



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS

CAMPUS DE GURUPI

CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ÉZIO HENRIQUE DIAS SILVA

**AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREA DE PIVÔ
CENTRAL DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO**

Gurupi/TO
2020

ÉZIO HENRIQUE DIAS SILVA

**AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREA DE PIVÔ
CENTRAL DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi Curso de Agronomia para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador Prof. Dr. Fernando Machado Haesbaert

Gurupi/TO
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S586a Silva, Ézio Henrique Dias .
Agricultura de precisão em área de pivô central de alto potencial
produtivo. / Ézio Henrique Dias Silva. – Gurupi, TO, 2020.
40 f.
- Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Gurupi - Curso de Agronomia, 2020.
Orientador: Fernando Machado Haesbaert
1. Agricultura de precisão. 2. Variabilidade espacial. 3. Alto potencial
produtivo. 4. Geoestatística. I. Título

CDD 630

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Ézio Henrique Dias Silva

AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREA DE PIVÔ CENTRAL DE ALTO POTENCIAL PRODUTIVO

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Curso de Agronomia para obtenção do título de Engenheira e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 03 / 12 / 2020

Banca Examinadora



Prof. Dr. Fernando Machado Haesbaert, UFT
Orientadora e presidente da banca examinadora



Prof. Dr. Saulo de Oliveira Lima, UFT
(Examinador)



Prof. Dr. Jacinto Pereira Santos, UFT
(Examinador)



Eng. Agrônomo José Paulo Oliveira Castro, Máxima Consultoria
(Examinador)

Gurupi - TO, 2020

Dedico em especial a todos que contribuíram para que esse momento se realizasse em especial a minha avó Teodora Borges (in memoriam) e meu bisavô Justiliano José (in memoriam) que me acompanharam desde inicio da minha jornada e partiram antes que momento chegasse. Aos meus pais Jaime Augusto e Rosa Maria e as minhas irmã Jaqueline Araújo, Morgana Leticia e Ellen Priscila e aos meus avôs Darvalino Dias e Davina Magalhães e a todos familiares e amigos.

Na agricultura, o ingrediente ativo de maior resposta e o conhecimento na lavoura é o conhecimento aplicado com sabedoria. E a mão do conhecimento maneja o potencial de produção da lavoura (Dirceu Gassen).

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá (Ayrton Senna).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas bênçãos e proteção ao longo desses anos.

Agradeço em especial ao meu pai Jaime Augusto da Silva homem de grandes virtudes pelas noites de sono dedicados ao seu trabalho e sem sua ajuda meu sonho não poderia ser realizado e também a grande mulher guerreira, perseverante minha mãe Rosa Maria Dias Souto Silva a juntamente com minha irmã Ellen Priscilla foram meus grandes incentivadores. E as minhas irmãs Jaqueline Araújo e Morgana Leticia, as minhas sobrinhas Theodora Maria e Valentina ao afilhado Flávio Augusto e aos meus Avôs, padrinhos e todos os familiares que me apoiaram e abrirão mão da minha companhia.

A MINHA ETERNA, AMADA E SAUDOSA AVÓ TEODORA BORGES DA SILVA (*in memoriam*), meu maior exemplo de fé, sabedoria, determinação, humildade, acolhimento, simplicidade, doçura e fortaleza. Virtudes que marcarão para sempre minha vida.

Também Universidade Federal do Tocantins por todos esses anos, pela estrutura e a todos funcionários e profissionais que buscavam para que o ensino fosse repassado. aos professores mestres que repassaram o conhecimento que não medem esforços para formação de profissionais em especial ao meu orientador Professor Dr Fernando Machado Haesbaert pela orientação desde início do período acadêmico pela paciência e o exemplo profissional e ao grupo de pesquisa em Fitometria Experimental. Aos Professores Doutores Jacinto Pereira Santos e Saulo de Oliveira Lima e o Mestre José Paulo por aceitarem o convite para essa banca.

Aos grandes profissionais, amigos e supervisores de estágio os Engenheiros Agrônomos Antônio Henrique Camilo e José Paulo Oliveira em nome da Empresa Máxima Consultoria Pesquisa e Inovação por todo o suporte, incentivo, pelos ensinamentos na parte técnica e pela paixão pela profissão os quais me ajudaram a evoluir.

Agradeço a todos os amigos que fiz ao longo desse período em especial: Antonio Henrique, Arthur Souza, Izaías Macedo, José Paulo, Lucas Sodré, Nylo, Paulo Alexandre, Pedro Henrique, Pedro Lucca, Robson Silva, Sávio Oliveira, Welder Dias. As amigas Jussana, Fabiana, Fernanda, Tania. Aos amigos que moraram na república Dus Meninus Mauricio César, Benicio Junior, Diego Drews, Flavio. E aos amigos do Time Curva de Rio (BICAMPEÃO UFT).

RESUMO

O conhecimento da variabilidade espacial dos nutrientes do solo é de grande importância nas recomendações de adubação, permitindo uma melhor gestão dos recursos do meio agrícola, visto que essas áreas agrícolas são heterogêneas e assim permitindo intervenções de acordo com a variabilidade e com potencial resposta da área. Em áreas que apresentam alto potencial produtivo buscar conhecer e modelar essa variabilidade permite maximizar o setor produtivo. A aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável se tornou uma das principais ferramentas da agricultura de precisão, porém a necessidade de analisar e observar o comportamento dos dados e da variabilidade espacial dados é fundamental para que se tenha boa confiabilidade nas estimativas em locais não amostrados, isso é possível através das análises geoestatísticas e da estatística clássica. Esse trabalho busca analisar os dados e modelar o comportamento da variabilidade dos dados espacialmente em área de alto potencial produtivo, no município de Piracanjuba no estado Goiás- Brasil, no ano de 2020. E assim realizar as intervenções agronômicas da forma mais assertiva. A amostragem georreferenciada realizada em grade regular por ponto, cada grade teve um tamanho de 200 x 100 metros, realizada de acordo com a literatura de forma rigorosa a fim de analisar os atributos químicos da camada 0 – 20 cm do solo. As análises químicas dos atributos pH CaCl₂, cálcio, magnésio, fósforo, potássio, enxofre, capacidade de troca catiônica em pH 7, saturação por bases e análises texturais de argila, areia e silte, confirmaram fertilidade química do solo construída pelos níveis dos atributos, pois apresentaram dentro da classe adequada a alto em sua maioria, além de apresentarem alto grau de dependência espacial, baixo a médio coeficiente de variação, bom ajuste dos modelos frente aos dados permitiu estimativas confiáveis como foi determinado pelo coeficiente de determinação e assim gerado os mapas de recomendação de adubação corretivas e de manutenção em dose variável de acordo com variabilidade de cada atributo estudo.

Palavras-chaves: Agricultura de precisão. Variabilidade espacial. Alto potencial produtivo. Geoestatística. Fertilidade química do solo.

ABSTRACT

The knowledge of the spatial variability of soil nutrients is of great importance in fertilization recommendations, allowing a better management of the resources of the agricultural environment, since these agricultural fields are heterogeneous and thus allowing interventions according to the variability and potential response of the field. In field with high productive potential, seeking to know and model this variability allows us to maximize the productive sector. The application of fertilizers and correctives at a variable rate has become one of the main tools of precision agriculture, however the need to analyze and observe the behavior of the data and the spatial variability given is fundamental to have good reliability in the estimates in the non-sampled locations, this is possible through geostatistical analysis and classical statistics. This work seeks to analyze the data and model the behavior of data variability spatially in an field of high productive potential, in the municipality of Piracanjuba in the state of Goiás-Brazil, in the year 2020. And so to carry out agronomic interventions in the most assertive way. The georeferencing sampling carried out in great regularity by point, each grid had a size of 200 x 100 meters, carried out according to the literature in a rigorous way in order to analyze the chemical attributes of the layer 0 - 20 cm of the soil. Chemical analyzes of the attributes pH CaCl₂, calcium, magnesium, phosphorus, potassium, sulfur, cation exchange capacity at pH 7, base saturation and textural analyzes of clay, sand and silt, confirmed a high chemical fertility of the soil built levels of the attributes because they presented within the appropriate class the high for most besides presenting a high grids of spatial dependence, low to medium coefficient of variation, good adjustment of the models in relation to the data allowed reliable estimates as determined by the coefficient of determination and thus generated the maps of recommendation of corrective fertilization and maintenance in variable dose according to the variability of each study attribute.

