de dependência espacial forte indica que os pontos estão altamente correlacionados e apresentam valores próximos, assim, a variável apresenta grande continuidade espacial na área, o que é validado ao observar os valores de alcance, onde o K foi quem apresentou o menor alcance, já os fatores classificados como dependência forte obtiveram alcance de 142 a 211 m.

Observou-se similaridade na análise geoestatística da acidez potencial e ativa, Montezano, Corazza e Muroaka (2006), afirmam que estas variáveis estão intimamente correlacionadas, sendo que variações na primeira podem implicar em variações na segunda.

A NC apresentou dependência forte e o maior alcance. A NC é uma variável dependente de H+Al, assim, o comportamento dos valores de H+Al influenciaram no cálculo da NC, e conseqüentemente na sua análise geoestatística.

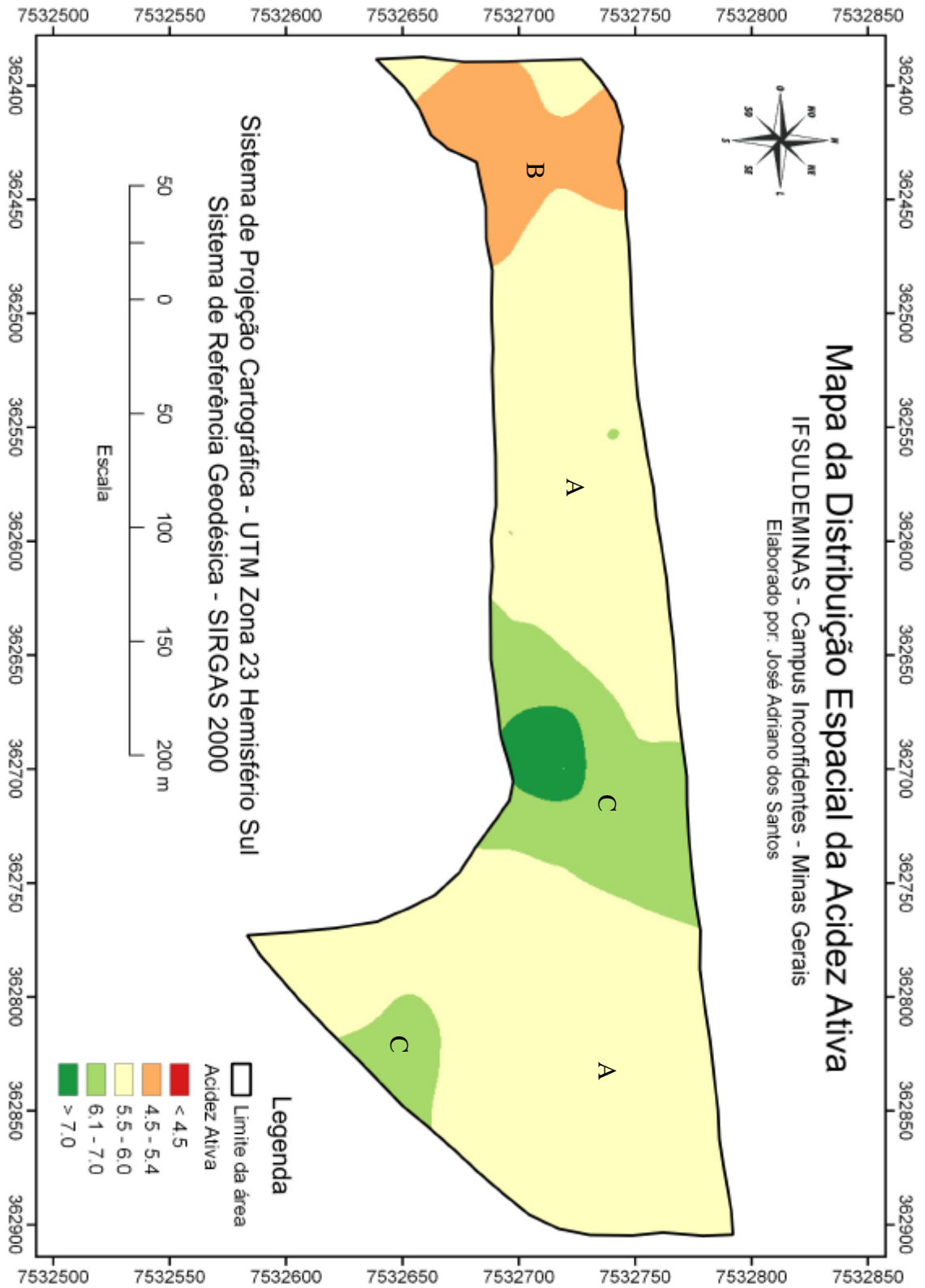
O índice de RMSQ auxilia na validação do modelo escolhido e dos parâmetros para o ajuste do semivariograma. Quanto menor o valor obtido pelo teste de RMSQ, mais bem ajustado está o modelo, de modo que o efeito pepita influenciará na grandeza obtida no teste.

