



GIULIA DEFENDI OLIVEIRA

**GERENCIAMENTO DA APLICAÇÃO LOCALIZADA DE
FERTILIZANTES E CORRETIVOS EM LAVOURA DE
TANGERINEIRAS 'PONKAN'**

**INCONFIDENTES-MG
2016**

GIULIA DEFENDI OLIVEIRA

**GERENCIAMENTO DA APLICAÇÃO LOCALIZADA DE
FERTILIZANTES E CORRETIVOS EM LAVOURA DE
TANGERINEIRAS ‘PONKAN’**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito de conclusão de curso de Graduação Bacharelado em Engenharia Agrônômica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – *Campus* Inconfidentes, para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: D.Sc. Cleber Kouri de Souza

**INCONFIDENTES-MG
2016**

GIULIA DEFENDI OLIVEIRA

**GERENCIAMENTO DA APLICAÇÃO LOCALIZADA DE
FERTILIZANTES E CORRETIVOS EM LAVOURA DE
TANGERINEIRAS ‘PONKAN’**

Data de aprovação: __de____ 20__

Prof. D.Sc. Cleber Kouri de Souza
IFSULDEMINAS-*Campus* Inconfidentes-MG

M.Sc. Bruno Manoel Rezende de Melo
IFSULDEMINAS-*Campus* Inconfidentes-MG

Prof. D.Sc. Evando Luiz Coelho
IFSULDEMINAS-*Campus* Inconfidentes-MG

Aos meus pais, José Antônio e Maria de Fátima e minhas irmãs Maíra e Letícia, pelo amor, ensinamentos e apoio durante esses anos, em que não mediram esforços para que eu concluísse essa etapa da minha vida. São eles responsáveis por este momento de vitória.

Ao companheirismo e compreensão do meu namorado Hugo e por sempre acreditar que chegaremos juntos a algum lugar.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A minha família, namorado e amigos, por todo amor, dedicação e incentivo para minha formação pessoal e profissional.

Ao IFSULDEMINAS - Campus Inconfidentes, pela oportunidade e apoio para a conclusão dessa etapa.

Expresso minha imensa gratidão ao meu orientador D.Sc. Cleber Kouri de Souza, sempre me deu apoio e orientação necessária para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos amigos Gustavo, Taís, Rafaela Costa e principalmente ao Marcus, com quem, nesse tempo, convivi e nos tornamos grande amigos e que sempre estiveram prontos para me ajudar.

Aos colegas da graduação Ana Paula, Bruno, Caroline, Douglas, Fabiana, Giovani, Gustavo, Igor Corsini, Igor Prado, Luana, Maiara, Marcus, Mariana Diniz, Mariana Moi, Messias, Micaele, Paloma, Paulo, Priscila, Rafael, Rafaela Costa, Rafaela Moraes, Rebeca, Sinara, Suelen, Taís, Thomás, Tom e Yara.

Aos meus amigos (as) do Grupo de Estudo Raiz do Campo, que de alguma maneira contribuíram para o meu conhecimento.

A todos os professores que me acompanharam durante a graduação.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão de mais uma etapa da minha vida.

EPÍGRAFE

*“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem
perder entusiasmo”.*

(Winston Churchill)

RESUMO

As técnicas de aplicação localizada e em taxas variadas de insumos agrícolas com auxílio da geoestatística, têm sido umas das áreas de concentração de esforços recentes em pesquisas e desenvolvimento ligado à agricultura de precisão. Portanto, o trabalho teve como objetivo determinar a dependência espacial da distribuição de fertilizantes e corretivos para implantação de um sistema de gerenciamento localizado em lavoura de tangerinas. O experimento foi conduzido na Fazenda do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes, MG. Foram feitas amostragens do solo na projeção da copa de tangerineiras que possui a variedade Ponkan enxertada sobre porta-enxerto 'Citrumelo Swingle' e 'Limão Cravo', em 70 pontos, em aproximadamente 0,18 ha, para determinação do pH, Ca, Mg, P, K, (Al³⁺), (H+Al), (MOS), (CTC), (V%) e cálculo da necessidade de calagem. Após a análise laboratorial os dados foram submetidos às análises da estatística descritiva, geoestatística e interpolação por krigagem. O uso da técnica de geoestatística possibilitou uma precisa descrição dos atributos do solo o que permitiu a definição de zonas de manejo, indicando os locais de ocorrência de déficit e excesso. A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo possibilita a recomendação de doses de calcário, fósforo e potássio com taxas variadas, proporcionando maior eficiência na aplicação, tornando viável a adoção da agricultura de precisão.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Geoestatística; Taxa variada.

ABSTRACT

Techniques of localized and varied application of agricultural inputs with aid of geostatistics have been one of the areas with recent concentrated efforts in terms of research and development linked to precision agriculture. Hence, the objective of the present study was to determine the spatial dependency of fertilizers and rectifiers to establish a localized management system for tangerines farm. The experiment was performed at the Federal Institute of Education, Science and Technology of the South Minas Gerais, at the Inconfidentes-MG Campus. Soil samples were collected under the crown of tangerine trees which has the Ugli Fruit variety grafted on Citrumelo Swingle and lemon at 70 points, approximately 0.18 ha, for determination of pH, Ca, Mg, P, K, (Al^{3+}), (H+Al), (MOS), (CTC), (V%) and the necessity of liming. After the laboratory tests, data were submitted to descriptive statistical analysis, geostatistics and kriging interpolation. The use of the geostatistics technique allowed a precise description of soil attributes which granted the definition of management zones indicating the locations with incidence of deficit and excess [of nutrients]. The spatial distribution of chemical attributes of the soil allows the recommendation of different rates of limestone phosphorus and potassium, providing better application efficiency, which may make feasible the adoption of precision agriculture.

Keywords: Precision Agriculture; Geostatistics; Variable rate.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... | 10 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 2 |
| 2.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO | 2 |
| 2.2. CITROS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO | 2 |
| 2.3. GEOESTATÍSTICA | 3 |
| 2.4. VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO..... | 4 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 6 |
| 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL..... | 6 |
| 3.2. AMOSTRAGEM DO SOLO | 6 |
| 3.3. ANÁLISE LABORATORIAL | 8 |
| 3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA | 8 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 10 |
| 5. CONCLUSÃO | 29 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 30 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1. Grid amostral da área experimental no IFSULDEMINAS - <i>Campus</i> Inconfidentes, MG (2016). | 07 |
| Tabela 1. Recomendação N – P ₂ O ₅ – K ₂ O em sistema convencional de manejo na lavoura de citros no IFSULDEMINAS – <i>Campus</i> Inconfidentes, MG (2016). | 08 |
| Tabela 2. Estatística descritiva para as variáveis de solo estudadas em uma lavoura de citros no IFSULDEMINAS – <i>Campus</i> Inconfidentes, MG (2016). | 10 |
| Figura 2. Mapa de variabilidade espacial da variável Acidez Ativa (pH), Inconfidentes, MG (2016). | 15 |
| Figura 3. Mapa de variabilidade espacial da variável Acidez Trocável (Al ³⁺), Inconfidentes, MG (2016). | 16 |
| Figura 4. Mapa de variabilidade espacial da variável Acidez Potencial (H+Al), Inconfidentes, MG (2016). | 17 |
| Figura 5. Mapa de variabilidade espacial da variável Necessidade de Calagem (NC), Inconfidentes, MG (2016). | 18 |
| Figura 6. Mapa de variabilidade espacial da disponibilidade de Fósforo (P), Inconfidentes, MG (2016). | 20 |
| Figura 7. Mapa de variabilidade espacial da recomendação de aplicação de fósforo do mês de novembro (P ₂ O ₅), Inconfidentes, MG (2016). | 21 |
| Figura 8. Mapa de variabilidade espacial da disponibilidade de Potássio (K), Inconfidentes, MG (2016). | 23 |
| Figura 9. Mapa de variabilidade espacial da recomendação de aplicação de potássio do mês de janeiro (K ₂ O), Inconfidentes, MG (2016). | 24 |
| Figura 10. Mapa de variabilidade espacial da recomendação de aplicação de potássio do mês de abril (K ₂ O), Inconfidentes, MG (2016). | 25 |
| Tabela 3. Comparação do custo de aplicação de insumos entre o Sistema Convencional e Agricultura de Precisão, Inconfidentes, MG (2016). | 27 |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é hoje o maior produtor de citros do mundo, ficando em quinto lugar na produção de tangerina, o que denota sua fundamental importância na economia do país, uma vez que bate recordes de exportação e gera grandes quantidades de empregos.

Atualmente, os citricultores estão buscando técnicas de gerenciamento para aumentar a eficiência e a eficácia da produção de forma sustentável, sobretudo em relação à preservação do meio ambiente.

Visando a otimização do uso e o aumento da eficiência da aplicação dos fertilizantes e corretivos agrícolas, vem sendo desenvolvidas técnicas de manejo localizado, diferente da agricultura convencional, que adota a área como homogênea, aplicando-se os insumos pela média, fazendo com que a mesma quantidade de fertilizantes e corretivos seja utilizada para toda a área. Assim ao atender as necessidades médias, não é considerado as necessidades específicas de cada parte da lavoura.

A agricultura de precisão, é um sistema de gestão que considera a variabilidade espacial, sendo assim, proporciona ao agricultor o mapeamento do solo e a aplicação de insumos em taxa variada, conseqüentemente aumentando a eficiência da aplicação e podendo reduzir a utilização dos insumos agrícolas, no sentido de evitar impactos ambientais e dos custos de produção, a fim de racionalizar o uso, visando um desenvolvimento sustentável.

Considerando a necessidade de orientações para a aplicação de insumos em taxa variada, este trabalho teve como objetivo determinar a dependência espacial da distribuição de fertilizantes e corretivos para implantação de um sistema de gerenciamento localizado em lavoura de tangerinas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão (AP) é uma prática que vem se difundindo no Brasil. Trata-se de um sistema de gestão, em que se considera a variabilidade espacial dos fatores que interferem na produtividade da cultura e os maneja de acordo com a demanda local, visando otimizar a utilização de insumos e o retorno financeiro, com possível redução de danos ambientais (COLAÇO, 2012).

Segundo Pierce e Nowak (1999 apud MENDONÇA; ALMEIDA; FONTANA, 2013, p. 02), a agricultura de precisão (AP) consiste em um conjunto de princípios e tecnologias aplicados no manejo da variabilidade espacial e temporal associada à produção agrícola, objetivando aumentar a produtividade das culturas e a qualidade ambiental.

Neste sentido, o manejo da variação espacial e temporal contribui para o aumento da produtividade agrícola, pois passa a ter melhor aplicação e aproveitamento dos insumos e aproveitamento máximo do potencial da área cultivada, sendo assim tendo reflexos positivos como redução do custo de produção e o impacto ambiental, decorrentes do excesso de insumos utilizado (KINCHELOE; SPRINGER; LECHNER, 1994).