Key-words: Precision agriculture. Spatial variability. High productive potential. Geostatistical. Chemical fertility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da área de estudo.....	17
Figura 2 - Grids amostrais da área de estudo.....	18
Figura 3: Interface do Aplicativo C7 Campeiro extensão malha geração dos grids amostrais (A), interface do aplicativo no momento da amostragem de solo (B), Aplicativo C7 Campeiro Dados (C).....	19
Figura 4: Amostrador com furadeira Stihl 45 com a base e os recipientes para coleta do solo e homogeneização das amostras do solo.	19
Figura 5: Grid Amostrais em amostragem georreferenciada por ponto	21
Figura 6: Modelo teórico do semivariograma experimental e seus componentes.....	23
Figura 7: Representação gráfica dos modelos do semivariograma.	24
Figura 8: Mapa de variabilidade espacial de atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 20 cm (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , V%, S e P).	32
Figura 9: Mapa de variabilidade espacial de atributos químicos e textura dos solos na profundidade de 0 – 20 cm (CTC, pH, Silte, Argila e Areia).....	33
Figura 10: Mapa de aplicação de Cloreto de Potássio (KCl) em taxa variável de acordo com interpretação da análise de solo.	36
Figura 11: Mapa de aplicação de Gesso em taxa variável de acordo com interpretação da análise de solo.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva de atributos químicos, macronutrientes e textura em solo de pivô central de alto potencial produtivo, Fazenda Santa Fé, município de Piracanjuba – GO (2020).....	26
Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados do semivariograma ajustados aos valores de atributos químicos, macronutrientes e textural de pivô central de alto potencial produtivo, Fazenda Santa Fé, município de Piracanjuba – GO (2020).....	27
Tabela 3 - Classes de interpretação de análise de solo para solos na região do cerrado, na camada de 0 – 20 cm.	28
Tabela 4 - Interpretação das classes de análise de solo em solo de pivô central de alto potencial produtivo, Fazenda Santa Fé, município de Piracanjuba – GO (2020).	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
GPS	Global Posicionamento por satélites
UFT	Universidade Federal do Tocantins
Mapa	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
CBAP	Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão
4C's	Fonte certa, dose certa, época certa, local certo
QGIS	(QGIS Development Team).
SIG	Sistema de informação geográfica
GDE	Grau de dependência espacial
CV%	Coefficiente de variação em porcentagem
CaO	Óxido de cálcio
MgO	Óxido de magnésio
R ²	Coefficiente de determinação;
SQR	Soma de quadrado dos resíduos
pH CaCl ₂	Potencial hidrogeniônico em cloreto de cálcio
Ca ²⁺	Cálcio
Mg ²⁺	Magnésio
H ⁺	Hidrogênio
P	Fósforo
K ⁺	Potássio
S	Enxofre
CTC _(T) :	Capacidade de troca catiônica total
V%:	Saturação por bases

LISTA DE SÍMBOLOS

C_0	Efeito pepita
C_1	Contribuição (Variância)
$C_0 + C_1$	Patamar
A	Alcance
ha	Hectares
Kg.ha^{-1}	Quilos por hectare
mg.dm^{-3}	Miligramas por decímetro cúbico
$\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$	centimol de carga por decímetro cúbico

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Localização	17
2.2 Histórico da área.....	17
2.3 Coleta de solo e análises química.....	18
2.4 Materiais de Amostragem	19
2.5 Análises Química e textural do Solo.....	20
2.6 Análises dos dados das amostras.....	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 Amostragem.....	20
3.1.1 Amostragem em Grade por Ponto.....	21
3.1.2 Densidade Amostral	22
3.2 Geoestatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 Estatística Descritiva.....	25
4.2 Geoestatística	27
4.3 Interpretação das análises de solo	28
5. MAPAS DE VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS SOLO.....	32
6. MAPA DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO TAXA VARIÁVEL PARA PÓTASSIO E ENXOFRE.....	34
7. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

As ferramentas de agricultura de precisão vêm sendo utilizadas como grande fonte de dados para técnicos e produtores rurais, para conhecer heterogeneidade das áreas de produção agrícola e posteriormente realizar os tratamentos de acordo com o potencial e a demanda dessas áreas, buscando ter uso mais efetivo dos recursos reduzindo o desperdício baseado no uso racional dos insumos agrícolas.

Devido ao grande passo das tecnologias é possível realizar sistema integrado de recomendações técnicas agronômicas em busca de melhores resultados, um sistema com maior fonte de dados, que servem para explicar causa e efeito de alguns atributos das áreas de produção, buscando um sistema com um melhor resultado social, econômico e ambiental.

Em 2012, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), ao instituir a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão (CBAP), definiu a Agricultura de Precisão como “um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012, p. 6).

De acordo com Molin et al., (2015), agricultura de precisão (AP) se deu no início do século do XX. Mas, em 1980 na Europa quando foi feita o primeiro mapa de produtividade e assim realizada a primeira aplicação de fertilizantes em taxa variável. O fator determinante para a aplicação da agricultura de precisão no Brasil foi surgimento do GPS (Global Posicionamento por satélites).

O Brasil vem tomando frente para se tornar um dos maiores produtores de alimentos no mundo, isso deve-se muito a uma moderna tecnologia na agropecuária brasileira. Com a modernização da agricultura, máquinas mais sofisticadas (agricultura mecanizada), novas tecnologias contidas no setor agrícola, melhoramento genético, insumos modernos possibilitou um maior rendimento no processo produtivo (JODENIR, 2015).

O crescente aumento da população mundial, estimativas mostram que daqui dez anos a população chegará a 8,5 milhões de pessoas provocando um aumento na demanda de alimentos no mundo. Entretanto, alguns países não conseguirão suprir a demanda interna de alimentos isso devido a questões sociais, ambientais e geopolíticas (MORETTI, 2019). Diante disso o Brasil tem enorme potencial para suprir a demanda de alimento no mundo e também a demanda

interna. Isso se deve ao país estar em uma das condições desse território onde nos permite ter grandes áreas com solos cultiváveis e água em abundância além do relevo e clima favorável, com as estações bem definidas.

Atualmente, no setor agrícola busca se fazer a melhor gestão de recurso seja (sementes, defensivos agrícolas, adubos, corretivos, máquina, homem, solo) e através das tecnologias embarcada auxiliada pelos princípios da AP é capaz de melhorar a gestão dos recursos. Um dos grandes conceitos de gestão de nutrientes é o 4C's que significa fonte certa, dose certa, época certa, local certo. Moldados a partir interações científicas, econômicas e sociais (REETZ, 2017).

Para Bramley (2009), Agricultura de precisão seja um conjunto de tecnologias que promovem melhorias na gestão dos sistemas de produção com base no reconhecimento de que o “potencial de resposta” das lavouras pode variar consideravelmente.

Os nutrientes essenciais são necessários para a planta completar seu ciclo vital para que atendam ainda como essenciais eles devem fazer parte de algum composto ou reação e não pode substituído por nenhum outro nutriente. As plantas tem capacidade de absorver os nutrientes tanto do solo quanto parte área, adubação foliar. A falta ou deficiência de um nutriente pode diminuir o potencial produtivo como descreve a lei do mínimo “Potencial produtivo de uma cultura pode ser limitada pelo nutriente que está presente em menor quantidade”. Portanto deve-se realizar o balanço de nutrientes do solo, ou seja, quantidade de nutrientes que estão sendo exportadas e quantidade que está sendo repostas, para tenha equilíbrio no sistema solo-planta.

Buscando novas alternativas para melhorar eficiência do uso nutrientes e melhorar o desenvolvimento do sistema solo-planta-atmosfera. Pode-se levar a utilizar algumas técnicas agronômicas de manejo agrícola comprovadas pela ciência para melhorar eficiência tais como: Local, dose, épocas de acordo com a curva e maior demanda da cultura sobre o nutriente, parcelamento da adubação de acordo com características do solo tipo de intervenção, rotações de culturas que permitem maior ciclagem de nutrientes (BERNARDI et al., 2017).

Para uma agricultura com mais sustentável necessitamos conhecer a heterogeneidade das áreas agricultáveis seja por tipos de solos, fertilidade química, pluviosidade, topografia entre outros. Em busca da sustentabilidade deve-se estabelecer metodologias para trabalhar com essa heterogeneidade seja por uma gleba ou talhão que demandam tratamentos diferenciados (MOLIN et al., 2015). Atualmente, as maiores intervenções sejam realizadas

para aplicação de corretivos, condicionadores de solos e fertilizantes em taxa variável, realizando as interferências técnicas agronômicas com finalidade de trazer maior retorno econômico e buscando a redução de custos de insumos através da aplicação em taxa variável em função potencial de resposta das áreas norteadas pela variabilidade das unidades de produção. Porém, não deve-se deixar de ser lembrado que a AP está relacionada com o sistema de gestão.

Para que se conheça a variabilidade química do solo é necessário que se tenha confiabilidade nos dados a fim de evitar as fontes de erros. E através da amostragem do solo rigorosa possibilita maior assertividade nas recomendações de fertilizantes e corretivos. Para que ocorra assertividade deve-se fazer uma amostragem representativa visto que os solos são heterogêneos devido aos processos de formação e do manejo ao longo dos anos, ou seja, amostragem deve refletir as condições da área de estudo para orientar uma correta aplicação de fertilizantes e corretivos para culturas.

Outros dispositivos que auxiliam na compreensão dos dados são a utilização da estatística clássica e a geoestatística, sendo que as duas têm premissas diferentes a estatística clássica assume que a variabilidade de um atributo ou de uma amostra é independente da posição no espaço e na geoestatística assume que há uma correlação de um determinado atributo e sua posição no espaço, entretanto dentro de uma determinada distância no espaço algum objeto de estudo pode ser expresso em função da sua distância e valores dos vizinhos são mais semelhantes (RIBEIRO JUNIOR, 1995 e SOUZA et al., 2004).