Observa-se que pH, H+Al e NC, obtiveram RQSM de 0,03, 0,12 e 0,04 respectivamente, P e K apresentaram RQSM de 40,55 e 55,23. Souza, Cogo e Vieira (1998), Oliveira et al, (1999), Silva, Reichert e Storck, (2003) e Corá e Beraldo, (2006), em seus trabalhos obtiveram melhor ajuste do modelo esférico para variáveis de solo validado pelo teste de RQSM.

Na Figura 3 é apresentada a distribuição espacial de acidez ativa. A maior parte da área apresenta valores considerados adequados (5,5 - 6,0) zonas “A” (3,37 ha), segundo o apresentado na Tabela 5. Os valores considerados inadequados <5,4 e >6,0 encontram-se em duas áreas bem distintas, zonas “B” (0,43 ha) e “C” (0,95 ha) respectivamente. Essas observações só são possíveis por meio de amostragem georreferenciadas, a qual possibilita visualizar a distribuição espacial da variável em estudo.

A análise geoestatística permitiu detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial das medidas estudadas, e a partir dela a elaboração de mapas temáticos observação do comportamento espacial da acidez ativa. A amostragem ao acaso falharia em apresentar as variações encontradas dentro de um talhão escondendo as diferenças locais que podem existir.

Figura 3 – Mapa da distribuição espacial da acidez ativa.



Para a variável acidez potencial (H+Al), sua distribuição espacial é apresentada na Figura 4. Seus valores foram agrupados em cinco classes divididos segundo a classificação proposta na Tabela 5.

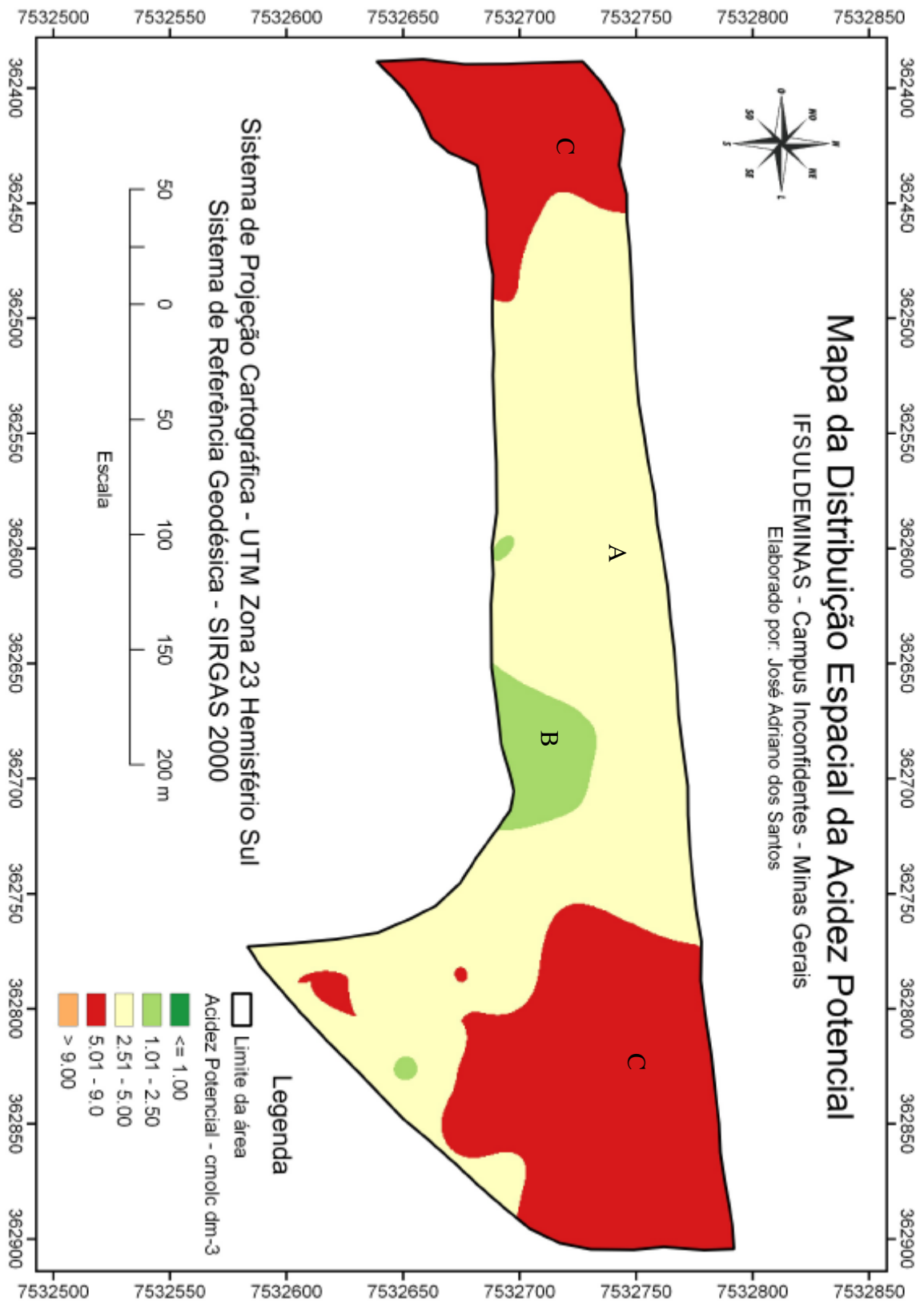
Nota-se que há uma predominância do nível de classe médio ($2,51 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} - 5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) distribuído em quase toda a extensão do talhão, zona A – 2,66 ha. Observou-se uma área classificadas como baixo ($1,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} - 2,50 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e duas como bom ($5,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3} - 9 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), zonas “B” (0,23 ha) e “C” (1,86 ha), respectivamente.