Portanto a Agricultura de Precisão permite monitorar e acessar a atividade agrícola, por meio de mapas, tendo como principal estratégia aplicar os insumos na quantidade, local e momento correto, pretendendo melhorar o uso de recursos, o aumento do retorno econômico e à redução do risco de contaminação ambiental (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002). Sendo assim conceitua-se como um sistema de gerenciamento da produção que tem como princípio o manejo da variabilidade dos solos e culturas no espaço e no tempo (MAPA, 2013).

2.2. CITROS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

O citros, compreendem um grande grupo do gênero *Citrus* e possui híbridos como as laranjas, tangerinas, limões, limas ácidas como o Tahiti e doces como a lima da Pérsia e cidra (MATTOS JUNIOR et al., 2005).

Segundo os dados da FAO (2013), o Brasil é o maior produtor mundial de citros, tendo produzido 21 milhões de toneladas, sendo assim a citricultura brasileira é importante para o crescimento socioeconômico do país, devido aos recordes de exportação e pela grande geração de empregos.

No Brasil a produção de citros concentra-se na região sudeste, com destaque para o estado de São Paulo, que é responsável por aproximadamente 80% da produção brasileira (IBGE, 2012).

O Brasil é o quinto maior produtor mundial de tangerinas, com aproximadamente 52 mil hectares plantados e produção aproximada de 960 mil toneladas (FAO, 2014). São Paulo responde por cerca de 360 mil toneladas dessas frutas ou 38% da produção nacional, em área total destinada à colheita de aproximadamente 12,4 mil hectares, com produtividade média, portanto, de 29,4 t ha⁻¹ (IBGE, 2012).

O custo de produção do citros é o principal fator de competitividade internacional do setor devido a elevadas doses de insumos utilizadas, que além de elevar o custo de produção, podem causar danos ao meio ambiente (BOTEON; NEVES, 2005).

Com os avanços tecnológicos na agropecuária, o solo não pode ser considerado de maneira homogênea, sendo assim deve-se considerar a variação espacial e temporal. Ao adotar a agricultura de precisão observa-se uma melhor aplicação e aproveitamento dos insumos, podendo assim melhorar a produtividade, reduzir o custo de produção e o impacto ambiental causado pelo excesso utilizado (FARIAS et al., 2003).

Os citricultores estão buscando técnicas gerenciais mais consistentes, investigando novas alternativas para aumentar a eficiência e a eficácia do processo de gerenciamento e administração da produção, evidenciando que, num período não muito longo a citricultura passará por novos modelos de gerenciamento e estrutura de organização (DRAGONE, 2003).

2.3. GEOESTATÍSTICA

Segundo Lamparelli, Rocha, e Borghi, (2001) a geoestatística é um conjunto de métodos estatísticos que estima valores regionalizados e espacializados de atributos ou características de determinada área a ser estudada, utilizando como ferramenta básica à

interpolação, gerando como produto um mapa da área segundo um atributo com estimativas não viciadas e de mínima variância.

Os atributos do solo não variam ao acaso, mas de acordo com uma dependência espacial (VIEIRA et al., 1983). Portanto, há necessidade de se identificar o grau dessa dependência, através de técnicas geoestatísticas, que permitam elaborar mapas e delimitar áreas de manejo diferenciadas (FARIAS et al., 2002).

O componente principal da Geoestatística é o semivariograma, que caracteriza o padrão de continuidade espacial de um atributo, já a Krigagem é um conjunto de métodos de interpoladores espaciais lineares ponderados (VALENCIA; MEIRELLES; BETTINI, 2004).

Com relação à distribuição espacial dos atributos, a geoestatística possibilita, a partir de dados amostrados, inferir valores a pontos intermediários utilizando as técnicas do semivariograma que melhor descreva a variabilidade espacial dos dados, o qual será utilizado no processo de interpolação digital pelo método da krigagem (FRASSON; MOLIN, 2006).

Segundo Vieira (2000) a geoestatística aplicada a agricultura de precisão tem por objetivo identificar, na aparente desordem entre as amostras, a medida da correlação espacial, realizar estimativas de valores em locais não amostrados a partir de alguns valores conhecidos na população e identificar inter-relações de propriedades no espaço, além de permitir estudar padrões de amostragem adequados.

2.4. VARIABILIDADE ESPACIAL DO SOLO

Para Slot et al., (2001 apud SOUZA, 2006, p. 07), os atributos do solo, além de variarem no espaço, podem variar no tempo para cada posição no espaço. Esta variação, decorrente da ação de agentes naturais, assim como da ação do homem, deve se manifestar com maior intensidade em alguns atributos do que em outros.

Na agricultura tradicional, essa variação não é levada em consideração, uma vez que a homogeneidade dos solos, geralmente, é determinada apenas visualmente, considerando apenas a unidade do solo, manejo, topografia, enfim, características visuais (GUIMARÃES et al., 1996).

A prática de agricultura de precisão visa a correção e adubação do solo via aplicação em taxas variáveis de calcário, potássio, fósforo e gesso, com base em amostragem georreferenciada (MOLIN, 2012).

A aplicação de fertilizantes e corretivos a taxas variáveis consiste em variar o volume do insumo de acordo com a necessidade específica de cada área, além disso, baseadas na agricultura de precisão (AP) apresenta grande alternativa para potencializar o processo produtivo e minimizar o impacto da atividade agrícola no meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2008).

Segundo Salviano (1996), o conhecimento da variabilidade dos atributos dos solos constitui importante passo, para que se possa empregar um manejo mais específico.

A aplicação de fertilizante e corretivo a taxa variável, é hoje uma demonstração concreta do uso integrado de tecnologias para gerir e controlar, de forma mais precisa, a aplicação desses insumos, considerando a variabilidade espaciais e temporais (DALLMEYER; SCHLOSSER, 1999). Sendo assim a aplicação em taxa variada apresentam grande alternativa para potencializar o processo produtivo e minimizar o impacto da atividade agrícola no meio ambiente (OLIVEIRA et al., 2008).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado na área experimental da Fazenda do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais no município de Inconfidentes, localizado no Sul do estado de Minas Gerais, em um solo classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico¹¹, que está sendo cultivado com tangerineiras da variedade Poncã enxertada sobre porta-enxerto ‘Citrumelo Swingle’ e ‘Limão Cravo’, plantadas em espaçamento de 4 x 4 m, com três anos de idade.

A área experimental está situada a 940 m de altitude, a 22°18'47'' de latitude Sul e 46°19'54,9'' de longitude Oeste (FAO, 1985). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido com duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a março) e seca (abril a setembro), com médias anuais de 1.800 mm e 19°C de precipitação e temperatura, respectivamente.

3.2. AMOSTRAGEM DO SOLO

A área foi georreferenciada em grid regular por meio de um Sistema de Posicionamento Global-GPS, (Garmin Etrex 30) totalizando 70 pontos amostrais em aproximadamente 0,18 ha (Figura 1) onde, em cada ponto, seguindo a projeção da copa, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para análise química e cada amostra foi formada por oito sub-amostras simples para compor uma amostra composta, com aproximadamente 400g, retiradas com uso de trado tipo sonda no mês de outubro de 2015. A última adubação, realizada na área havia sido no mesmo ano no mês de fevereiro.

¹ Comunicação pessoal Prof. D.Sc. Cleber Kouri de Souza.

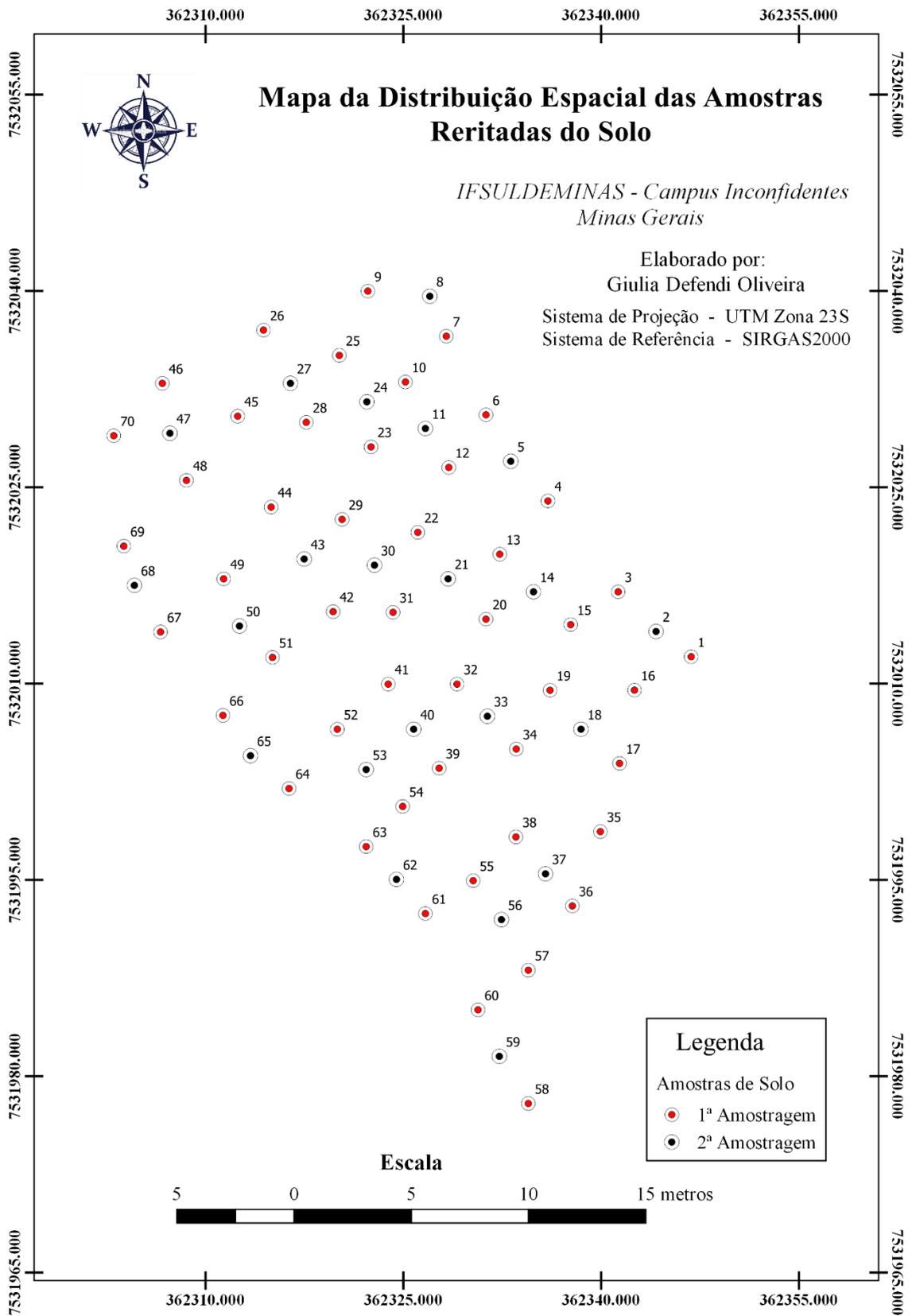


Figura 1. Grid amostral da área experimental no IFSULDEMINAS - *Campus Inconfidentes*, MG (2016).