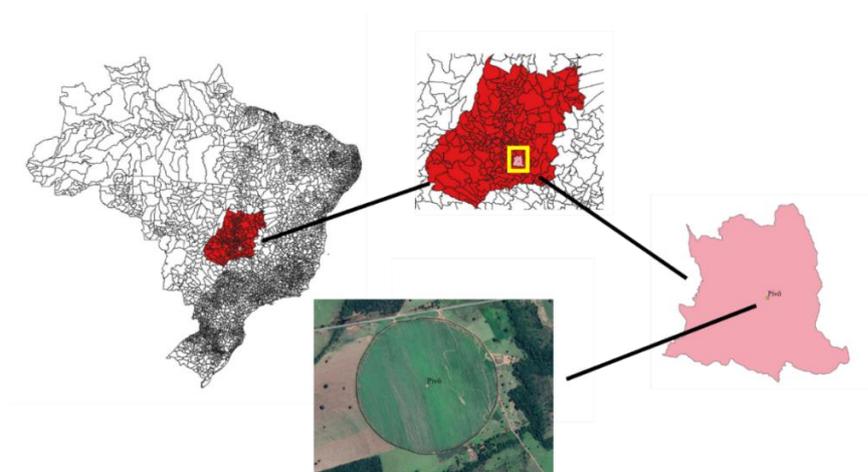
Dentro desse contexto o presente trabalho visa utilizar ferramentas da agricultura de precisão para conhecer a variabilidade da área de estudo aplicando uma agricultura sustentável que permita realizar recomendações agronômicas com maior assertividade de acordo com o potencial e a necessidade da área utilizando a estatística clássica e a geoestatística como ferramenta.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização

O trabalho foi realizado no agrícola de 2020, a área de estudo localiza na Fazenda Santa Fé (17°32'43" Latitude Sul, 49°96'17" Longitude Oeste), situa-se no município de Piracanjuba-Goiás, altitude de 800 m acima do nível médio do mar localiza-se no Estado de Goiás, Centro-Oeste Brasileiro, na Mesorregião Sul. O clima da região segundo classificação de Köppen é o Aw, clima quente com chuvas de verão. A área tem aproximadamente de 67 hectares (ha), sendo o sistema de cultivo irrigado via pivô central o tipo de solo predominante LATOSSOLO Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006), o relevo da área é plano para as culturas de grãos o solo é cultivado em sistema de plantio direto.

Figura 1: Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor, SIG

2.2 Histórico da área

Tabela 1. Histórico da área pivô central de acordo com cultura o ano de cultivo a produtividade e o manejo de fertilizantes.

Cultura	Ano	Produtividade (Kg.ha ⁻¹)	Fertilizante	Kg.ha ⁻¹	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Tomate <i>Solanum lycopersicum</i>	2019	80.000	Adubo (10-30-16)	1500	150	450	240
Soja <i>Glycine max</i>	2019/ 2020	4800	-	-	-	-	-
Feijão <i>Phaseolus vulgaris</i>	2020	3060	Adubo (4-30-10)	440	17.6	132	44
			KCl (0-0-60)	180	0	0	108
			Ureia (45% N)	290	130.5	0	0

Fonte: Elaborado pelo Autor

2.3 Coleta de solo e análises química

Figura 2 - Grids amostrais da área de estudo



Fonte: SIG, Google Satélite

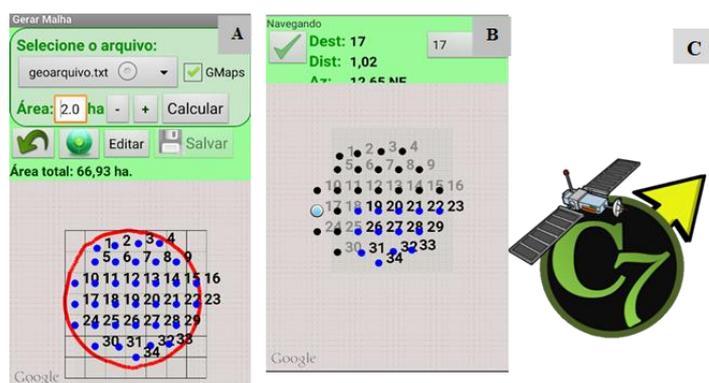
Metodologia empregada amostragem em grid por ponto descrita por Colaço e Molin (2015), onde cada ponto é georreferenciada. A malha amostral utilizada no presente do trabalho é de 200 x 100. A densidade amostral dos grids foi de 2 hectares (ha), ou seja, a cada 2 ha são retiradas 1 amostra composta oriundas de 8 a 12 subamostras. Portanto, a área que tem aproximadamente 67 hectares com 34 grids, a fim investigar a variabilidade da lavoura.

A metodologia seguida foi amostragem por ponto descrita no tópico 3.1.1, é necessário que se percorra área de estudo para se forma o polígono e assim formar os grids virtuais amostrais. Para isso é necessário de um software que georreferencie os dados para conduzir o amostrador até o local da amostragem. O software que auxiliou nesse trabalho foi o aplicativo de Smartphone C7 GPS, que tem a extensão C7 Malha, nele é possível gerar o polígono da área e os grids amostrais (Figura 3A).

O aplicativo C7 GPS Dados (Figura 3C) desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Maria para mapeamento de áreas ou agricultura de precisão, é uma extensão do aplicativo C7 GPS malha, nesta nova versão possibilita a visualização das coordenadas são apresentadas em graus geográficos decimais, hexagesimais e UTM, com os dados armazenados em arquivo podem-se calcular a área, perímetro e gerar malhas amostrais (DE OLIVEIRA). Ele permite o

deslocamento do amostrador identificando a distância do ponto que deseja amostrar, bem como informa a direção como mostra Figura 3C.

Figura 3: Interface do Aplicativo C7 Campeiro extensão malha geração dos grids amostrais (A), interface do aplicativo no momento da amostragem de solo (B), Aplicativo C7 Campeiro Dados (C).



Fonte A e B) Autor C) C7 Dados

2.4 Materiais de Amostragem

Os materiais utilizados para amostragem de solo foram o motor STIHL Bt 45 (Figura 4^a), com uma furadeira, acoplada e uma base, contendo recipientes para coleta do solo (Figura 4B) que fica no solo para retirada do motor vem a quantidade de solo de acordo com a camada analisada. As coletas foram realizadas em uma profundidade de 0 – 20 cm a fim de analisar a fertilidade química do solo.

Figura 4: Amostrador com furadeira STILH 45 com a base e os recipientes para coleta do solo e homogeneização das amostras do solo.



Fonte: Autor

Em seguida após a coleta de solos das subamostras e a mistura para formação de uma amostra composta, as amostras foram prontamente identificadas em saquinhos plásticos e enviadas ao laboratório.

2.5 Análises Química e textural do Solo

As amostras identificadas e assim são enviadas para laboratório particular para análises químicas e textural do solo. A empresa responsável pelas análises é Solocria Laboratório Agropecuário LTDA, localizada na Av. Goiás, 5106 - St. Urias Magalhães, Goiânia - GO, CEP - 74565-250. As análises requeridas foram de Macronutrientes, Micronutrientes e textural.

2.6 Análises dos dados das amostras

Diante dos resultados das análises de solo se procedeu com interpretação das classes dos níveis de nutrientes do solo conforme (Souza e Lobato, 2004), com auxílio do software Excel se analisou na estatística descritiva dos dados, buscando se visualizar o comportamento dos dados utilizando os parâmetros: média, mediana, desvio padrão, valores de mínimo e máximo de cada atributo e os coeficientes de variação, assimetria, curtose e o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, à 5% de probabilidade realizada no software Sisvar. Para modelagem dos variogramas experimental e a obtenção dos parâmetros dos modelos e o processo de interpolação por krigagem ordinária, utilizou como ferramenta o software geoestatístico GS+ v. 7.0⁺ (ROBERTSON, 2008). Para confecção dos mapas temáticos interpolados utilizou o software QGIS (QGIS Development Team, 2020).

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Amostragem

As intervenções realizadas nos campos de produção são precedidas antes por investigações nas áreas de estudos. Essas investigações que nortearão as tomadas de decisão para intervenção agrônômicas, podendo ser: análises químicas, físicas, pragas e doenças. Uma

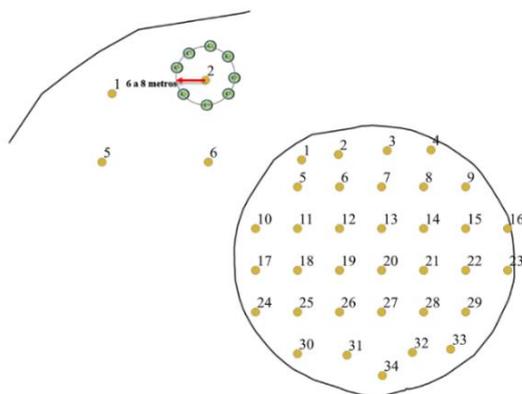
das formas de representar investigações através de mapas temáticos através de pontos georreferenciadas, ou seja, cada amostra tem sua posição definida a partir de um datum e coordenadas definidas no espaço, as metodologias de amostragem de solo foram definidas segundo a literatura (MOLIN, 2015; COLAÇO, 2014; CHERUBIN, 2016).

3.1.1 Amostragem em Grade por Ponto

Um dos procedimentos de amostragem de solo mais utilizados no país pela simplicidade e praticidade dentre as ferramentas de AP no Brasil. A metodologia procede da seguinte forma, uma grade virtual é gerada sobre o talhão por sistema de informação geográfica (SIG), divide-se o campo em polígonos regulares quadrados ou retângulos e dentro de cada polígono regular é criado um ponto amostral. Podendo estar localizado no centro ou aleatoriamente no polígono (FIGURA 5). Cada ponto é georreferenciado e através de um receptor GNSS de navegação governará o amostrador até ponto de amostragem.

Dentro de cada ponto são coletadas subamostras. Orienta-se que elas sejam feitas dentro do raio ao erro do posicionamento do GNSS, 3 a 5 metros. Isso é feito, buscando diminuir o erro do GNSS. Quanto maior quantidade dessas subamostras menor o erro amostral, porém para fins práticos é difícil realizar, muitas outras subamostras devido ao trabalho, custo e tempo, estabeleceu que a coleta deve-se de 8 a 12 subamostras por grid. Sendo que essas serão homogeneizadas formando uma amostra composta, da sua respectiva amostra coordenadas. Onde através de software SIG deverá realizar as interpolações dos dados para estimar os valores aonde não foram realizadas as amostragens.