Houve semelhança nos padrões de ocorrência de manchas para acidez ativa e potencial, ambos os mapas apresentaram predominância de valores médios e extremidades e centro com valores mais críticos. A distribuição espacial dos valores de pH em água, H+Al e saturação por bases possuem correlação (SOUZA, COGO e VIEIRA, 1998).

Gomes et al., (2008) afirmam que nas camadas mais superficiais os atributos de solo podem apresentar forte variação, já que esta camada é onde são aplicados os fertilizantes além de estar mais sujeita a interferências climáticas.

A observação de zonas correlacionadas na distribuição espacial de atributos químicos do solo é importante, pois constitui fundamental medida para o planejamento de avaliação experimental em uma área já que auxiliam na definição dos procedimentos de amostragem.

Figura 4 – Mapa da distribuição espacial da acidez potencial.



O mapa da distribuição espacial da variabilidade do elemento fósforo dividido segundo a classificação da Tabela 5 é esquematizado na Figura 5.

Praticamente toda a área é classificada como muito bom em teores de fósforo, zona “A” (4,51 ha), apenas uma pequena parcela é classificada na classe bom, zona “B” (0,24 ha).

Apesar da alta amplitude apresentada pelo fósforo, sua distribuição no mapa não foi tão expressiva devido a escala de classificação utilizada. O valor mínimo observado foi suficiente para a disponibilidade ser classificada como boa, assim todos os outros valores foram enquadrados nesta classe ou superior.