Na Figura 1 observa-se a sequência amostral dos pontos, a qual primeiramente foi retirada 48 amostras seguindo uma sistemática, uma planta sim a seguinte não, como representa os pontos vermelhos na Figura 1. Porém depois foi necessário a coleta de mais pontos visando a densidade amostral, esses pontos complementares são representados pelos pontos pretos na Figura 1.

3.3. ANÁLISE LABORATORIAL

As amostras após serem coletadas foram enviadas para análise ao Laboratório de Análise de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais *Campus Inconfidentes*, para a determinação dos atributos químicos do solo.

Foram determinados pH em água, Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio trocáveis (Al^{3+}), Fósforo disponível (P), acidez potencial (H+Al), matéria orgânica do solo (MOS), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), segundo metodologia proposta no manual de métodos de análise de solos (DONAGEMA et al., 2011).

Em seguida estimou-se as doses de corretivo e fertilizante para a cultura do citros, e realizou a recomendação (Tabela 1), de acordo com o manual de recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5ª aproximação (SOUZA et al., 1999).

Tabela 1. Recomendação N – P₂O₅ – K₂O em sistema convencional de manejo na lavoura de citros no IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*, MG (2016).

| Época | Dose | | |
|-------|------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| | ----- g planta ⁻¹ ----- | | |
| Set | 40 | --- | --- |
| Nov | 60 | 30 | --- |
| Jan | 60 | --- | 10 |
| Abr | --- | --- | 20 |
| Total | 160 | 30 | 30 |

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA

Com os dados obtidos em cada ponto amostral, foi calculado os parâmetros estatísticos básicos (média, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores mínimos e máximos, assimetria e curtose), utilizando-se o GEOSTAT a partir do software STAT conforme descrito por Vieira et al., (2002).

Para analisar a variabilidade espacial da variável estudada, os dados foram analisados através de métodos geoestatísticos de análise de semivariogramas partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca. A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada através da semivariância (γ) conforme Equação 1.

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

em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h .

O cálculo da equação 1 gera valores de (γ) correspondentes a distâncias h e, segundo Vieira (2000), é esperado que medições realizadas em locais próximos sejam mais parecidas entre si do que aquelas separadas por grandes distâncias. Dessa forma, a (γ) aumenta com a distância até um valor máximo, a partir do qual se estabiliza em um patamar correspondente à distância-limite de dependência espacial, que é o alcance.

Os ajustes dos modelos experimentais ao semivariograma foi baseado no maior valor do coeficiente de determinação e no menor valor da raiz quadrada do erro médio. Com os modelos ajustados para os semivariogramas, utilizou-se o teste de jackknifing para verificar se as estimativas dos parâmetros dos semivariogramas estão adequados e para estimar qual o número de vizinhos a serem utilizados na krigagem (VIEIRA, 2000). Além disso, foi observado em cada modelo os menores valores da raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e o maior coeficiente de determinação (R^2). Confirmados os parâmetros do modelo e estimados os números adequados de vizinhos, realizou a interpolação dos valores para os locais onde eles não foram medidos, pelo método da krigagem ordinária.

A análise geoestatística foi realizada com o conjunto de softwares GEOSTAT (VIEIRA et al., 2002), e a construção dos mapas de variabilidade foi feita utilizando o Software Livre Quantum GIS (QGIS) versão 2.8.2 Wien (SHERMAN et al., 2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados referentes a estatística descritiva para os atributos químicos do solo.

Tabela 2. Estatística descritiva para as variáveis de solo estudadas em uma lavoura de citros no IFSULDEMINAS – *Campus Inconfidentes*, MG (2016).

| Variáveis | Nº | Média | Variância | Desvio Padrão | Coeficiente | | | Min | Max |
|------------------|----|--------|-----------|---------------|-------------|------------|---------|------|-------|
| | | | | | Varição | Assimetria | Curtose | | |
| pH | 70 | 5,635 | 0,087 | 0,295 | 5,241 | -0,399 | 0,390 | 4,71 | 6,32 |
| Al ³⁺ | 70 | 0,008 | 0,002 | 0,041 | 526,7 | 6,010 | 38,71 | 0,00 | 0,30 |
| H+Al | 70 | 3,371 | 0,532 | 0,729 | 21,63 | 1,401 | 3,916 | 2,02 | 6,44 |
| NC | 70 | 1,672 | 0,331 | 0,575 | 34,38 | 1,617 | 4,505 | 0,62 | 4,17 |
| P | 70 | 12,89 | 116,3 | 10,79 | 83,68 | 1,440 | 1,888 | 1,21 | 46,4 |
| P_rem | 70 | 51,55 | 19,76 | 4,445 | 8,623 | -0,528 | -0,257 | 40,8 | 60,0 |
| P_Nov | 70 | 81,43 | 342,9 | 18,52 | 22,74 | -2,020 | 2,778 | 30,0 | 90,0 |
| K | 70 | 131,90 | 2398,0 | 48,96 | 37,12 | 0,032 | -0,791 | 46,3 | 242,5 |
| K_Jan | 70 | 11,57 | 13,44 | 3,666 | 31,68 | 1,926 | 1,758 | 10,0 | 20,0 |
| K_Abr | 70 | 23,14 | 53,75 | 7,331 | 31,68 | 1,926 | 1,758 | 20,0 | 40,0 |

N: número de dados observados; Min: mínimo; Max: máximo; pH: acidez ativa ; Al³⁺: alumínio (cmol_c dm⁻³); H+Al: acidez potencial (cmol_c dm⁻³); NC: Necessidade de Calagem (t ha⁻¹); P: fósforo disponível (mg dm⁻³); P_rem: fósforo remanescente; P_Nov: fósforo recomendado para o mês de Novembro (kg ha⁻¹); K: potássio disponível (mg dm⁻³); K_Jan: potássio recomendado para o mês de Janeiro(kg ha⁻¹); K_Abr: potássio recomendado para o mês de Abril (kg ha⁻¹).

Pode-se notar que os valores das médias (Tabela 2) não representam de forma adequada a área. Pois de acordo com Alvarez et al., (1999) um pH de 5,63 é classificado como adequado, porém, ao avaliar os valores mínimo e máximo nota-se a existências de locais com valores Inadequado.

Cabe ressaltar que esta variável apresentou baixo valor de coeficiente de variação (CV<15%), segundo classificação proposta por Wilding e Drees (1983, p. 44, apud LOPES, 2010), indicando baixa variabilidade dos dados, porém, a caracterização da área utilizando-se o valor médio indicará que a lavoura está em uma condição de solo que, segundo os valores da acidez ativa, favorece as maiores disponibilidades de nutrientes, contudo, fica claro que existem na área locais com potencial para indisponibilidade de nutrientes e que como consequência disso a produção da área poderá ser prejudicada. Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), verificou que em pH menor que 5,5 os compostos de Al³⁺ passam a ser reativos, dificultando a absorção e o transporte de nutrientes, como o P, K, Ca e Mg.

O Alumínio (Tabela 2) apresentou valores médios considerados baixos segundo Alvarez et al., (1999). Mesmo estando baixo percebe-se que na área existem valores iguais a

0,30 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, esses valores podem ser considerados limitantes ao desenvolvimento das plantas uma vez que se trata de um elemento tóxico além de ocasionar baixa fertilidade que, segundo Malavolta (2006), a baixa fertilidade encontrada nos solos ácidos está associada, em grande parte, à pobreza em bases trocáveis e ao excesso de alumínio.

Os altos valores de coeficiente de variação indicam alta variabilidade para esta variável não sendo seguro fazer qualquer inferência por meio do valor médio. A interpretação por meio dos valores médios acarretará em equívocos uma vez que a média representa valores próximos a zero e, neste caso, indicando que na área não há problemas com acidez.

A capacidade tampão deste solo, estimada por meio da acidez potencial (H+Al), foi classificada como média segundo Alvarez et al., (1999). Conceitualmente, esta variável é definida como aquela que representa uma quantidade de bases necessárias para neutralizá-la, porém ao analisarmos os valores mínimo e máximo nota-se que encontramos valores de 2,02 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a 6,44 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ sendo esses valores classificados como baixa e alta, respectivamente.

Neste sentido, a indicação de práticas agrícolas que visam a neutralização desta acidez por meio da média resultara em excesso em locais com valores baixos e ocasionará déficit nas áreas com valores altos. Práticas agrícolas devem otimizar a utilização dos insumos na tentativa de aumentar a rentabilidade dos produtores e minimizar os impactos ocasionados pelo seu uso.

Para a neutralização da acidez será necessária uma aplicação de 1,67 t ha^{-1} de calcário se considerarmos os valores médio (Tabela 2). Essa recomendação implicará em doses excessivas em locais de baixas (0,62 t ha^{-1}) e doses insuficientes em locais de alta (4,17 t ha^{-1}). Essas diferenças são explicadas pela moderada variabilidade apresentada segundo os critérios de Wilding e Drees (1983, p. 44, apud LOPES, 2010). Com a aplicação de calcário pela média, fica evidente a ineficiência da recomendação uma vez que existem na área uma demanda por doses maiores e, que neste caso, não neutralizará a acidez, e em outros locais a uma demanda por doses menores, recebendo neste caso doses excessivas. Em ambos os casos ocorrerão problemas com a disponibilidade de nutrientes ocasionada pela deficiência na correção ou pela imobilização e fixação associada à supercalagem sendo seus reflexos percebidos na resposta da planta a esta aplicação.

Comportamento semelhante pode ser observado para a disponibilidade de Fósforo (Tabela 2). A disponibilidade é classificada como Muito Baixo segundo Alvarez et al., (1999) se utilizarmos o valor médio. Nota-se que na área existem manchas de disponibilidade que vão de Muito Baixo ($1,21 \text{ mg dm}^{-3}$) a Muito bom ($46,4 \text{ mg dm}^{-3}$), porém ao recomendarmos fósforo baseado na média indicaremos adubações em locais que são dispensáveis.

Essas aplicações em locais que não há necessidade de fertilização será considerada desperdício de insumo podendo provocar danos as plantas e aumentar o custo de produção da lavoura tornando a atividade improdutiva. Sendo assim, é fundamental que haja uma otimização dos recursos utilizados tornando a prática mais eficiente.

Nota-se também que esta variável apresenta alta variabilidade determinada pelo coeficiente de variação (Tabela 2), neste sentido, a variabilidade dentro de um pomar de citros, segundo Schueller et al., (1999), indica que o aproveitamento dos insumos aplicados uniformemente torna-se ineficiente; além do desperdício a contaminação do meio ambiente pode ser incrementada nessas condições.

