

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Bianca Rodrigues Camargo

**ANÁLISE DA VARIABILIDADE VERTICAL DO SOLO COM TÉCNICAS  
DE AGRICULTURA DE PRECISÃO**

Santa Maria, RS  
2023

**Bianca Rodrigues Camargo**

**Análise da Variabilidade Vertical do solo com técnicas de Agricultura de Precisão**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em **Agricultura de Precisão**.

Orientadora: Profa. Dra. Claire Delfini Viana Cardoso

Santa Maria, RS  
2023

**Bianca Rodrigues Camargo**

**Análise da Variabilidade Vertical do solo com técnicas de Agricultura de Precisão**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em **Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 14 de julho de 2023:

---

Claire Delfini Viana Cardoso, Dra (UFSM)  
**(Presidente/Orientadora)**

---

Mario Sergio Wolski, Dr. (UFFS)

---

José Alan de Almeida Acosta, Dr. (Drakkar Agrotecnologias)

Santa Maria, RS  
2023

Camargo, Bianca  
ANÁLISE DA VARIABILIDADE VERTICAL DO SOLO COM TÉCNICAS  
DE AGRICULTURA DE PRECISÃO / Bianca Camargo.- 2023.  
64 p.; 30 cm

Orientadora: Claire Delfini Viana Cardoso  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2023

1. Variabilidade Vertical 2. Agricultura de Precisão  
3. Fertilidade I. Delfini Viana Cardoso, Claire II.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, BIANCA CAMARGO, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

## DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho, a Deus, a minha família, em especial meus pais, Regina e Marcos; aos meus colegas e amigos e a todos as pessoas que contribuíram para minha formação acadêmica e para a elaboração deste trabalho.*

O período de maior ganho em conhecimento e experiência é o período mais difícil da vida de alguém.

*Dalai Lama*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, por este trabalho, por ser essencial e guia.

À minha família pelo amor, apoio, confiança e motivação incondicional. Sem vocês nenhuma conquista valeria a pena.

Ao meu namorado Guilherme, por todo apoio, incentivo e companheirismo nessa jornada.

Aos meus colegas e amigos.

À minha orientadora, Professora Claire Cardoso, que me concedeu a sua confiança para orientação. Agradeço pelos seus ensinamentos, por ser um exemplo de profissional e pela amizade.

À empresa Drakkar, pela disponibilidade dos dados para a pesquisa e apoio em todo o processo.

A UFSM pela oportunidade de realização deste trabalho.

Agradeço também a Banca, pela colaboração e disponibilidade em participar desta defesa, na certeza de que vão acrescentar muito conhecimento em meu trabalho.

Agradeço a todos que me ajudaram de alguma forma para realização deste trabalho.

## RESUMO

### **Análise da Variabilidade Vertical do solo com técnicas de Agricultura de Precisão**

AUTOR: Bianca Rodrigues Camargo  
ORIENTADORA: Claire Delfini Viana Cardoso

Sendo a agricultura de precisão como uma alocação precisa de recursos, insumos e tarefas dentro da lavoura, em que o uso de ferramentas digitais pode potencializar os benefícios desse sistema. Nesse sentido, a presente pesquisa analisou, a variabilidade vertical de algumas características químicas do solo, analisando e avaliando seu comportamento sob diferentes profundidades de amostragem. Como objetivo geral do estudo, destacou-se a quantificação e a medição da variabilidade vertical dos elementos Fósforo (P) e Potássio (K), em camadas subsuperficiais de diferentes tipos de manejos, localizados em dois estados brasileiros, sendo Mato Grosso e Bahia, através de exemplos de campo. A partir dos percursos metodológicos realizados ao longo da pesquisa, ressaltam-se as características de um banco de análises de amostras georreferenciadas de Agricultura de Precisão, analisando suas particularidades, apresentando os resultados analíticos e descritivos de 4 propriedades adotantes de Agricultura de Precisão. Assim, os resultados dos elementos (P) e (K) apresentaram gradiente vertical considerada importante no perfil do solo. Conclui-se, então, que a avaliação dos perfis de fertilidade refletiu os desbalanços que estão ocorrendo em áreas de cultivo de grãos sob plantio direto, sendo apresentadas estratégias simples para que auxiliem as áreas e as variabilidades dos elementos encontradas.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão. Lavoura. Variabilidade Vertical.