Figura 5: Grid Amostrais em amostragem georreferenciada por ponto



Fonte: Autor

3.1.2 Densidade Amostral

Para as análises de dados é muito importante que se tenha quantidades de amostras que representam uma determinada gleba, via de regra quanto maior o número de amostras melhor será a representação da área, uma densidade amostral maior, maior será quantidade de amostra por área. Entretanto, maior quantidade de amostra, maior será o trabalho e o custo em amostragem e análises químicas.

Busca-se menor densidade amostral possível, pois quanto maior a distância entre amostras, pior as estimativas dos valores entre eles. Usualmente utiliza-se, uma amostra a cada 1 a 5 hectares (COLAÇO, 2014; MOLIN, 2015).

3.2 Geoestatística

Os princípios da geoestatística vem sendo utilizados desde o século XIX nas mais diversas áreas, Daniel Krige engenheiro de Minas foi grande precursor da geoestatística por utilizar essa ferramenta em predições de reservas de minerais no ano de 1950 (MACHADO et al., 2004). A estatística clássica tem premissa que a variação de um atributo seja por um efeito aleatório e a geoestatística assume que há efeito de correlação entre uma variável e sua distribuição espaço. No efeito aleatório assume que valores do atributo variam consideravelmente entre si e no efeito regional a variabilidade é relacionada com o espaço, dessa forma a variável não é completamente independente da sua localização geográfica e por isso não deve ser tratada como tal. Assim, nessa teoria assume que amostra apresenta valores próximos a da sua vizinhança em relação as amostras mais distantes.

A geoestatística tem algumas técnicas que auxiliam dentro da agricultura de precisão. Sendo essas: I) descrever e modelar padrões através de variogramas; II) predizer valores em locais não amostrados por meio da interpolação; III) obter incerteza associado a um valor da incerteza pela interpolação; IV) otimizar grades amostrais. Através da facilidade computacional dos dias atuais, se facilitou a utilização desses meios visto que esse trabalho de cálculos é laborioso (MOLIN; DO AMARAL; COLAÇO, 2015).

Visto que o principal objeto utilização da geoestatística é a dependência espacial no qual podemos utilizar semivariograma para quantificar essa dependência, ou seja, como um atributo

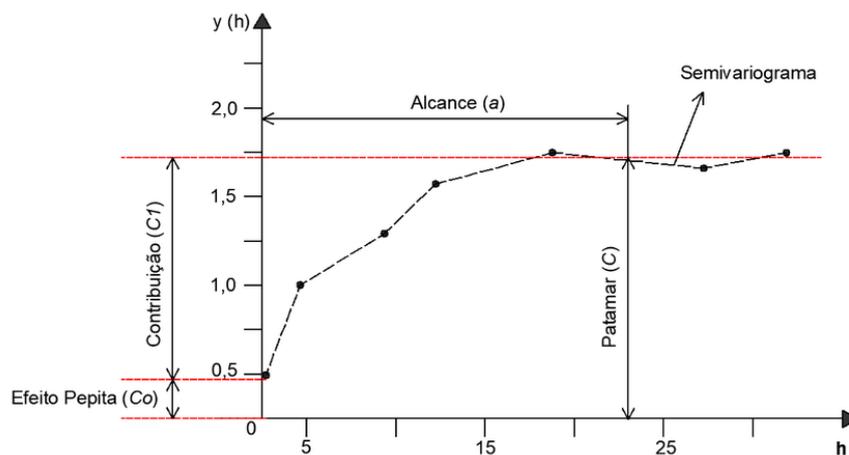
de estudo varia de um lugar para o outro. Nele expressa o comportamento espacial de uma variável em uma determinada região. O semivariograma experimental é gerado e após é ajustado alguns modelos ou funções matemáticas para representar esse conjunto de dados. Então o modelo deve ser ajustado de forma cautelosa para que esse represente de forma fiel a tendência de variação.

O semivariograma teórico modelado é formado por três parâmetros efeito pepita (C_0), Alcance (a), Patamar ($C = C_0 + C_1$) e contribuição (C_1) (MACHADO et al., 2004) como mostra a Figura 6. A variabilidade espacial dos indicadores é mensurada através da geoestatística. Assim determinando o comportamento da dependência espacial, calculando a semivariância com a equação proposta por Matheron (1963):

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

Sendo $N(h)$ o número de pares de valores experimentais medidos em $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados pelo vetor h . No presente estudo, os valores de Z foram os atributos textura-química do solo da área estudada, enquanto os valores de x_i e $x_i + h$ foram definidos de acordo com a localização geográfica das amostras realizadas no campo (GOMES et al., 2008).

Figura 6: Modelo teórico do semivariograma experimental e seus componentes.



(Fonte: CAMARGO, 1998.)

Segundo Molin et al., (2015) o efeito pepita é o valor teórico da semivariância obtido da distância zero entre as amostras. Quando a proporção da variância não é explicada pela distância entre pontos. Um exemplo ao coletar uma amostra no mesmo local deveria apresentar o mesmo valor, mas não é isso que ocorre pela impossibilidade de colocar pontos no mesmo local. Um dos grandes erros podem da precisão do GNSS visto que mesmo apresenta alguns

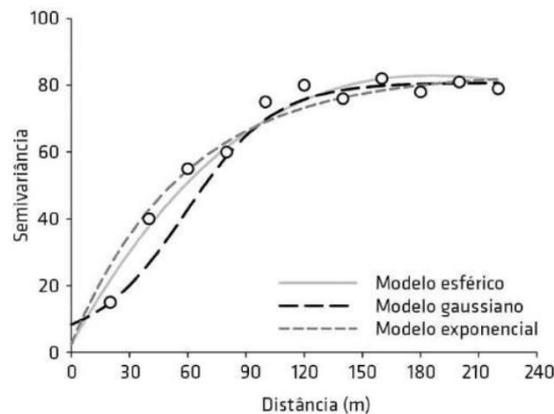
erros quanto a localização. Já para o parâmetro alcance (a), o atributo de estudo e a distância passam a ser independente, onde a variação entre os pontos não é mais em função da distância entre eles, as distâncias menores que o alcance é espacialmente dependente entre si. Esse parâmetro de forma agrônômica mostra que a distância mínima que os dados são dependentes espacialmente e assim é possível determinar a densidade amostral e um atributo seja fielmente modelado e estimado pela krigagem. O outro parâmetro é o Patamar (C) se remete ao valor da curva (assíntota) do modelo ajustado aos dados e efeito pepita representa a variância para h = 0, isto é, a uma dada distancia estabelecida pelo alcance (a), a semivariância não aumenta com mais com distância entre os pontos, a variação passa e ser aleatório.

Para as variáveis de solo os modelos mais utilizados são: gaussiano, esférico e exponencial (Figura 7). As equações de cada modelo são descritas conforme Vieira (2000).

Modelo	Equação
Esférico	$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right), h \leq a$ $\gamma(h) = C_0 + C_1, h \geq a$
Exponencial	$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \text{EXP} \left(\frac{-3h}{a} \right) \right)$
Gaussiano	$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - \text{EXP} \left(-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right)$

Fonte: Vieira (2000).

Figura 7: Representação gráfica dos modelos do semivariograma.



Fonte: Molin, 2015

A escolha do modelo matemático se faz uma das fases mais cruciais da modelagem do semivariograma experimental, sendo o modelo deverá representa fielmente os dados amostrados, tendo o mínimo de incerteza nas estimativas causando interferência na interpolação. Através de tentativa e erro, determinamos o modelo e através das algumas estatísticas de qualidade de modelo. pode-se determinar qual modelo se ajusta melhor ao conjunto de dados reais amostrados como: os coeficientes de determinação (r^2), soma de quadrado de erro, erro médio e etc...

Através do ajuste do modelo matemático e do semivariograma então é definido o efeito pepita (C_0), variância (C_1), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (A). Para se definir o modelo foi o que apresentava maior coeficiente de determinação (R^2) e menor soma dos quadrados do resíduo (SQR). O grau dependência espacial (GDE) é definido.

Para se definir o GDE utiliza a seguinte equação:

$$GDE = \frac{[C_1]}{(C_0 + C_1)} * 100$$

Em que:

GDE= grau de dependência espacial (%);

C_1 = Contribuição; e

$C_0 + C_1$ = patamar.

Robertson (2008), classifica o GDE calculado da seguinte forma:

O grau de dependência espacial foi calculado com base nos valores de variância e do patamar de cada variável, onde é classificado em: fraco ($GDE < 25\%$); moderado (GDE entre 25 e 75%); e forte ($GDE > 75\%$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estatística Descritiva

Inicialmente foi realizada análise exploratória dos dados para verificar aleatoriedade dos mesmos através do cálculo de média, desvio padrão, máximo, mínimo e coeficientes de assimetria, curtose e variação (Tabela 1). Para coeficiente de variação (CV) foram classificados

de acordo Warrick e Nielsen (1980), ($CV < 12\%$) são classificados como baixo, médio sendo ($12 < CV < 60\%$) e para alto ($CV > 60\%$) para classificar os atributos químicos do solo.

Para avaliar se os dados seguem dados de distribuição normal o coeficiente de curtose pode ser utilizado. Para Negreiros Neto et al., (2014), os valores devem, de preferência ser nulos, podendo ser aceito valores entre +2 e -2 para validar a normalidade dos dados utilizou o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov à 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Estatística descritiva de atributos químicos, macronutrientes e textura em solo de pivô central de alto potencial produtivo, Fazenda Santa Fé, município de Piracanjuba – GO (2020).

Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valores			Coeficiente		¹ Ks
				Min	Max	Variação	Assimetria	Curtose	
pH CaCl ₂	6.04	6.00	0.15	5.80	6.30	2.48	0.04	-0.73	0.15*
Ca ²⁺	4.19	4.05	0.81	2.80	6.50	19.41	1.14	1.76	0.14*
Mg ²⁺	1.11	1.11	0.19	0.70	1.50	17.39	-0.11	0.16	0.13*
P	229.14	210.00	59.24	157.40	405.00	25.85	1.57	2.18	0.24 ^{ns}
K ⁺	71.41	63.25	31.15	27.50	135.70	43.62	0.61	-0.59	0.12*
S	1.76	1.65	0.62	1.20	4.20	34.93	1.95	6.24	0.20*
CTC _(T)	7.41	7.40	0.81	6.06	9.48	10.98	0.79	0.95	0.12*
V%	74.32	74.24	4.80	63.63	84.01	6.45	0.09	-0.08	0.09*
Argila	32.06	32.00	4.36	23.00	43.00	13.58	0.36	0.91	0.14*
Areia	59.76	60.50	5.11	47.00	70.00	8.54	-0.38	0.78	0.11*
Silte	8.18	8.00	0.97	3.00	7.00	11.84	0.48	-0.62	0.25*

¹**KS**: teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov; **pH CaCl₂**: potencial hidrogênio em cloreto de cálcio; **Ca²⁺**: cálcio; **Mg²⁺**: magnésio; **P**: fósforo; **K⁺**: potássio; **S**: enxofre; **CTC_(T)**: capacidade de troca catiônica total; **V%**: saturação por bases; **SB**: soma de bases; **Min.**: Mínimo; **Max.**: Máximo; (*) significativo ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov à 5% de probabilidade; (ns) não significativo ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov à 5% de probabilidade

Para os nutrientes Ca²⁺, Mg²⁺, P, K⁺, S e Argila apresentavam coeficiente de variação médio sendo que outros fatores observados apresentaram classificação baixa acordo com classificação Warrick e Nielsen (1980). Para esses nutrientes podemos verificar pela diferença entre os valores máximo e mínimo (amplitude), os mesmos foram que apresentaram maior variação. Os nutrientes K⁺, P e S apresentaram coeficiente de variação mais alto em relação aos outros devido ao manejo utilizado na área onde se utiliza aplicação de fertilizantes de forma fixa e no sulco de plantio, esses dados corroboram com o de Souza et al., (1998) e Machado et al., (2007). no qual verificou que os maiores CV se davam para os nutrientes P e K⁺, muito se dado pelo manejo da área.

Os coeficientes de assimetria demonstraram positivo para os atributos estudados, exceto para os atributos Areia e Mg^{2+} , sendo que os valores de assimetria positivo demonstram haver tendência de concentração dos valores abaixo da média observada (NEVES et al., 2013). Através dos valores apresentados pela média e mediana, para os atributos mostra-se que as distribuições são simétricas, o que pode se confirmados os valores de próximo a zero (SOUZA et al., 2004). Os atributos P e S apresentaram coeficiente de curtose fora dos limites indicado por Negreiros Neto et al., (2014), com valores 2.18 e 6.24 respectivamente.

4.2 Geoestatística

Tabela 3 - Modelos e parâmetros estimados do semivariograma ajustados aos valores de atributos químicos, macronutrientes e textural de pivô central de alto potencial produtivo, Fazenda Santa Fé, município de Piracanjuba – GO (2020).

Variável	¹ Mod	² C ₀	³ C ₁	⁴ C ₀ +C ₁	⁵ A (m)	⁶ GDE(%)	⁷ Clas.	⁸ R ²	⁹ SQR
pH CaCl ₂	Gau.	0.00001	0.02	0.02022	198.49	100	Forte	0.73	0.0001
Ca ²⁺	Gau.	0.00100	0.56	0.564	264.48	99.8	Forte	0.86	0.0303
Mg ²⁺	Gau.	0.00010	0.04	0.0386	255.30	99.7	Forte	0.91	0.0001
P	Gau.	1.00000	883.00	884	223.43	99.9	Forte	0.57	339232
K ⁺	Gau.	1	1924.00	1925	236.08	99.7	Forte	0.82	495843
S	Gau.	0.001	0.43	0.429	232.27	99.8	Forte	0.86	0.1390
CTC _(T)	Gau.	0.0001	0.05	0.0497	232.61	99.8	Forte	0.85	0.0002
V%	Gau.	0.0001	0.05	0.0522	251.84	99.8	Forte	0.84	0.0004
Argila	Gau.	0.01	26.73	26.74	304.49	100	Forte	0.96	14.5000
Areia	Exp.	0.01	21.00	21.01	701.10	100	Forte	0.96	55.6000
Silte	Gau.	0.001	0.86	0.859	304.32	99.9	Forte	0.82	0.0814

¹Mod.: Modelo (Exp.: Exponencial; Gau.: Gaussiano; Esf.: Esférico; Lin.: Linear); ²C₀: Efeito pepita; ³C₁: Contribuição; ⁴C₀+C₁: Patamar; ⁵A: Alcance; ⁶GDE(%): Grau de dependencia espacial; ⁷Clas.: Classe (Fraco; Moderado; Forte); ⁸R²: Coeficiente de determinação; ⁹SQR: soma de quadrado dos resíduos; pH CaCl₂: potencial hidrogênionico em cloreto de cálcio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; P: fósforo; K⁺: potássio; S: enxofre; CTC_(T): capacidade de troca catiônica total; V%: saturação por bases; SB: soma de bases;

O melhor modelo ajustado para os atributos do solo nesse estudo foi gaussiano ele se ajustou melhor para maioria das variáveis, exceto para areia no qual o modelo que melhor se ajustou foi o exponencial. Todos os atributos apresentaram bem ajustado através indicadores qualidade nas estimativas nos modelos, sendo que P e K apresentou um menor coeficiente de determinação (R²), isso se deve pela coeficiente de variação (CV%) e a alta amplitude dos

valores máximos e mínimo, como demonstra a Tabela 2. Todos os nutrientes apresentaram um forte grau de dependência espacial, portanto a distribuição desses nutrientes no solo, não são de forma aleatória.

Para Neto et al., (2013), quanto maior for a dependência espacial maior será a precisão serão obtidas na interpolação por meio das técnicas geoestatística. Visto que quanto maior diferença entre o efeito pepita e o patamar maior também será a continuidade do fenômeno resultando menores variâncias nas estimativas ou maior confiança na estimativa.

O raio máximo onde as amostras vizinhas são utilizadas, no processo de interpolação por krigagem é definido pelo alcance. Portanto, valores maiores do alcance permite melhor qualidade nas estimativas, uma vez que mais pontos são utilizados na interpolação (CORÁ et al, 2004). Diferentes valores de alcance foram encontrados nesse trabalho sendo o valor máximo para análise textura areia (701.10) e o menor valor para pH em CaCl₂ (198.49) Tabela 3.

4.3 Interpretação das análises de solo

Através dos resultados químicos da fertilidade da área foram realizadas as interpretações dos teores dos nutrientes do solo, onde os nutrientes foram classificados de acordo classes estabelecidas por Souza e Lobato (2004) para região do cerrado. A partir interpretação das análises serão realizadas as práticas de intervenções agrônômicas. As classes de interpretação são descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de interpretação de análise de solo para solos na região do cerrado, na camada de 0 – 20 cm.

Interpretação	pH CaCl₂	Ca²⁺ cmolc.dm⁻³	Mg²⁺ cmolc.dm⁻³	P mg.dm⁻³	*K⁺ mg.dm⁻³	S mg.dm⁻³	*CTC_(T)	V%
Muito Baixo	-	-	-	0 a 5	-	-	-	-
Baixo	≤ 4,4	< 1,5	< 0,5	6 a 8	< 25	< 4	< 7,2	≤ 20
Média	4,5 a 4,8	-	-	9 a 14	26 a 50	5 a 9	7,2 a 9,0	21 a 35
Adequado	4,9 a 5,5	1,5 a 7,0	0,5 a 2,0	15 a 20	51 a 80	> 10	9,1 a 13,5	36 a 60
Alto	5,6 a 5,8	> 7,0	> 2,0	> 20	> 80	-	> 13,5	62 a 70
Muito Alto	> 5,9	-	-	-	-	-	-	> 71

Interpretação para K⁺ potássio para solos com CTC pH 7 igual ou maior 4,0 cmolc.dm⁻³. Interpretação da análise de solo para P extraído pelo método da resina trocadora de íons para sistema irrigado com culturas anuais.

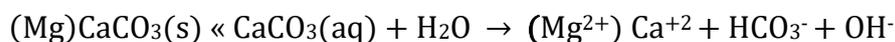
Fonte: Adaptado de Souza e Lobato (2004)

Tabela 5 – Porcentagem das análises de amostras de solo, dentro das classes de interpretação de análise de solo dos nutrientes em área de pivô central de alto potencial produtivo, Fazenda Santa Fé, município de Piracanjuba – GO (2020).

Interpretação	pH CaCl ₂	Ca ²⁺ cmolc.dm ⁻³	Mg ²⁺ cmolc.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	K ⁺ mg.dm ⁻³	S mg.dm ⁻³	*CTC _(T)	V%
Muito Baixo	-	-	-	0	-	-	-	-
Baixo	0	0	0	0	0	97	0	0
Média	0	-	-	0	29	3	47	0
Adequado	0	100	100	0	38	-	47	0
Alto	56	0	0	100	32	0	6	15
Muito Alto	44	-	0	-	-	-	-	85
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

Valores percentuais da quantidade de amostra de solo de acordo com as faixas de interpretação das amostras de análise de solo da área de estudo.