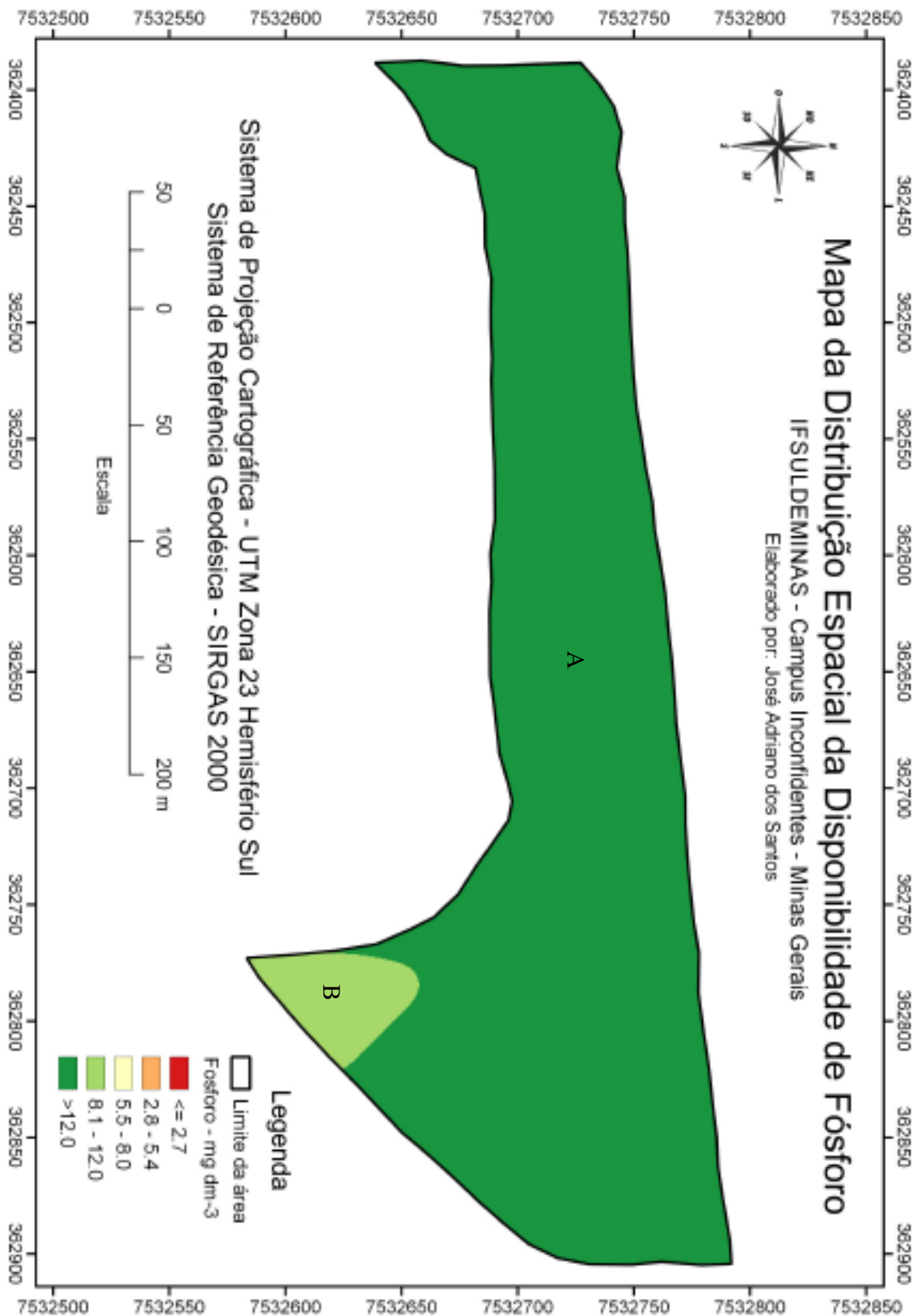
Comparando-se os teores de fósforo na amostragem convencional com o da amostragem georreferenciado, nota-se que em ambos os casos classificariam semelhantemente a disponibilidade de fósforo.

Segundo as recomendações de adubação para o milho silagem propostas por Alves et al., (1999), a recomendação fosfatada seria de $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ para uma produtividade maior que 50 t ha^{-1} de matéria verde. Ambos os métodos de amostragem recomendariam a mesma adubação.

Por apresentar boa disponibilidade de fósforo em toda a área, tanto a definição de malhas de amostragem quanto zonas de manejo a serem definidos não serão influenciadas pela variabilidade do fósforo.

O fósforo por ser um elemento altamente ligado a fração argila do solo e possuir baixa mobilidade geralmente apresenta dependência espacial de moderada ou forte (SILVA et al., 2007).

Figura 5 – Mapa da distribuição espacial da disponibilidade de fósforo.



A figura 6 apresenta a distribuição espacial da disponibilidade de potássio, classificada segundo a Tabela 5. O potássio apresentou dependência espacial moderada dentro da área e a maior variabilidade.

A maior parte da área é classificada como baixa em disponibilidade de potássio (zona “A” – 3,48 ha), entretanto há uma área significativa enquadrada dentro dos teores de médio a muito bom (zona “B” – 1,27 ha).