Para variável Potássio disponível (Tabela 2), a disponibilidade é classificada como Muito Bom segundo Alvarez et al., (1999) se utilizarmos o valor médio. Porém nota-se que na área existem manchas de disponibilidade Média ($46,3 \text{ mg dm}^{-3}$), sendo assim ao recomendarmos potássio baseado na média indicaremos adubações em locais que são insuficientes.

Essas aplicações pela média em locais que há maior necessidade de fertilização será considerada inferior ao necessário, podendo provocar a indisponibilidade deste nutriente, sendo assim poderá causar problemas no desenvolvimento da planta.

Observa-se também que esta variável apresenta alta variabilidade determinada pelo coeficiente de variação (Tabela 2), portanto demonstra alta variabilidade espacial dentro do pomar de citros. Segundo Amado et. al., (2006), os elevados teores de potássio podem ser devido ao material de origem deste solo e do histórico de adubações; indicando que aplicação deste insumo pela média não é eficiente, já que a locais que a disponibilidade de potássio será inferior em alguns locais e outros não.

Tratando-se do manejo da adubação fosfatada para o mês de novembro (Tabela 2), verifica-se que a dose indicada pela média ($81,43 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$) se aproxima dos valores máximo ($90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$) exigidos pela cultura, porém excederia a dose mínima ($30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$) em

pelo menos em $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. Neste caso, fica evidente o desperdício desse insumo na área com aplicação duas vezes a mais que o exigido pela cultura, sendo que estas dosagens podem acarretar em desperdício de fertilizante e prejuízos econômicos.

Quanto a adubação potássica da lavoura para os meses de Janeiro ($11,57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$) e Abril ($23,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$), identifica-se que os valores médios (Tabela 2) não atenderia a necessidade da cultura de forma eficiente, uma vez que estão próximos dos valores mínimo recomendados ($10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ e $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ respectivamente). Neste caso, ao contrário das adubações fosfatada, haverá um déficit nutricional na área, já que não atenderia a dose máxima exigida pela cultura, cuja a recomendação é de $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ e $40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ para os meses de Janeiro e Abril, respectivamente.

Portanto a aplicação da dose média em algumas faixas da lavoura seria usada de forma excessiva. Weirich Neto; Sverzut; Schimandei (2006) e Barbieri; Marques Júnior; Pereira, (2008) demonstraram a maior eficiência na utilização de insumos na agricultura de precisão, com maior nível de detalhamento em relação à agricultura convencional em que as amostras são retiradas de maneira aleatória e as recomendações são baseadas na média dos resultados encontrados.

De modo geral, verifica-se que as recomendações baseadas pela média não atende a necessidade da área e da cultura, ocorrendo desperdício ou excesso de insumo o qual prejudicará o desempenho da planta sendo refletido nas produções e no baixo retorno financeiro.

Através da geoestatística permitiu detectar a existência de uma estrutura de dependência espacial e com os parâmetros do semivariograma, estimar por krigagem ordinária valores em locais não amostrados. Os resultados da krigagem podem ser observados nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

A partir desses mapas é possível verificar a distribuição espacial para as variáveis estudadas. Para os atributos pH, Al^{3+} e (H+Al) (Figuras 2, 3 e 4), existe uma semelhança nos padrões de ocorrência, mostrando que as variáveis apresentam correlação espacial na área em estudo. Pois possível prever o valor que elas assumem a partir do valor estimado em parcelas próximas espacialmente.

O mapa espacial da necessidade de calagem (Figura 5) tem comportamento inverso das demais variáveis, uma vez que, onde ocorrem os maiores teores de pH a necessidade de

calagem é menor e, em locais com maiores valores de Al^{3+} e (H+Al) as doses de calcário serão maiores.

O cálculo da necessidade de calcário, utilizando-se o método convencional sem considerar a variabilidade espacial de atributos da acidez do solo, indicou ser necessário aplicar $1,67 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário (Tabela 2), sendo assim há locais na área que receberia doses superiores e inferiores ao recomendado. Caso optasse pela aplicação da média, 2,67 % da área estudada receberia dose de calcário acima da desejada, ao passo que 20,81 % da área não teria a acidez do solo corrigida para o nível ideal indicado para a cultura dos citros.

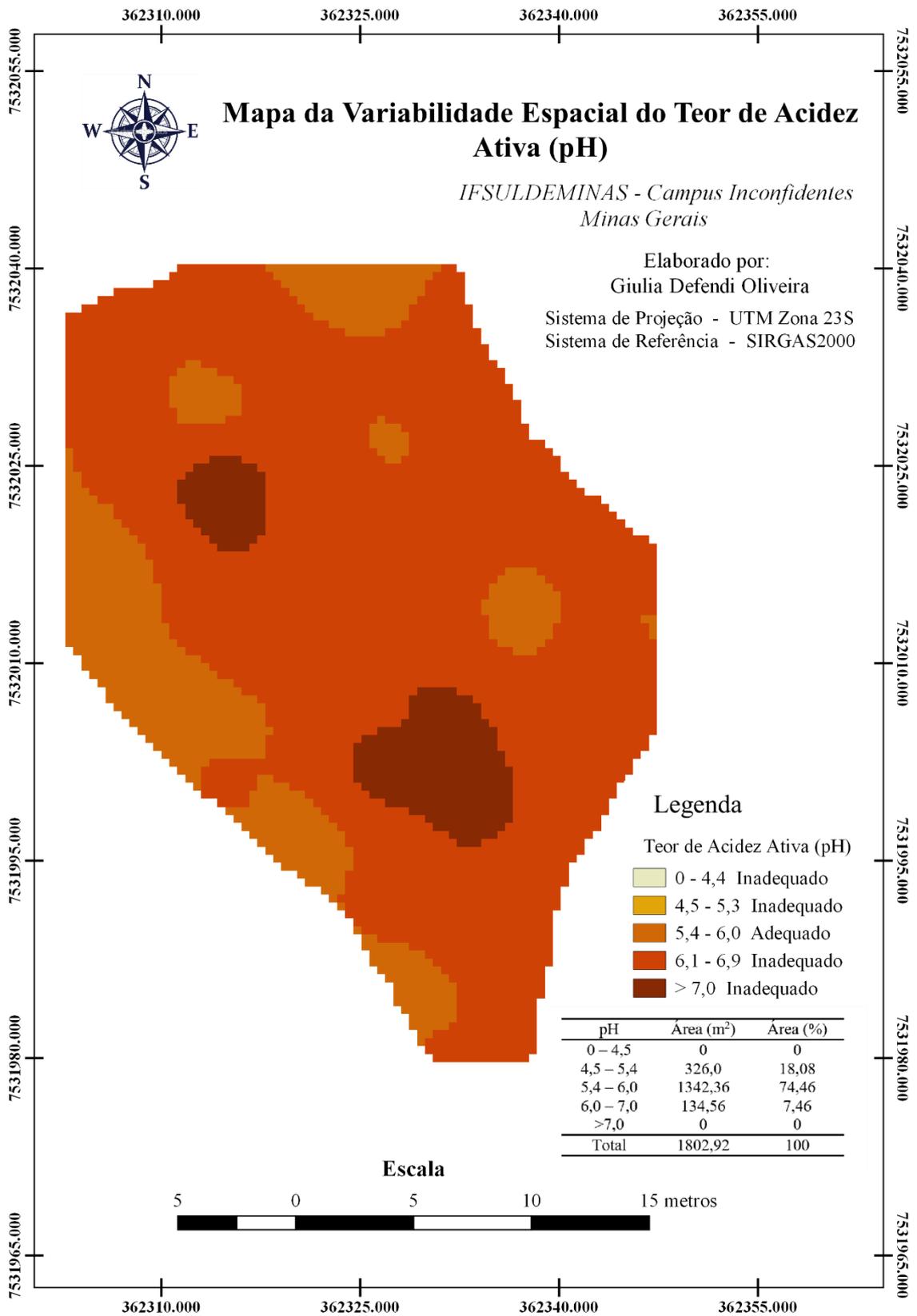


Figura 2. Mapa de variabilidade espacial da variável Acidez Ativa (pH), Inconfidentes, MG (2016).

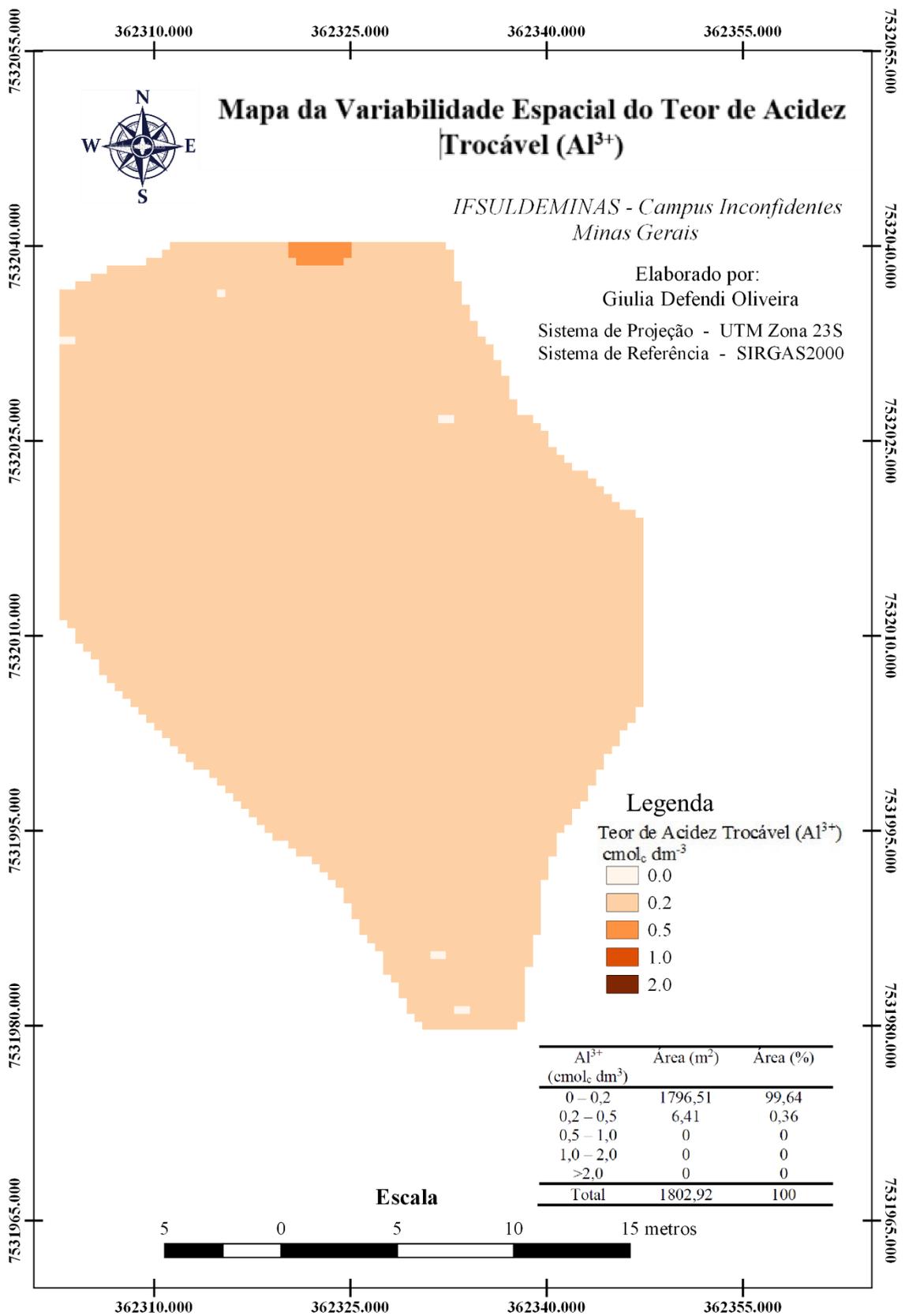


Figura 3. Mapa de variabilidade espacial da variável Acidez Trocável (Al³⁺), Inconfidentes, MG (2016).