Os valores das amostras de solo para cálcio (Ca²⁺) estão dentro da faixa adequada para todas as amostras conforme Souza e Lobato (2004), o mesmo acontece o teor de magnésio (Mg²⁺), os solos do cerrado são normalmente pobre nesses nutrientes e ácido além de apresentam alumínio tóxico, porém com uso de calagem como prática corretiva do solo para diminuir a atividade do alumínio e elevação do pH também fornece os dois nutrientes visto que o mesmo são mensurados nas formas de óxidos de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO), a parti da reação do calcário.



Esses nutrientes mesmo sendo macronutrientes e desempenha funções fisiológicas nas plantas, eles são exigidos em menores quantidades quando comparados com potássio e nitrogênio, porém exercem grande importância para o equilíbrio químico do solo. O solo tem três fase sendo: gasosa, sólida e líquida, sendo que as fases solidas/ líquidas estão em equilíbrio, sendo que os cátions e ânions podem passar da fase solida- trocável para líquida livremente, desde que se tenha quantidade equivalente de qualquer outro íon do mesmo sinal. Sendo assim os cátions estão em equilíbrio com a fase trocável, na forma em que se absorve algum desses nutrientes pela planta ocorre a reposição de um desses da fase solida para fase líquida (RAIJ, 1983). Portanto, o cálcio e o magnésio são importantes para equilíbrio químico do solo e o balanço de cargas do solo além de serem nutrientes essenciais para planta.

A área anteriormente foi cultivada com a cultura do tomate (*Solanum lycopersicum*), sendo que a mesma altamente exigente em nutrientes e sendo que a falta de alguns pode causam distúrbios fisiológico como a deficiência de cálcio que pode causar podridão apical do fruto

(EMBRAPA, 2006). Podendo ter desclassificação do fruto, portando nessa área fez correção do nutriente cálcio para que se mante- se na faixa adequada para cultura devendo a isso o nutriente estando nesses valores ideais.

Para o elemento P os valores se encaixaram dentre da classe alta, isso é muito é grande relevância visto que os solos do cerrado são apresentam baixa disponibilidade em condições naturais do solo, além desse elemento alta fixação pela fase mineral do solo, principalmente pela argilas ricas em óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) que se caracterizam no cerrado (FLORES, 2016), além de outros fatores com pH baixo e alto onde esses mesmo solos tem como características solos ácidos, onde grande parte do fósforo aplicado na forma de adubação não é aproveitado, onde cerca 20 a 30% (DE RESENDE et al., 2016) é aproveitado pelas culturas. Souza (2004), cita que P aplicado na forma de fertilizantes sofre duas reações adsorção e precipitação, adsorção se a parti da do P fertilizantes com a superfície de minerais como Al e Fe, constituintes da fração argila ligando com alto grau de covalência. Além, da adsorção o P pode precipitar após a solubilização dos fertilizantes com alguns elementos do solo Al, Fe e Ca (DE RESENDE et al., 2007). Devido a essas reações desse elemento junto com sua baixa eficiência utilizam altas doses de fertilizantes em busca suprir a demanda do nutriente. Esses valores elevados dentro dessa classe são caracterizados pela adubação ao longo de sucessivos cultivos na área, visto pela alta dose utilizada nesses cultivos.

O potássio (K^+) foi que mais apresentou variação entre classes isso devido a sua mobilidade no solo, sendo um nutriente móvel no solo ocorrendo lixiviação para camadas mais subsuperficiais fora do alcance do sistema radicular da cultura onde não consegue se extrair o nutriente, outro fator é nutriente bastante extraído pelas plantas cultivadas, sendo junto com nitrogênio um dos nutrientes mais extraídos pela grande maioria das cultura. Isso pela característica química desse íon monovalente, como explica a serie liotrópica descrita por (RAIJ, 1983), onde os cátions são retidos solo da seguinte forma: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > Na^+$. Nessas áreas onde os teores de Potássio estão abaixo do nível adequado, deverá se realizar adubação corretiva para chegar aos níveis críticos e mais adubação de manutenção para culturas que se deseja implantar.

O enxofre (S) é o nutriente mais limitante da área 97% dos valores das amostras estão na classe baixa sendo necessário a utilização de complementação para elevar os teores do nutriente para nível adequado usando práticas de gessagem ou outras fontes que contenha enxofre, para que esse não limite a produtividade da planta, lembrando a lei do mínimo descrita

por Liebig, diz que o crescimento da planta é limitada por aquele nutriente que ocorre em menor proporção. Os valores dos outros atributos pH, V%, CTC (T), estão dentro da faixa média e adequada 47% para CTC, para classe alta 56%, 6% e 15% para pH, CTC e V% respectivamente. E muito Alta 44% das amostras de pH e 85% para V% estão dentro dessa classe.

Com os parâmetros e os modelos estabelecidos de acordo com semivariograma experimental, elaborou-se os mapas de variabilidade do solo para os atributos em estudo através da interpolação por krigagem ordinária na área de estudo (Figuras 8 e 9).

5. MAPAS DE VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS SOLO

Figura 8: Mapa de variabilidade espacial de atributos químicos do solo na profundidade de 0 – 20 cm (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , V%, S e P).

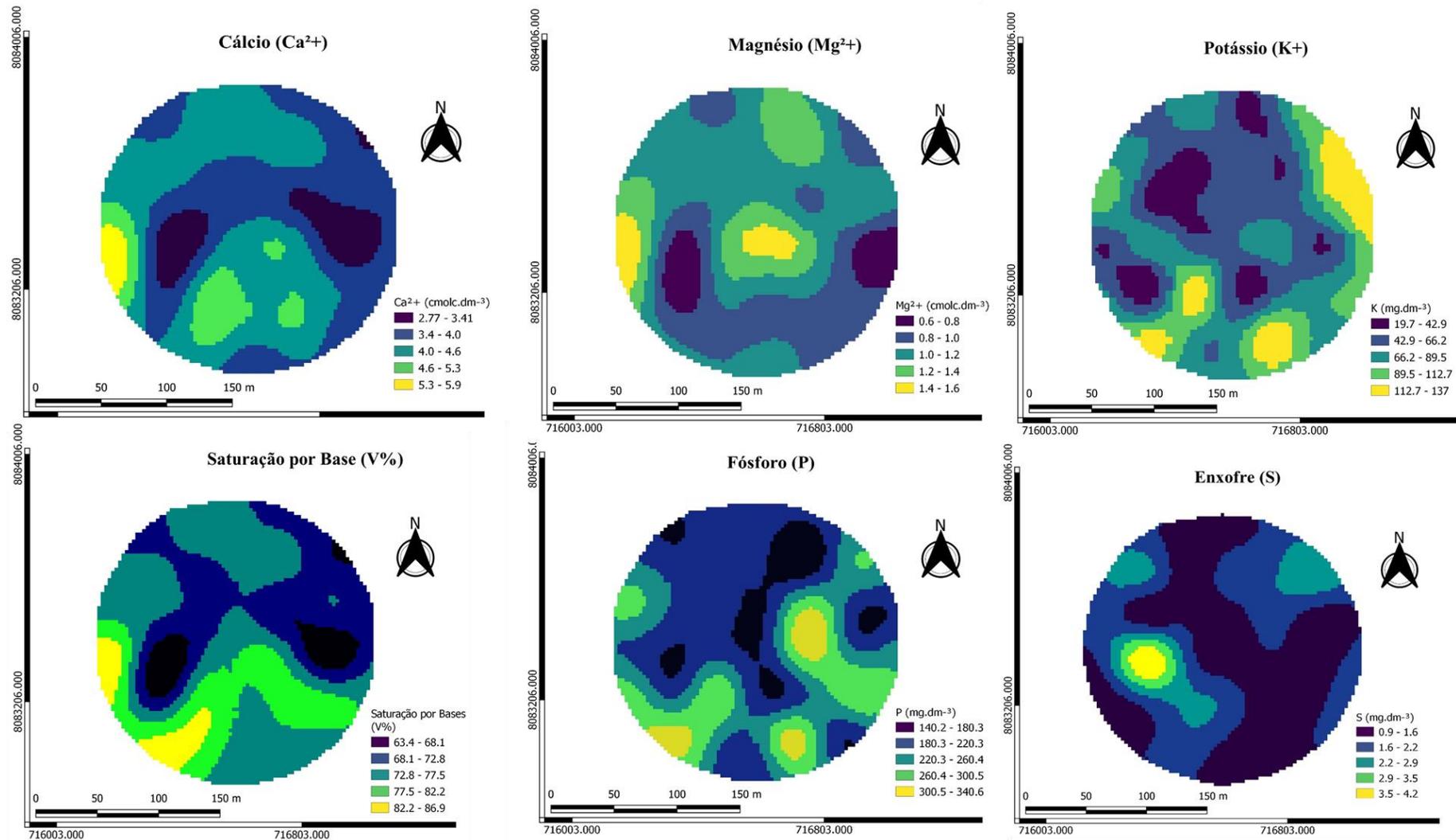
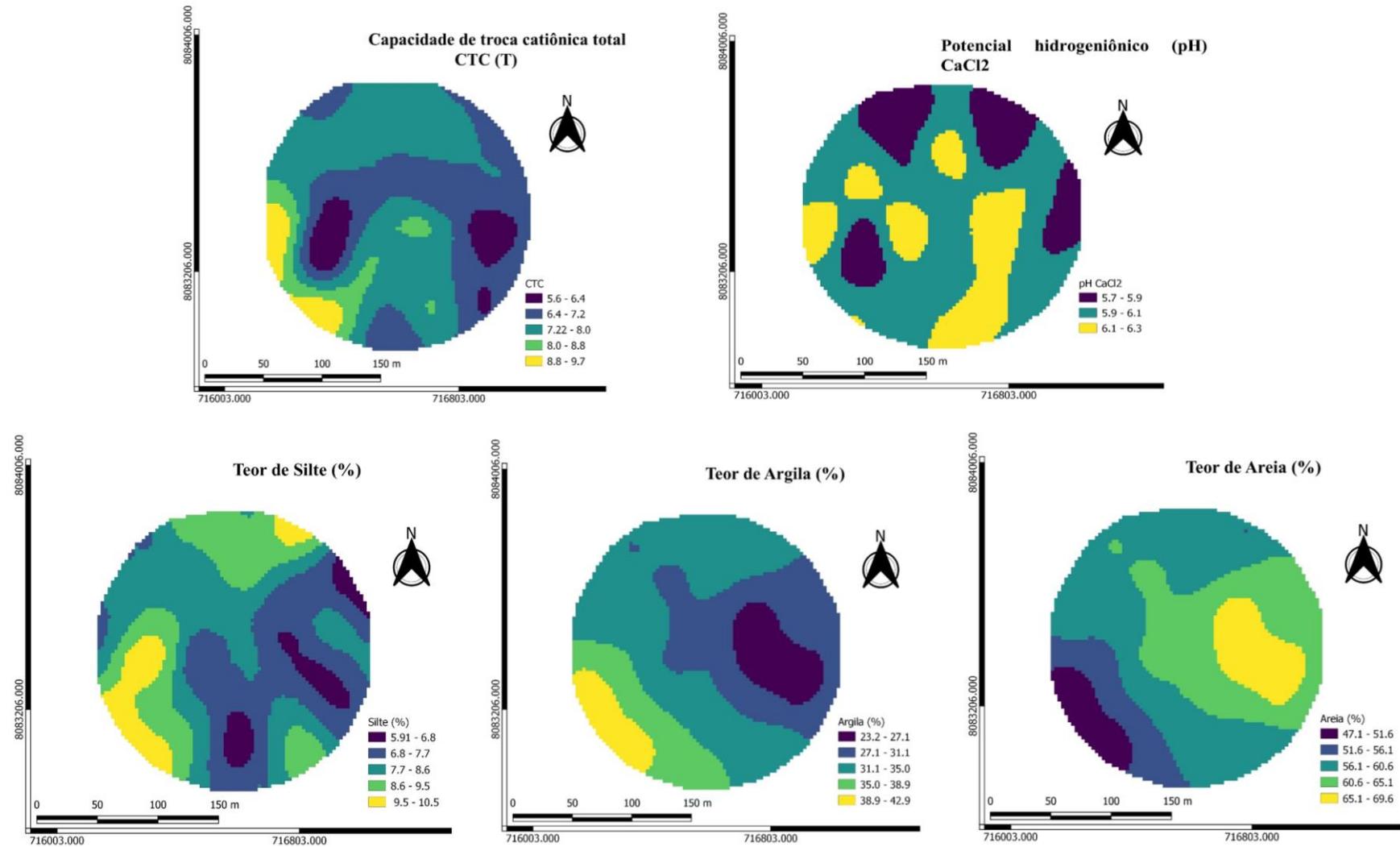