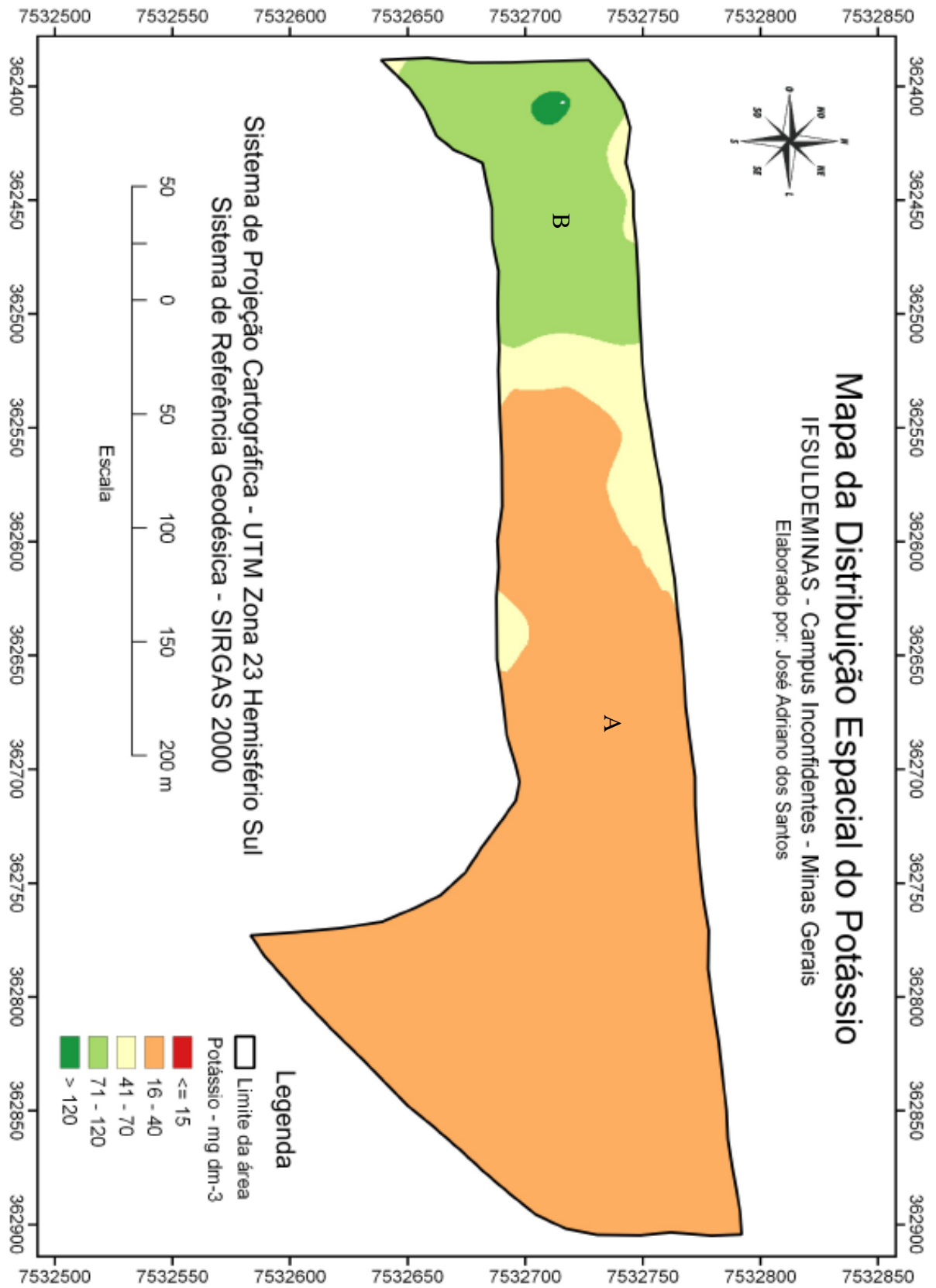
A classificação por amostragem convencional teria enquadrado toda a área de estudo como baixa disponibilidade, em contramão o mapa de amostragem georreferenciada apresentou manchas de disponibilidade baixa, média, alta e muito alta. Segundo a tabela de adubação para o milho silagem, propostas por Alves et al., (1999), em uma recomendação para níveis baixos de potássio no solo a dose seria de 180 kg ha⁻¹ de K₂O para uma produtividade de milho superior a 50 t ha⁻¹ de matéria verde, em contramão uma recomendação para teores bons de disponibilidade de potássio no solo seria de 120 kg ha⁻¹ de K₂O.

Uma estimativa de custo de adubação, para R\$ 1820,00 o preço da tonelada de Cloreto de Potássio com 58% de K₂O cotado em 15 de junho de 2016, estimaria um total de R\$ 2682,93 para a recomendação pelo método analítico, em contrapartida levando-se em conta a variabilidade espacial do terreno, estimar-se-ia um custo de R\$ 2443,82, mostrando economia.

Toda a região B do talhão que apresenta níveis bom e muito bom receberia uma superdosagem caso fosse seguida a adubação convencional. Dias et al, (2005) afirmam que o manejo inadequado da aplicação de fertilizantes em alta dosagem e a falta de chuvas promotoras de lixiviação, podem trazer como consequência a salinização dos solos, prejudicando assim o rendimento agrônômico das culturas.