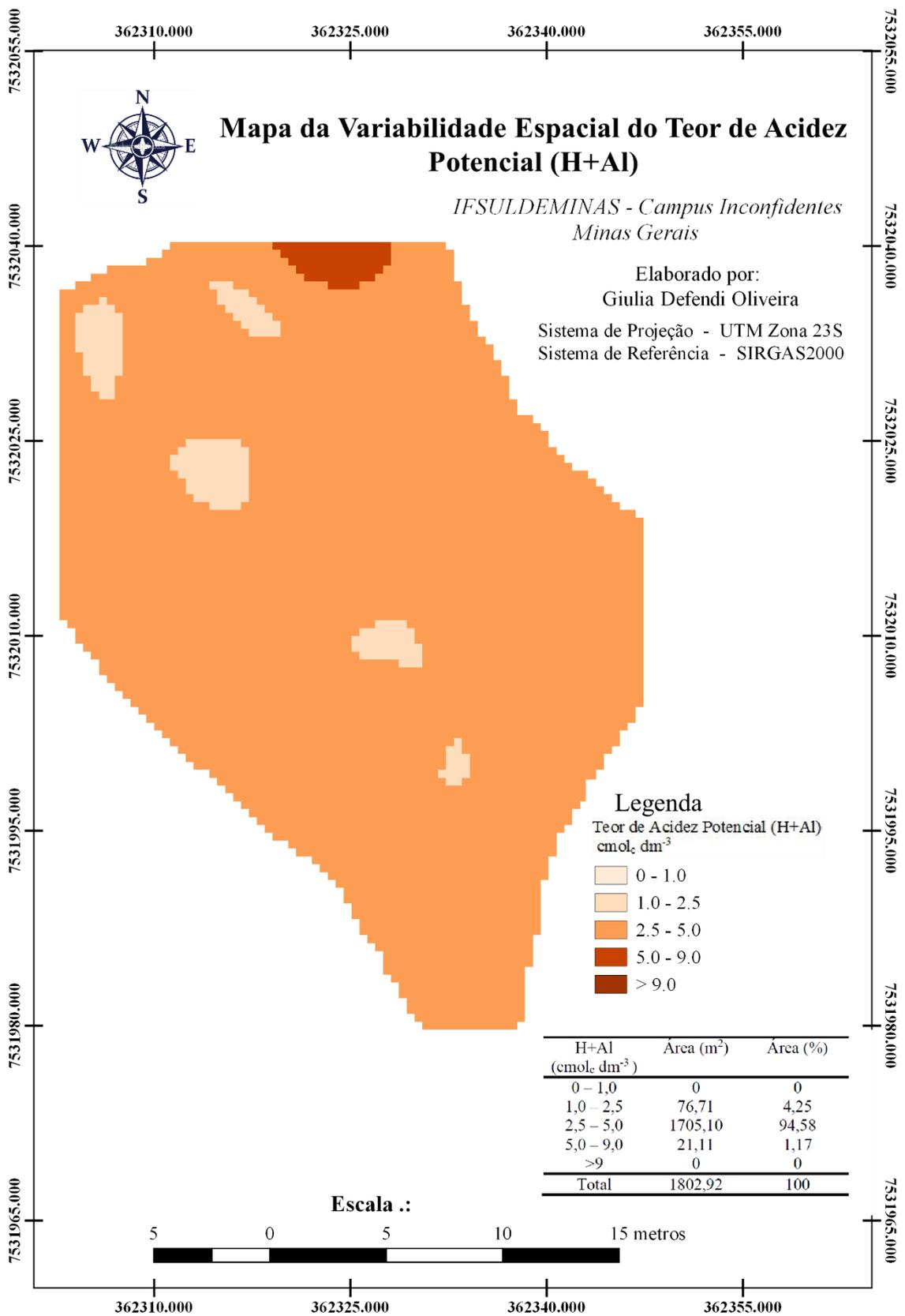


Figura 4. Mapa de variabilidade espacial da variável Acidez Potencial (H+Al), Inconfidentes, MG (2016).

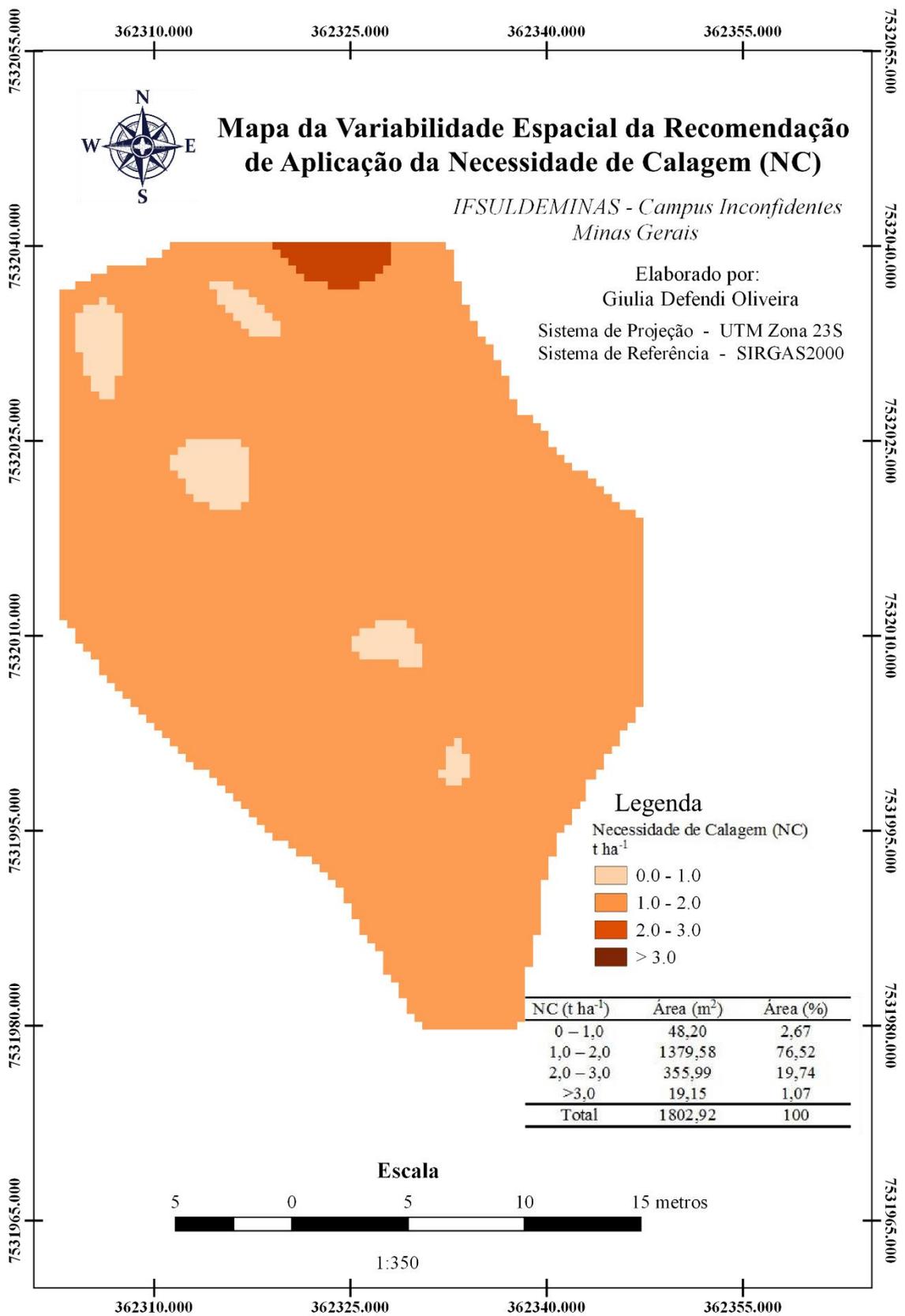


Figura 5. Mapa de variabilidade espacial da variável Necessidade de Calagem (NC), Inconfidentes, MG (2016).

Assim, parte da área receberia calcário de forma desnecessária, onerando os custos de aplicação e causando inadequação ao equilíbrio na absorção de íons pelas plantas. Em contrapartida outra parte da área receberia doses inferiores ocasionando deficiência na correção e acarretando problemas com desenvolvimento da cultura. Borgelt et al., (1994), também verificou a eficiência da correção da acidez do solo por meio da aplicação localizada.

As Figuras 6 e 7 expressam o resultado da interpolação dos valores de disponibilidade de P e a recomendação de P_2O_5 .

Verifica-se que existe dependência espacial para as variáveis estudadas (Figuras 6 e 7). Pode-se perceber que os locais com baixa disponibilidade de P apresentam alta recomendação de P_2O_5 , isto se reflete também para os locais que apresentam boa disponibilidade de P, que a recomendação de P_2O_5 é menor.

O mapa da necessidade de fósforo para o mês de novembro (Figura 7), considerando a área homogênea, como feito na agricultura tradicional, mostra que de acordo com Souza et al., (1999), seria necessário para correção desta área é 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Dessa forma, pela adubação baseada na média, 70,88 % da área receberá quantidade de fertilizante fosfatado superior à dose necessária.