Figura 9: Mapa de variabilidade espacial de atributos químicos e textura dos solos na profundidade de 0 – 20 cm (CTC, pH, Silte, Argila e Areia)



6. MAPA DE RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO TAXA VARIÁVEL PARA PÓTASSIO E ENXOFRE.

De acordo com o resultado e interpretação da análise elaborou-se as recomendações de adubação para área de estudo. O nutriente que teve maior variação entre classes no solo foi o potássio que apresentava em pequenas glebas com teores menores que o nível adequado e alto das classes de interpretação. Para que plantas possa expressar um potencial de produção relativa de 90%, o solo deve apresentar valores iguais ou maiores que níveis críticos do nutriente no solo determinados em tabela de calibrações como descreve Rajj (1983), avaliando o teores de potássio e fósforo em relação a produção relativa da cultura o mesmo autor separa os níveis de adubação no solo quando os teores do nutrientes estão abaixo desses níveis, é necessária realizar a adubação de corretiva do nutriente mais adubação de reposição, a dose de reposição seria a dose da adubação referente a extração e exportação do nutriente pela cultura, visto que nesse caso deve-se pensar na relação solo e planta. Entretanto quando o solo apresenta fertilidade construída com níveis críticos realiza-se apenas adubação de reposição do nutriente, ou seja, baseada na quantidade de nutriente exportados pela cultura.

Portanto buscando elevar os níveis críticos e adubação para cultura posterior na área a soja (*Glycine Max*), para um potencial produtivo de 6.600 kg.ha⁻¹ (110 sacas.ha⁻¹). Conforme a Embrapa (2008), a cultura da soja necessita de 20 kg de K₂O/tonelada de grãos. A formula de MARTHA JUNIOR; VILELA, L.; DE SOUSA (2007), buscar elevar os teores de K⁺ no solo para nível adequado de 70 mg.dm⁻³.

Porém, para glebas com teores iguais ou maiores que 120 mg.dm⁻³, não serão realizadas adubações corretivas e nem de manutenção visto como descrito Rajj (1996, apud Vitti, 2000, pg. 3) que para solos que apresentam 3 mmolc.dm⁻³ equivalente a 117.3 mg.dm⁻³, não ocorre incremento potencial de produção relativa da cultura, visto que com esses valores potencial produtivo está em torno de 100%, portanto mesmo que se realize adubação não ocorrerá incremento produtivo e sim maior o custo com a compra do insumo, consequentemente menor rentabilidade.

Formula para elevação K⁺ para teores críticos de nutriente

$$\text{Dose de } K_2O \left(\frac{kg}{ha} \right) = (\text{Teor de } K \text{ desejado} - \text{Teor de } K \text{ atual}) \times 2,4$$

Fonte: MARTHA JUNIOR; VILELA, L.; DE SOUSA (2007).

Então essa fórmula foi adaptada considerando que algumas glebas do talhão estão acima do teor de nível crítico, portanto não necessitando de fazer adubação corretiva de potássio somente a de reposição. Portanto a fórmula para cálculo de recomendação a seguinte equação para áreas com menores que 120 mg.dm^{-3} de K^+ :

$$\text{Dose de } \text{K}_2\text{O} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{(\text{CORRETIVA} + \text{MANUTENÇÃO})}{\text{EFICIÊNCIA DO FERTILIZANTE}}$$

$$\text{I. CORRETIVA} = (\text{Teor de K desejado}_{\text{mg.dm}^{-3}} - \text{Teor de K atual}_{\text{mg.dm}^{-3}}) \times 2,4$$

Observação: Sendo valor de corretiva negativo, considerar seu igual a zero para continuidade dos cálculos.

$$\text{II. MANUTEÇÃO} = (\text{EXTRAÇÃO DA CULTURA} \times \text{RENDIMENTO ESPERADO})$$

- Extração da Cultura: Kg do nutriente/tonelada de grão
- Rendimento esperado: Toneladas (T)

A dose recomendada de acordo com adubação de corretiva para algumas glebas da área e com expectativa de produtiva da cultura subsequente de acordo variabilidade da área e representada na Figura 10. O fertilizante recomendado foi Cloreto de Potássio (60% K_2O) e eficiência do fertilizante de 80% (MOSAIC, 2019).

Outro nutriente que estava na classe baixa em grande maioria das amostras limitando o potencial produtivo da área é o Enxofre (S). Então como alternativa como para suprir a demanda do elemento foi realizada a recomendação gesso agrícola. O Gesso agrícola atua como condicionador de solo além de conter em sua fórmula Cálcio (17 a 20%) e Enxofre (14 a 17%) $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{CaSO}_4^0 + \text{H}_2\text{O}$ (Ribeiro, 1999).

Segundo Vitti 2008, aproximadamente 50% do gesso agrícola dissocia-se nas formas de Ca^{2+} , SO_4^{2-} , fornecendo esse nutrientes as plantas, enquanto a outra parte CaSO_4^0 é móvel no solo formando pares iônicos com outros nutrientes no solo. Para recomendação de gesso utilizou a fórmula de Souza e Lobato (2004). A Figura 11 mostra o mapa de taxa variável para recomendação de gessagem.

$$\text{Dose de Gesso} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = 50 \times \text{Teor de Argila} (\%)$$

Souza e Lobato (2004)

Figura 10: Mapa de aplicação de Cloreto de Potássio (KCl) em taxa variável de acordo com interpretação da análise de solo.