No que se refere à exportação de nutrientes pela cultura do milho para silagem, o potássio é o nutriente mais exigido, cerca de 126 kg ha⁻¹ para uma produção de 12 t ha⁻¹ de matéria seca (MALAVOLTA, 1997). O comportamento do potássio na área ocorre devido a exportação que acontece após a colheita do milho para silagem, retira-se grandes quantidades de potássio anualmente do solo, esse potássio não retorna, já que milho para silagem não deixa palhada.

Figura 6 – Mapa da distribuição espacial da disponibilidade de potássio.



Os valores calculados para NC foram agrupados em cinco classes divididos de uma em uma tonelada, para acompanhar o padrão da classificação dos mapas anteriores (FIGURA 7).

Há maior quantidade de manchas no mapa da distribuição espacial da NC. A maior parte na área agrupa-se nas categorias de ≤ 1 e $2,01 - 3,00 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário (zona “A” – 3,05 ha), e o restante dentro das classes $3,01 - 4,00$ até $\geq 4 \text{ t ha}^{-1}$, zonas “B”(0,53 ha) e “C” (1,12 ha).

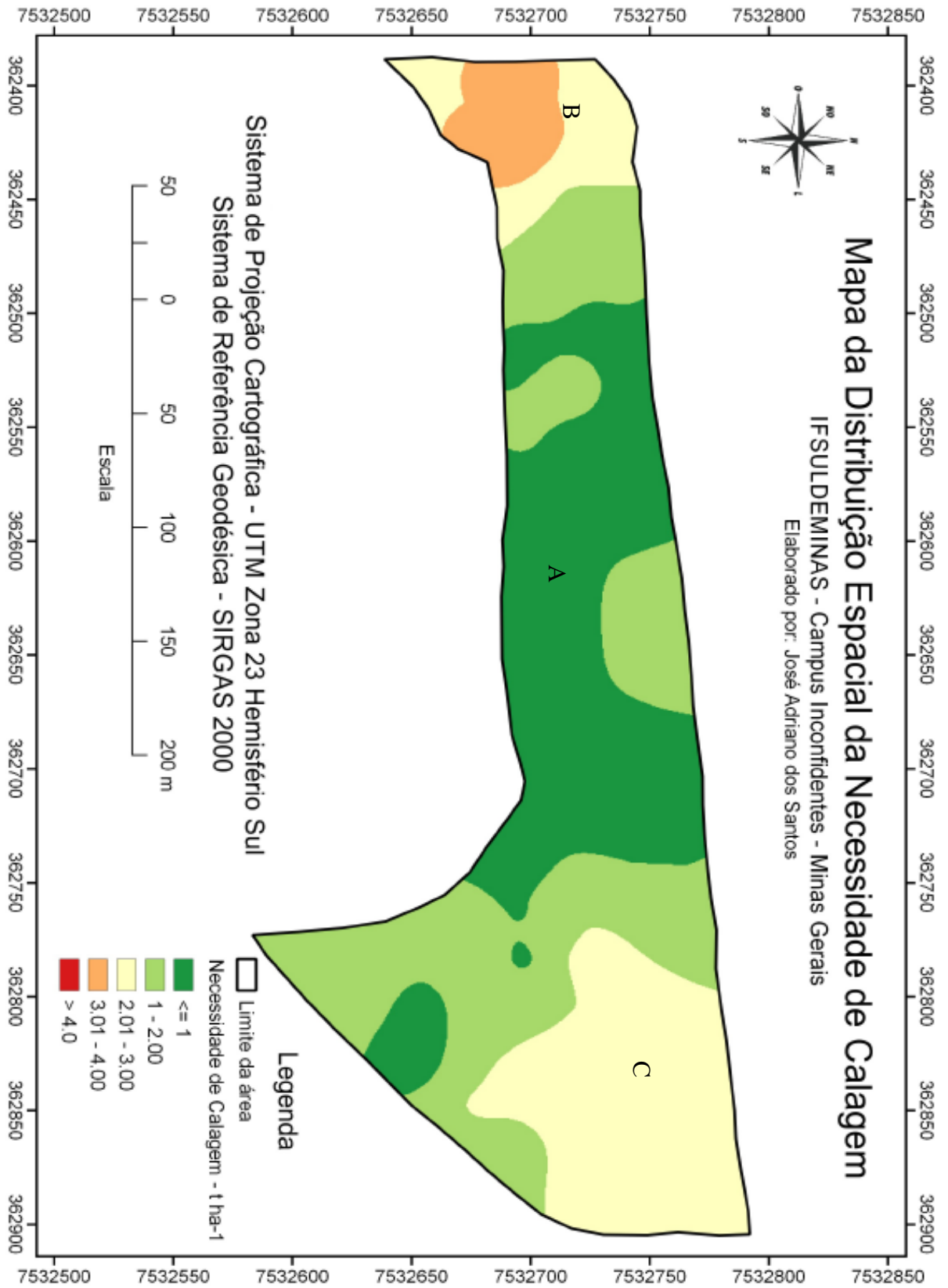
A recomendação de calcário pela média, levando-se em consideração uma elevação da saturação por bases a 60% (calcário com PRNT 85%), é de $0,81 \text{ t ha}^{-1}$ com aplicação em área total, já a recomendação em taxa variada as doses seriam de 1 até 4 t ha^{-1} . De modo geral a recomendação tradicional subestimaria a quantidade de calcário a ser aplicada em 62,5 % da área, que exigem uma dose superior a 1 t ha^{-1} de calcário.