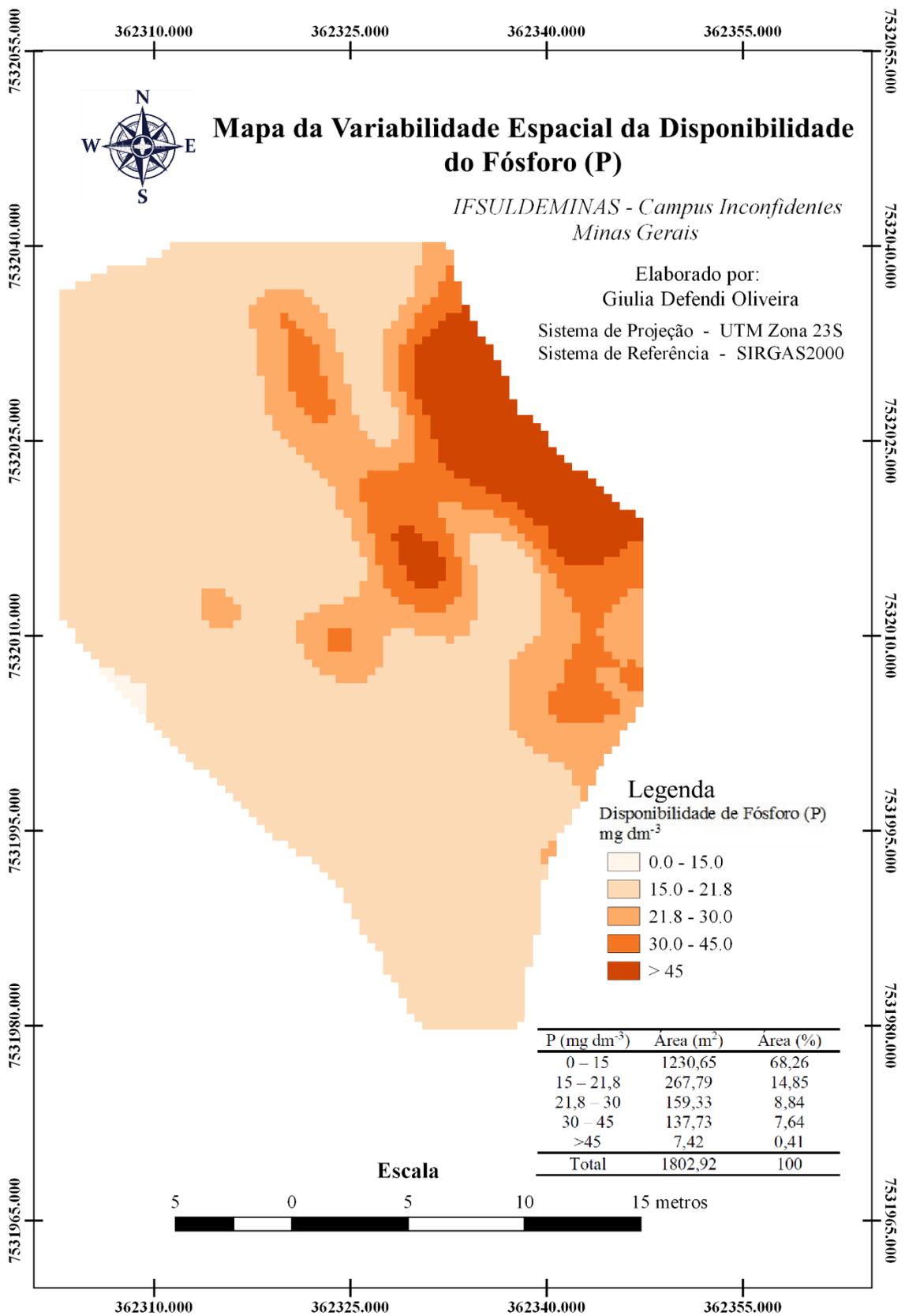


Figura 6. Mapa de variabilidade espacial da disponibilidade de fósforo (P), Inconfidentes, MG (2016).

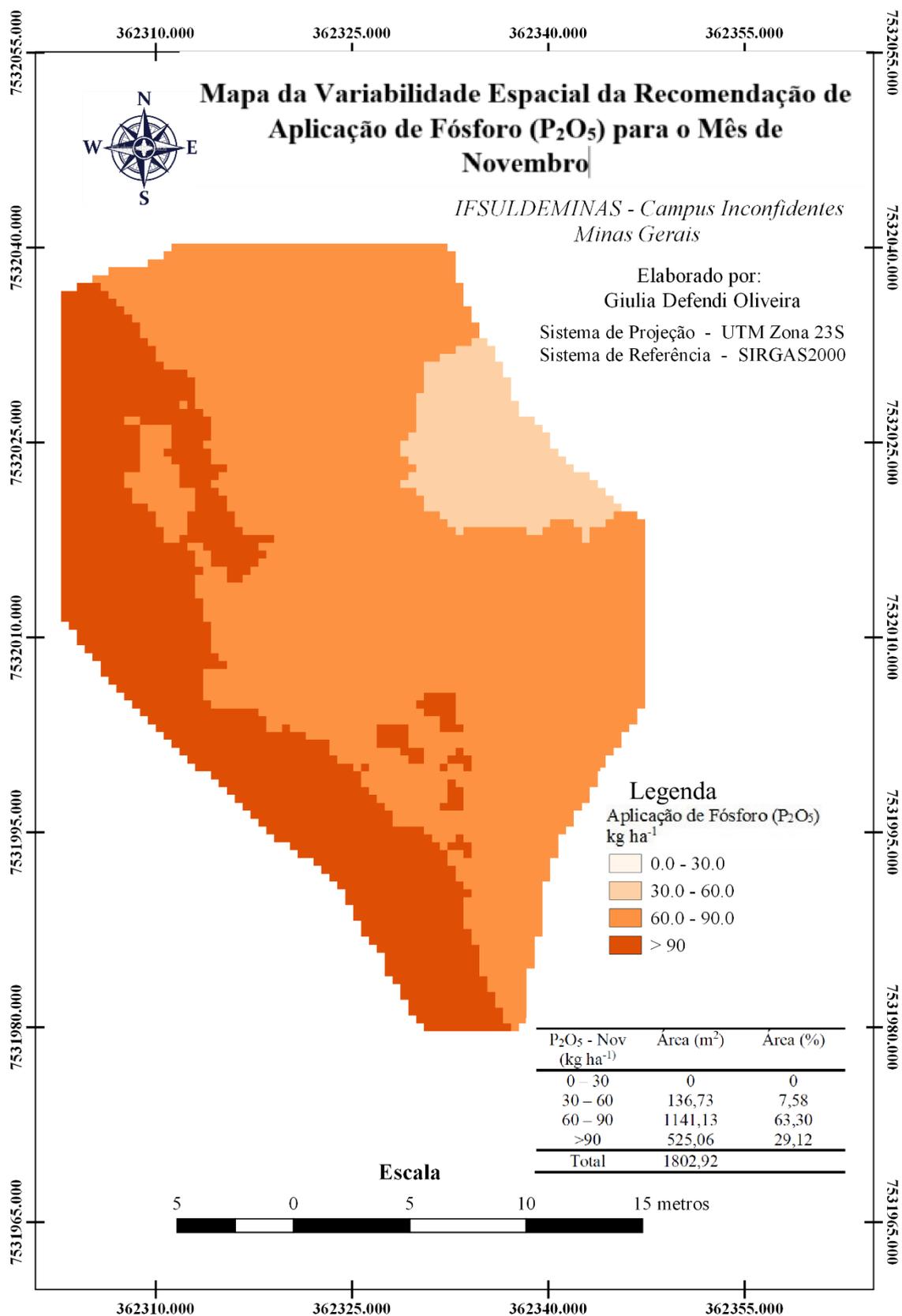


Figura 7. Mapa de variabilidade espacial da recomendação de aplicação de fósforo do mês de novembro (P_2O_5), Inconfidentes, MG (2016).

Estes resultados podem corroborar com as baixas produtividades, uma vez que em áreas que necessitam de doses menores, irão receber as doses excessivas. Além de que, poderá aumentar o custo deste fertilizante já que está sendo aplicado de forma superior ao necessário e poderá implicar em problemas a contaminação ao meio ambiente.

Pela análise das Figuras 8, 9 e 10, percebe-se uma relação direta entre a disponibilidade de K com adubação potássica do mês de janeiro e abril.

É possível detectar variabilidade espacial e identificar que os locais com maior disponibilidade de potássio apresentam menor recomendação de K_2O tanto para o mês de janeiro quanto para o mês de abril (Figuras 8, 9 e 10) e isto também ocorre nos locais de apresentam baixa disponibilidade de K, que a recomendação de K_2O é maior.

Desse modo, também para a adubação potássica realizada pela média, algumas manchas receberiam menor dose que a necessária enquanto outras receberiam quantidade de adubo aplicado maior que a dose ótima. Detectada a variabilidade, o manejo dessa área e a aplicação localizada poderia resultar em uma produção otimizada, ao mesmo tempo que, havendo redução no uso de insumos, reduziriam as possibilidades de possíveis impactos ambientais e menor gasto com insumo.

Para os mapas de necessidade de potássio (Figuras 8 e 9), considerando a área homogênea, como feito na agricultura tradicional, mostra que de acordo com Souza et al., (1999), seria necessário para correção do desta área, para janeiro e abril, 10 e 20 $kg\ ha^{-1}$ respectivamente. Entretanto, observa-se que há locais na área que necessitam de dosagem inferior, sendo 78,40% em janeiro e 68,03% em abril.