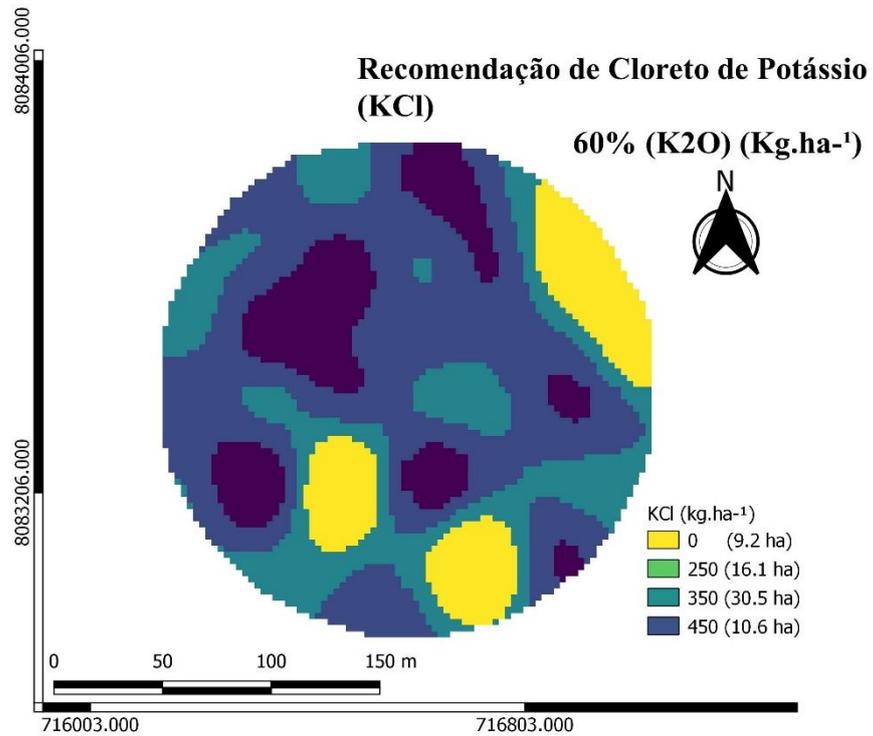
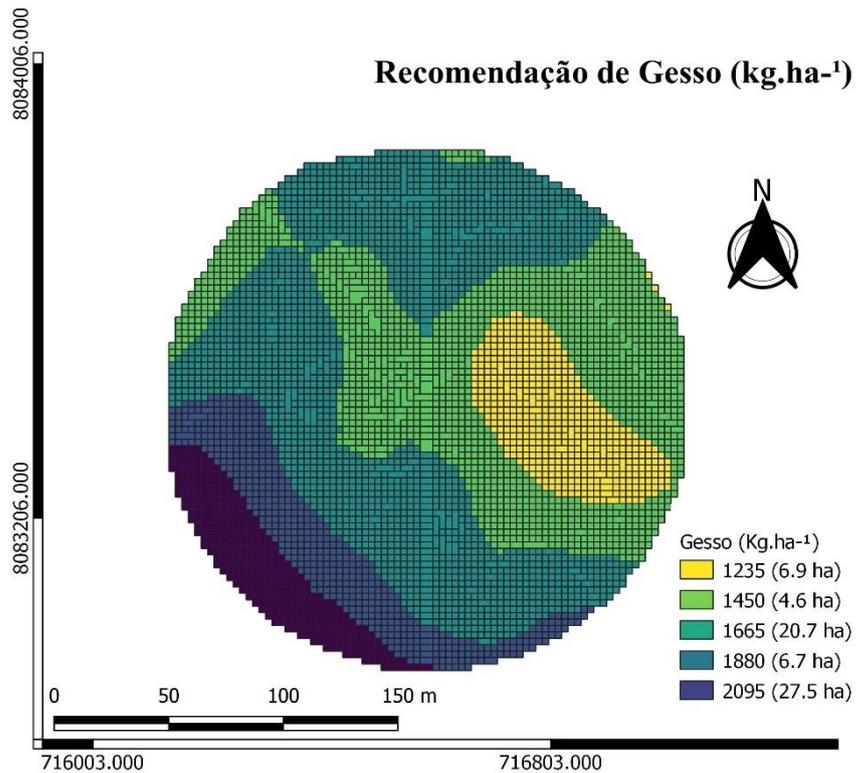


Figura 11: Mapa de aplicação de Gesso em taxa variável de acordo com interpretação da análise de solo.



7. CONCLUSÃO

Diante da amostragem de solo georreferenciada e com uso das ferramentas da estatística e da geoestatística se fez predições confiáveis das estimativas dos atributos do solo em locais não amostrados, sendo o uso dessas ferramentas de grande importância para visualizar o comportamento e confiabilidade dos dados.

Os atributos tiveram alto grau dependência espacial e para modelagem do semivariograma apresentaram um alto coeficiente de determinação, sendo que fósforo e pH tiveram o menor coeficiente de determinação, mostrando que as estimativas do modelo foram próximas aos dados reais. O modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou aos atributos estudados.

Os nutrientes nessa área apresentavam entre classes adequada a alta. Exceto para os nutrientes enxofres e alguns pontos que o potássio estava no nível médio. Revelando fertilidade química do solo construída e alto potencial de produtivo da área. Com isso pode-se realizar as intervenções agronômicas de acordo com variabilidade espacial das áreas e com expectativas produtivas e correção do solo, foram definidas e recomendadas as doses de fertilizantes em taxa variável.

A agricultura de precisão é imprescindível para sustentabilidade do ambiente agrícola buscar fontes de variabilidade de espacial dos atributos químicos do solo garantem recomendações de adubações mais assertivas e precisas. Aliadas com outras ferramentas de tratamento de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDI, AC de C. et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. **Embrapa Instrumentação-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2014.

BOLETIM TÉCNICO 02 LAP. **Amostragem Georreferenciada. Agricultura de Precisão**. André F. Colaço, José Paulo Molin. Universidade Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2015.

BRAMLEY, Rob GV. Lessons from nearly 20 years of Precision Agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and Pasture Science**, v. 60, n. 3, p. 197-217, 2009.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agricultura de precisão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília : Mapa/ACS, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 set. 2012. Seção 1, n. 184. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm <Acesso: 20 out. 2020>

CAMARGO, E.C.G., Geoestatística: Fundamento e Aplicações. In: CAMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**. ed 2. São José dos Camps, INPE, p.36, 1998.

CHERUBIN, Maurício Roberto et al. Amostragem de solo na agricultura de precisão. **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul. CESPOL**, p. 79-98, 2016.

CHITOLINA, J. C. et al. Amostragem de solo para análises de fertilidade, de manejo e contaminação. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica**, p. 25-57, 2009.

CORÁ, J. E. et al. 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, p. 1013-1021, 2004.

DA ROCHA, Alexsandra Bezerra; DE OLIVEIRA, Mariana Monteiro Navarro. POTENCIALIDADE DO APLICATIVO C7 GPS DADOS E DO GNSS NOS ESTUDOS.

DE CAMPOS BERNARDI, Alberto C. et al. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 211-227, 2017.

DE NEGREIROS NETO, João Vidal et al. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-203, 2014.

DE RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, Antonio Eduardo. Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2007.

DE SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado. **Embrapa Cerrados-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2016.

EMBRAPA, SOJA. Tecnologias de produção de soja-Região Central do Brasil 2009 e 2010. Londrina: **Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste**, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306p. 2006.

Flores, R. F.; Da Cunha, P. P. **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no cerrado**. Goiânia, 2016.

GOMES, João Bosco Vasconcellos et al. 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, p. 2471-2482, 2008.

Harold F. Fertilizantes e seu uso eficiente. **Tradução: Alfredo Scheid Lopes**. São Paulo: **ANDA**, 2017.

HORTALIÇAS, **Embrapa**. Cultivo de tomate para industrialização. 2016. <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/index.htm>. Acesso em: 10, jun. de 2020

KRAVCHENKO, A. N.; ROBERTSON, G. P.; SNAP, S. S.; SMUCKER, A. J. M. Using information about spatial variability to improve estimates of total soil carbon. **Agronomy Journal**, v. 98, n. 3, p. 823-829, 2006.

MACHADO, Leonardo de Oliveira et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MACHADO, PLO de A.; BERNARDI, AC de C.; SILVA, Carlos Alberto. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004., 2004.

MARTHA JUNIOR, Geraldo Bueno; VILELA, L.; DE SOUSA, D. M. G. Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens. **Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

MATHERON, G. **Les variables régionalisées et leur estimation**. Paris: Masson et Cie, 305p., 1965.

MOLIN, José Paulo; DO AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015.

Moretti, Celso L. Alimentos para o mundo. **Embrapa** <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/47327924/artigo---alimentos-para-o-mundo>>. Acesso em: 10 de out. 2020 .

MOSAIC, E. Tabela de Extração e Exportação dos nutrientes na Cultura da SOJA. **Nutrição de Safras**, 2019. Disponível em: <<https://www.nutricaoadesafras.com.br/tabela-de-extracao-e-exportacao-dos-nutrientes-na-cultura-do-soja/>>. Acesso em: 20 Outubro 2020.

NEVES NETO, Durval N. et al. Análise espacial de atributos do solo e cobertura vegetal em diferentes condições de pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 995-1004, 2013.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. 2017. Disponível em: <<https://qgis.org/en/site/>>. Acesso em: 16 Nov. 2020.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo**. Instituto Internacional da Potassa, Piracicaba, SP (Brasil), 1983.

RIBEIRO JUNIOR, Paulo Justiniano. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, Antonio Carlos. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.

ROBERTSON, G.P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide. Plainwell, Gamma Design Software, 2008. 152p.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: Correction of soil and fertilization. **Portuguese.) Embrapa, Planaltina, Brazil**, 2004.

SOUZA, Zigomar Menezes de; MARQUES JÚNIOR, José; PEREIRA, Gener Tadeu. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 5, p. 491-499, 2004.

TEIXEIRA, Jodenir Calixto. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, p. 21-42, 2005.

VIEIRA, Sidney R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. **GIS Brasil**, v. 98, 2000.

VITTI, Godofredo César; PRIORI, Júlio César. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Revista Visão Agrícola**, n. 9, p. 30-34, 2009.

WARRICK, A. W. Spatial variability of soil physical properties in the field. **Application of soil physics.**, p. 319-344, 1980.