Comparando o mapa da distribuição espacial de acidez potencial com o mapa da distribuição da NC, observa-se que as zonas (“C”) com maiores níveis de H+Al na Figura 5, sobrepueram as zonas (“B” e “C”) que exigem a maior NC na Figura 8.

Alvarez e Ribeiro, (1999) afirmam que a subcalagem pode ocasionar restrições ao desenvolvimento do sistema radicular favorecendo o tombamento, portanto as zonas B e C poderiam apresentar deficiência no desenvolvimento das plantas.

Ragagnin, Sena Júnior e Silveira Neto (2010), ao comparar a intensidade de amostragem sobre a NC, observaram que a adoção da dose média geral como recomendação para a calagem, apenas contemplaria a exigência de 15% da área estudada, em relação ao recomendado por amostragem de precisão, ou seja, 85% do terreno receberia sub ou superdosagem de calcário.

Figura 7 – Mapa da distribuição espacial da necessidade de calagem.



5 CONCLUSÕES

- A variabilidade dos atributos estudados, analisada pelo coeficiente de variação, foi classificada como: baixa, para acidez ativa; média para teores de fósforo e acidez potencial, e alta para níveis de potássio no solo.
- A amplitude dos dados avaliada pelos valores de mínimo e máximo, indicam restrições na recomendação e interpretação de variáveis de solo por meio de amostragem convencional.
- As variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento utilizando-se técnicas de geoestatística.
- A malha de amostra utilizada, de 30 m por 30 m, foi suficiente para garantir a validade dos resultados, já que o alcance estimado de todas as variáveis utilizadas foi maior que o espaçamento amostral.
- As recomendações de calagem para a correção da acidez do solo, e de adubações para os próximos cultivos a serem realizados na área, devem considerar a variabilidade espacial da fertilidade do solo.
- Amostragem georreferenciada proporciona melhor conhecimento da área, uma vez que se tem informação de todos os pontos coletados, permitindo a localização de manchas de alta e baixa demanda por fertilizante e corretivo favorecendo a recomendação da dose certa no local, evitando subestimar ou superestimar a aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V.H.;RIBEIRO, A.C.Calagem. In: RIBEIRO, A.C.;GUIMARÃES, P.T.G. e ALVAREZ, V.H., (Coord.) **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 43-60, 1999.

ALVAREZ, V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.;CATARUTTI, R.B. LOPES, A.S.Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.;GUIMARÃES, P.T.G. e ALVAREZ, V.H., (Coord.) **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 25-32, 1999.

ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; FREIRE, F.M.; PITTA, G.V.E.; FRANÇA, G.E. Milho. In: RIBEIRO, A.C.;GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ, V.H., (Coord.) **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 314-316, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Agricultura de precisão / **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília : Mapa/ACS, 2013. 36 p.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E.. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CANTARUTTI, R. B; VENEGAS, V.H.A.; RIBEIRO, A.C Amostragem do solo. In: RIBEIRO, A.C; GUIMARAES, P.T.G; ALVAREZ, V.H. (Coord.) **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 13-20, 1999.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, 2003.

COELHO, J.P. C.; SILVA, J. R. M. Agricultura de precisão. In: COELHO, J. P. C.; SILVA, J. R. M. (org.). **Agricultura de precisão - Inovação e tecnologia na formação agrícola**. Lisboa: Associação dos Jovens Agricultores de Portugal, 1 ed. 2009

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A.V.; PEREIRA, G.T.; BERVALDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, n. 6, 2004.

CORÁ, J. E.; BERVALDO, J. M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, p. 374-387, 2006.