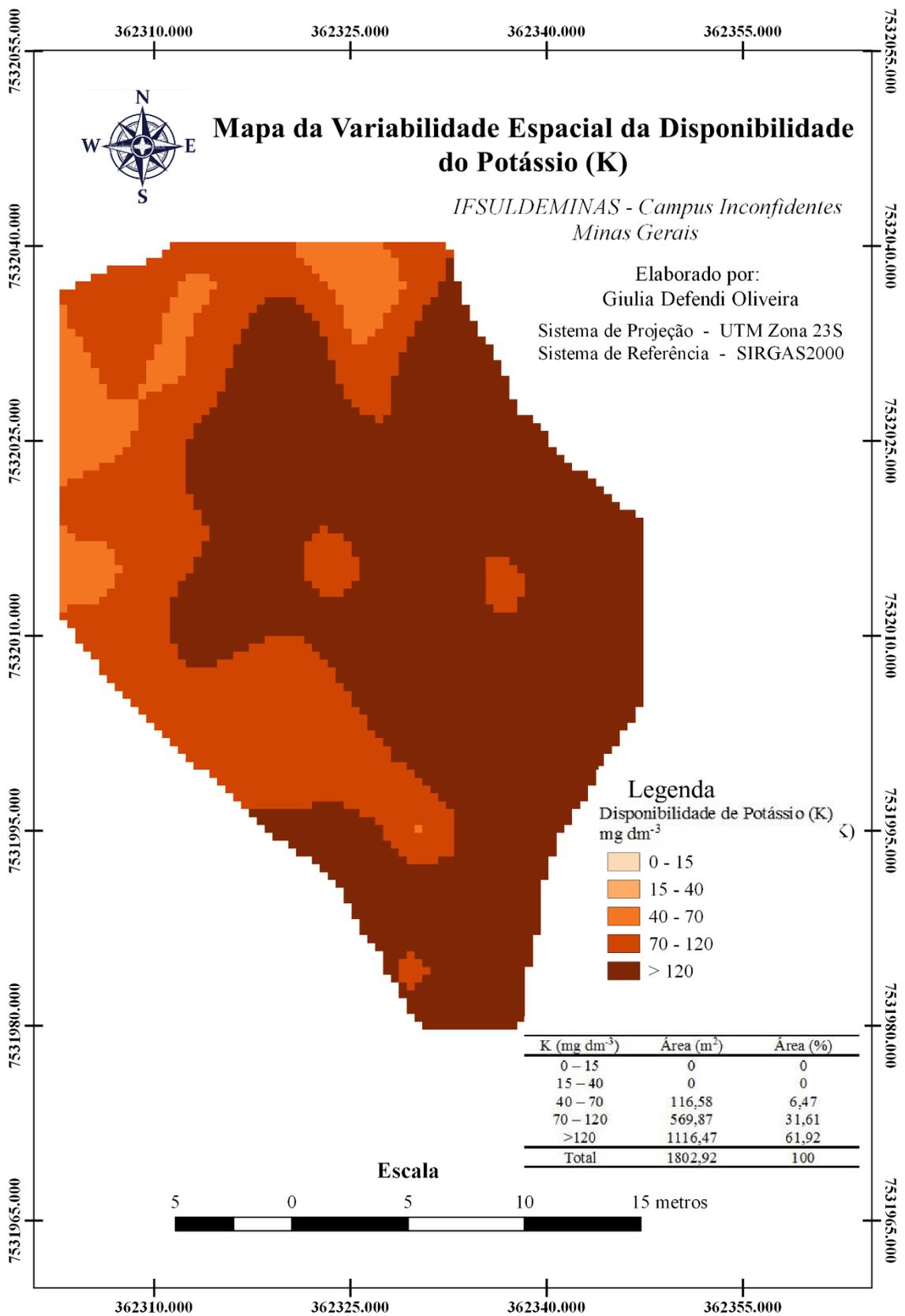


Figura 8. Mapa de variabilidade espacial da disponibilidade de Potássio (K), Inconfidentes, MG (2016).

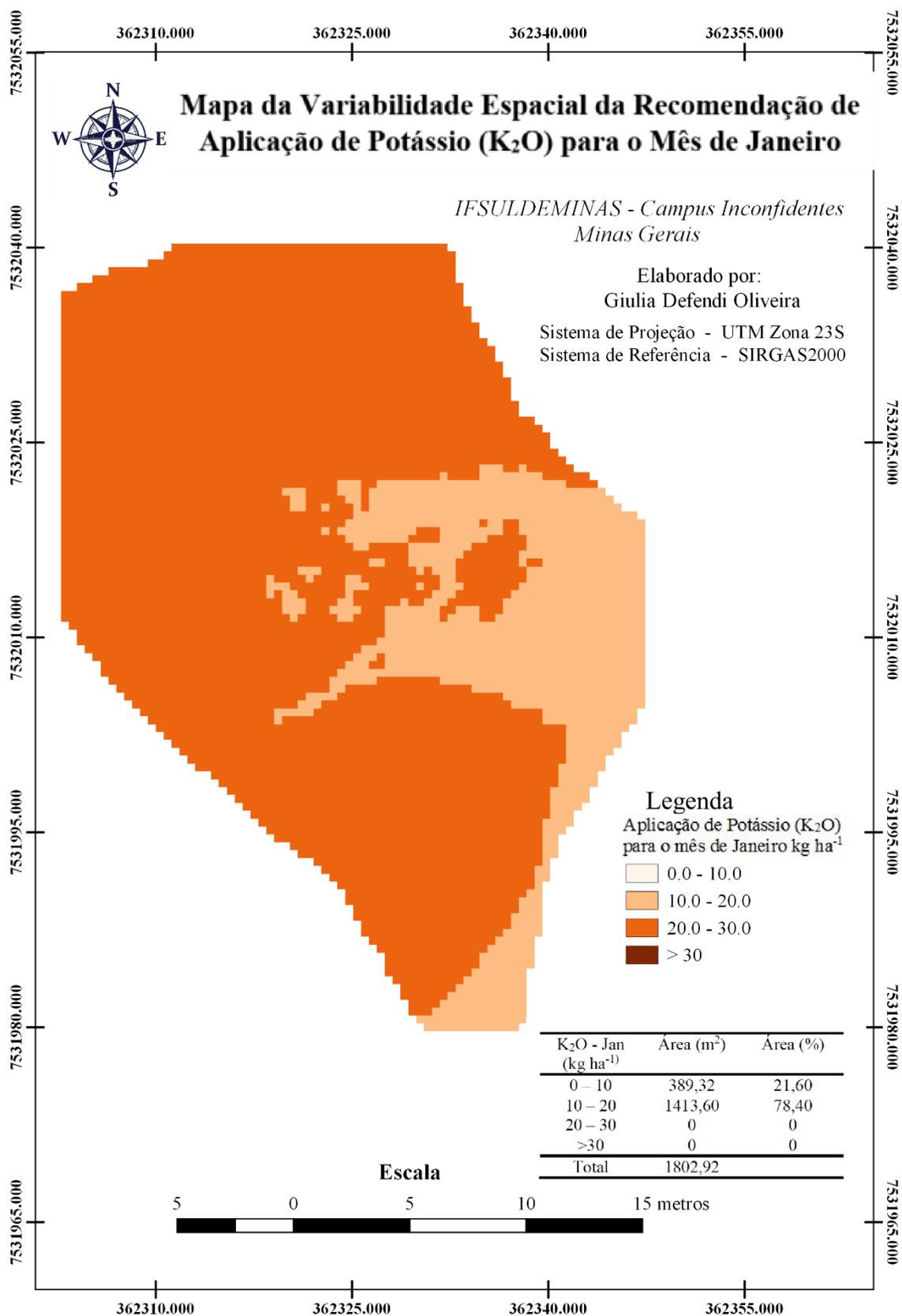


Figura 9. Mapa de variabilidade espacial da recomendação de aplicação de potássio do mês de janeiro (K₂O), Inconfidentes, MG (2016).

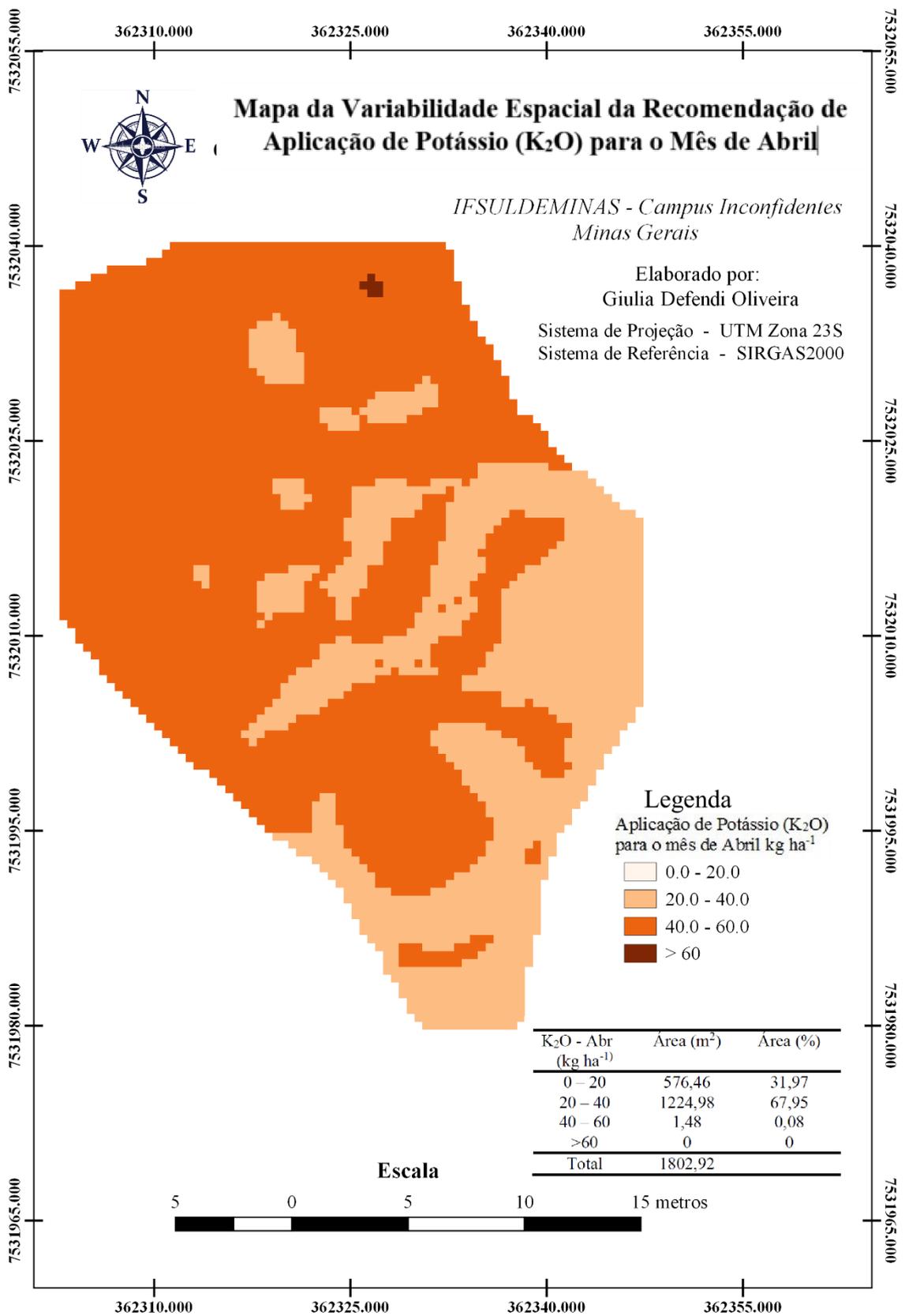


Figura 10. Mapa de variabilidade espacial da recomendação de aplicação de potássio do mês de abril (K₂O), Inconfidentes, MG (2016).

Dessa maneira, pela adubação baseada na média, esses locais com doses inferiores apresentarão deficiência nutricional. Todavia adubação potássica tem um papel fundamental para o desenvolvimento adequado do fruto e para o aumento da espessura da casca (RODRIGUEZ, 1980; DAVIES; ALBRIGO, 1994). Sendo assim, a deficiência desse elemento para esta cultura poderá trazer prejuízos.

Na Tabela 2 são apresentados os custos comparativos com insumos na agricultura tradicional e agricultura de precisão; podem-se observar também as diferenças nas recomendações de aplicação de corretivos e fertilizantes na agricultura de precisão onde é possível visualizar as unidades de gestão diferenciadas.

Tabela 3. Comparação do custo de aplicação de insumos entre o Sistema Convencional e Agricultura de Precisão, Inconfidentes, MG (2016).

| | Corretivo | Fertilizantes | | | | | | Custo Total |
|-------------------------------------|-----------|---------------|-------|------------|--------|------|-------|-------------|
| | | Ureia | Custo | S. Simples | Custo | KCl | Custo | |
| Sistema Convencional (Área 0,18 ha) | | | | | | | | |
| | t | kg | R\$ | kg | R\$ | kg | R\$ | R\$ |
| | 0,30 | .... | .... | .... | .... | .... | .... | 36,13 |
| Set | .... | 17 | 22,44 | .... | .... | .... | .... | 22,44 |
| Nov | .... | 25 | 33,00 | 91 | 136,68 | .... | .... | 169,68 |
| Jan | .... | 25 | 33,00 | .... | .... | 4 | 5,10 | 38,10 |
| Abr | .... | .... | .... | .... | .... | 8 | 10,20 | 10,20 |
| Total= | | | | | | | | 276,55 |

| | Fertilizantes Minerais | | | | | | | | Custo Total |
|---|------------------------|---|------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------|
| | Ureia | | S. Simples | | KCl | | Custo | Total | |
| | Dose | Custo | Dose | Custo | Dose | Custo | | | |
| Manejo localizado - Agricultura de Precisão | | | | | | | | | |
| | Área (m ²) | t ha ⁻¹ | kg | R\$ | kg | R\$ | kg | R\$ | R\$ |
| Calcário | 48,20 | 0 - 1 | .... | .... | .... | .... | .... | .... | 0,29 |
| | 1379,58 | 1 - 2 | .... | .... | .... | .... | .... | .... | 24,83 |
| | 355,99 | 2 - 3 | .... | .... | .... | .... | .... | .... | 10,68 |
| | 19,15 | > 3 | .... | .... | .... | .... | .... | .... | 0,69 |
| Subtotal 1= | | | | | | | | 36,49 | |
| Set | 1802,92 | | 17 | 22,44 | | | | | 22,44 |
| Subtotal 2= | | | | | | | | 22,44 | |
| Novembro | 1802,92 | .... | 25 | 33,00 | .... | .... | .... | .... | 33,00 |
| | | kg ha ⁻¹ P ₂ O ₅ | .... | .... | .... | .... | .... | .... | 0,00 |
| | 0 | 0 - 30 | .... | .... | 0 | 0,00 | .... | .... | 0,00 |
| | 136,73 | 30 - 60 | .... | .... | 5 | 7,51 | .... | .... | 7,51 |
| | 1141,13 | 60 - 90 | .... | .... | 57 | 85,61 | .... | .... | 85,61 |
| 525,06 | > 90 | .... | .... | 27 | 40,55 | .... | .... | 40,55 | |
| Subtotal 3= | | | | | | | | 166,67 | |
| Janeiro | 1802,92 | .... | 25 | 33,00 | .... | .... | .... | .... | 33,00 |
| | | kg ha ⁻¹ K ₂ O | .... | .... | .... | .... | .... | .... | 0,00 |
| | 389,32 | 0 - 10 | .... | .... | .... | .... | 1 | 1,28 | 1,28 |
| | 1413,6 | 10 - 20 | .... | .... | .... | .... | 5 | 6,38 | 6,38 |
| | 0 | 20 - 30 | .... | .... | .... | .... | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 0 | > 30 | .... | .... | .... | .... | 0 | 0,00 | 0,00 | |
| Subtotal 4= | | | | | | | | 40,66 | |
| Abril | 575,46 | 0 - 20 | .... | .... | .... | .... | 2 | 2,55 | 2,55 |
| | 1225,98 | 20 - 40 | .... | .... | .... | .... | 9 | 11,48 | 11,48 |
| | 1,48 | 40 - 60 | .... | .... | .... | .... | 0 | 0,00 | 0,00 |
| | 0 | > 60 | .... | .... | .... | .... | 0 | 0,00 | 0,00 |
| Subtotal 5= | | | | | | | | 14,03 | |
| Total | | | | | | | | 280,29 | |

Nota-se que no sistema de agricultura de precisão o custo total da aplicação de fertilizantes e corretivos é superior em aproximadamente R\$ 4,00 dentro do ano agrícola sendo apenas mais econômica para o mês de novembro.

Sabe-se que os custos das aplicações são aspectos importantes avaliados pelos produtores mas destaca-se com esses resultados a necessidade das aplicações localizadas uma

vez que os corretivos e fertilizantes são fornecidos na dose certa dentro das necessidades específicas em cada unidade de gestão, diferentemente do sistema convencional.

Este sistema de manejo localizado proporcionará maior eficiência na utilização dos insumos fazendo com que sua utilização seja mais racional tornando-a mais vantajosa e acredita-se que os retornos serão refletidos nas colheitas, uma vez que não haverá excesso nem déficit nutricionais minimizando os impactos ao solo, as plantas e ao meio ambiente.

5. CONCLUSÃO

O uso da técnica de geoestatística possibilitou detectar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo possibilita a recomendação de doses de calcário, fósforo e potássio com taxas variadas, proporcionando maior eficiência na aplicação, tornando viável a adoção da agricultura de precisão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V.; V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G.; ALVARES VENEGAS, V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

AMADO, T. J. C.; BELLÉ, G. L.; DELLAMEA, R. B. C.; PES, L. Z.; FULBER, R.; PIZZUTI, L.; SCHENATO, R. B.; LEMAINSKI, C. L. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de agricultura de precisão **In: Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, n 91, 2006.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo**. Engenharia Agrícola, v.28, p. 645-653, 2008.

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

BOTEON, M.; NEVES, E.M. Citricultura brasileira: aspectos econômicos. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. (Org.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo/FUNDAG, 2005. p. 19-36.

COLAÇO. A. F.; **Efeito da adubação em doses variadas em pomares de laranjeiras ao longo de quatro safras**. 2012. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP. 2012.

DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F. Mecanización para la agricultura de precisión. In: Blu, R. O.; Molina, L. F. (org.). Agricultura de precisión – introducción al manejo sitio-específico, 1999. Chillán: INIA e Cargill Chile, 1999, cap. 3, 128 p.

DAVIES, F. S.; ALBRIGO, L. G. **Crop production science in horticulture 2: citrus**. Wallingford: CAB International, 1994. 254 p.

DONAGEMMA, G. K. et al. (Org.) **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos / Embrapa Solos; 132).

DRAGONE, D. S. **Formas de organização da produção e decisões de terceirização na citricultura**. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

FAO. **Agroclimatological data for Latin América and Caribbean**. Roma, 1985. (Coleção FAO: Produção e Proteção Vegetal, v. 24).

Food and Agriculture Organization (2013) FAOSTAT: Statistical database. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>. Acesso em: 04 set. 2016.

FAO (2014) Food and Agriculture Organization. Faostat: Statistical database. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/Q/QC/E>> Acesso em: 17 set. 2016.

FARIAS, P. R. S.; BARBOSA, J. C.; VIEIRA, S. R.; SÁNCHEZ-VILA, X.; FERRAZ, L. C. C. B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v.10, p.1-9, 2002.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J.C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: Mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 2, 2003.

FRASSON, F. R.; MOLIN, J. P. Análise da variabilidade espacial da produtividade de soja utilizando recursos do software R. *In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão*, 2006, São Pedro. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP 2006. Piracicaba: USP/ESALQ, 2006.

GUIMARÃES, E.; MAIA, J. C. de S.; DANIEL, L. A.; SERPA, F.; e CAVALIERI, A. Determinação do número de amostras necessárias para avaliar parâmetros físicos do solo em diferentes sistemas de preparo através de métodos geoestatísticos. Campinas, SP, 1996.

IBGE (2012) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática. SIDRA. Disponível em: <http://sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=t&o=11>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

KINCHELOE, S.; SPRINGER, R.; LECHNER, W. Global navigation satellite systems (GNSS). **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 11, p. 3-21, 1994.

LAMPARELLI, R.A.C., ROCHA, J.V., BORGHI, E. Geoprocessamento e Agricultura de Precisão. Ed. Agropecuária, 2001, 118 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potássio e do Fosfato, 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 638 p.

MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J.D.; PIO, R. M.; JUNIOR, J. P. (Ed.). CITROS: principais informações e recomendações de cultivo. 2005. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/Citros/Citros.htm>>. Acesso em: 17 de maio de 2016.

MENDONÇA, F. N.; ALMEIDA, L. M.; FONTANA, M. S.; Variabilidade espacial de fósforo (P) e potássio (K) sob diferentes densidades amostrais. Pompeia, 2013. 32 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Agricultura de precisão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. Brasília, 2013. 36 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão no Brasil: estado atual e perspectivas. VI Congresso de soja. 2012. ESALQ/USP. Disponível em: < http://www.canaldoprodutor.com.br/agricultura-precisao/wp-content/uploads/2012/09/Jos%C3%A9-P.-Molin-Esalq_USP.pdf > Acesso em: 16 de maio de 2016.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; PASSOS, R. R.; SILVA, S. A.; SILVA, A. F. **Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon**. Engenharia Agrícola, v.28, p.176-186, 2008.

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

RODRIGUEZ, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F. (Coords.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fund. Cargill, 1980. v.2, p.387-428.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de crotalaria juncea L. em solos degradado do município de Piracicaba-SP**. Tese de Doutorado apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo. 83p. 1996.

SCHUELLER, J. K.; WHITNEY, J. D.; WHEATON, T. A.; MILLER, W. M.; TURNER, A. E. Low-cost automatic yield mapping in hand-harvested citrus. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v.23, p.145-153, 1999.

SHERMAN G. E.; SUTTON, T.; BLAZEK, R.; LUTHMAN, L. 2015. Quantum GIS User Guide - Version 2.8.2 Wien. Disponível: <<http://qgisbrasil.org/>>. Acesso: 20 de ago. 2016.

SOUZA, C. K.; **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional. 2006**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrônômica) – UNESP, Piracicaba, SP. 2006.

SOUZA, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; CARVALHO, J.G.; FRAGOAS, J.C. Citros. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVARES VENEGAS, V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.219-225.

TSCHIDELL, M.; FERREIRA, M. F. Introdução à agricultura de precisão: Conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p. 159-163, 2002.

VALENCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. P.; BETTINI, C. Geoestatística aplicada à Agricultura de Precisão. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 37 –56.

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

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, 2002. v.2. p.1-45.

LOPES, F. A.; **Adubos em doses variadas em citros.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – ESALQ/USP, Piracicaba, SP. 2010.

WEIRICH NETO, P. H.; SVERZUT, C. B.; SCHIMANDEIRO, A. **Necessidade de fertilizante e calcário em área sob sistema plantio direto considerando variabilidade espacial.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.338-343, 2006.