CRESSIE, N.A. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 900 p.1993.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; GHEYI, H.R.; MEDEIROS, J.F.; SOARES, T.M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se de extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.496-504, 2005

DODD, K. W; GUENTHER, P. M.; FREEDMAN, L. S.; SUBAR, A. F.; KIPNIS, V.; MIDTHUNE, D.; KREBS-SMITH, S. M. Statistical methods for estimating usual intake of nutrients and foods: a review of the theory. **Journal of the American Dietetic Association**, v. 106, n. 10, p. 1640-1650, 2006.

GOMES, J.B.V; BOLFE, E.L. CURI, N. FONTES, H. R. BARRETO, A. C. VIANA, R. D.. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, 2008.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014

INAMASU, R. Y. Desmistificando a Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 596 p.

SANTOS, J.A.; SOUZA, C.K. Variabilidade espacial dos atributos ácidos de um solo cultivado com milho. **7 Jornada Científica e Tecnológica 4 Simpósio da Pós-Graduação do IFSULDEMINAS**. Poços de Caldas, Minas Gerais. 6p, 2015.

LIMA, N. L. **Resposta de duas cultivares de trigo a crescentes doses de nitrogênio em cobertura no município de Inconfidentes-MG.**, Monografia (Bacharelado em Agronomia) Instituto Federal de Ciência Educação e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes. Inconfidentes, Minas Gerais, p. 35, 2017.

LOPES, M.; SILVA, C.; GUILHERME L.R.G. **Acidez do solo e calagem (Boletim Técnico, 1)**. 3 ed. São Paulo, ANDA 1991. 22 p.

MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações/Eurípedes Malavolta, Godofredo Cesar Vitti, Sebastião Alberto de Oliveira. 2. ed., ver. e atual. **Piracicaba: Potafos**, 1997.

MANTOVANI, E. C. Mapa. **Agricultura de Precisão**. 2. ed. Brasília: República Federativa do Brasil, 2005. 1933 p. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/orcamento-da-uniao/leis-orcamentarias/ppa/2000-2003/ppa20002003/ppa_rel_aval/003_agricultura.PDF>. Acesso em: 15 mar. 2018.

MAROIS, J. J. Modeling in precision agriculture. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, MP; QUEIRÓZ, DM; MANTOVANI, EC; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Giúdice e Bóren, 2000 p. 285-298..
MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A.. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.

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

OLIVEIRA, J.J.; CHAVES, L.H.G.; QUEIROZ, J.E.; LUNA, J.G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 4, 1999.

RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 6, 2010.

RHEINHEIMER, D,S,; GATIBONI, L,C,; KAMINSKI, J, Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, 2008.

ROLOFF, G.; FOCHT, D. Mapeamento dos Atributos do Solo - Malha ou Zona de Manejo. p. 104 - 114. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na agricultura de precisão do Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba, 2002.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 101p. 2014

SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade espacial de atributos de fertilidade e amostragem de solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:85-91, 2000

SHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas de agricultura de precisão**. 2001. 96 p Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba - SP. 2001.

SILVA, S.R. **Crescimento de eucalipto influenciado pela compactação de solos e doses de fósforo e de potássio**. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2000.

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

SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES JUNIOR, J. MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, p. 401-407, 2007

SOUZA, C. K. **Caracterização físico-ambiental da fazenda-escola do IFSULDEMINAS – Campus Inconfidentes, MG**. 2015 (no prelo).

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R.. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista brasileira de ciencia do solo. Campinas**. vol. 21, n. 3 (jul./set. 1997), p. 367-372, 1997.

SOUZA, L.S.; COGO, N.P.; VIEIRA, S.R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, n.1, p.77-86, 1998.

SOUZA, M.Z.; SILVA, M.L.S.; GUIMARÃES, G.L.; AMPOS, D.T.S.; CARVALHO, M.P. e PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.25, p. 699-707, 2001.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G.T.; MOREIRAL, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-deaçúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1763-1771, 2004.

SOUZA, W. P.; SILVA, E. M. B.; SCHLICHTING, A. F.; SILVA, M. C. Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.17, n.6, p.575-580, 2013.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMA, G.K.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 230p..

TRANGMAR, B. B.; YOST, R.S.; WADE, M.K.; UEHARA, G.; SUDJADI, M. Spatial Variation of Soil Properties and Rice Yield on Recently Cleared Land . **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 3, p. 668-674, 1987

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

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, MP; QUEIRÓZ, DM; MANTOVANI, EC; FERREIRA, L.R.;VALLE, F.X.R; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: Giúdice e Bóren, p. 93-108. 2000

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

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de textos, 2013.