## **ABSTRACT**

### **Analysis of Vertical Soil Variability with Precision Agriculture techniques**

AUTHOR: Bianca Rodrigues Camargo

ADVISOR: Claire Delfini Viana Cardoso

Precision agriculture is a precise allocation of resources, inputs and tasks within the crop, in which the use of digital tools can enhance the benefits of this system. In this sense, the present research analyzed the vertical variability of some chemical characteristics of the soil, analyzing and evaluating their behavior under different sampling depths. The general objective of the study was to quantify and measure the vertical variability of the elements Phosphorus (P) and Potassium (K), in subsurface layers of different types of management, located in two Brazilian states, Mato Grosso and Bahia, through field examples. Based on the methodological paths carried out throughout the research, the characteristics of an analysis bank of georeferenced Precision Agriculture samples are highlighted, analyzing their particularities, presenting the analytical and descriptive results of 4 properties adopting Precision Agriculture. Thus, the results for elements (P) and (K) showed a vertical gradient considered important in the soil profile. It is concluded, then, that the evaluation of fertility profiles reflected the imbalances that are occurring in areas of grain cultivation under direct planting, with simple strategies being presented to help the areas and the variability of the elements found.

**Keywords:** Precision Agriculture. Tillage. Vertical Variability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamentos mais comuns utilizados na coleta de amostras de solo.....	31
Figura 2 – Localização da área de estudo, com detalhes de pontos amostrais para amostragem de solo, A) Área correspondente a fazenda Santa Rosa e B) Fazenda Ouro em Pó, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil.....	36
Figura 3 – Localização da área de estudo, com detalhes de pontos amostrais para amostragem de solo, A) Área corresponde Fazenda Barão e B) Fazenda Testa Branca, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil.....	36
Figura 4 – Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 1 – Fazenda Santa Rosa, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	42
Figura 5 – Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 1 – Fazenda Santa Rosa, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	43
Figura 6 – Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo.....	44
Figura 7 – Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo.....	45
Figura 8 – Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 2 – Fazenda Ouro em pó, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	46
Figura 9 – Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 2 – Fazenda Ouro em Pó, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	47
Figura 10 – Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo.....	48
Figura 11 – Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo.....	49
Figura 12 – Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 3 – Fazenda Testa Branca, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	51
Figura 13 – Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 3 – Fazenda Testa Branca, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	52
Figura 14 – Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo.....	53

Figura 15 – Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo.....	54
Figura 16 – Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 4 – Fazenda Barão, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	55
Figura 17 – Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 4 – Fazenda Barão, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)) .....	56
Figura 18 – Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo.....	57
Figura 19 – Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo.....	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resultados quantitativos da análise do banco de dados.....	33
---	----

## LISTA DE SIGLAS

ADP	Difosfato de Adenosina
AP	Agricultura de Precisão
ATP	Adenosina Trifosfato
C	Carbono
Ca	Cálcio
CBAP	Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão do Ministério da Agricultura
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
Cm	Centímetros
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
Conbap	Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão
Cu	Cobre
Dag/kg	Decagrama
Dg/kg	Decigrama
Dm <sup>3</sup>	Decímetro Cúbico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
EUA	Estados Unidos da América
Fe	Ferro
GPS	Sistema de posicionamento global
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite
Ha	Hectares
K	Potássio
L	Litro
M <sup>2</sup>	Metro quadrado
Mg	Magnésio
Mg/dm	Miligrama
Mn	Mangânes
N	Nitrogênio
P	Fósforo
Pág	Página
Ph	Potencial Hidrogeniônico

PIB	Produto Interno Bruto
S	Enxofre
Siape	Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão
S	Enxofre
SPD	Sistema de Plantio Direto
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USP	Universidade de São Paulo
Zn	Zinco

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Total amostras de solo coletadas anualmente Camada Subsuperficial....	34
Gráfico 2 – Análise regional de amostras realizadas na camada (10 a 20 cm) .....	34
Gráfico 3 – Análise regional de amostras realizadas na camada (20 a 40 cm) .....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades.....	44
Tabela 2 – Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.....	45
Tabela 3 – Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades...	46
Tabela 4 – Resultado do teste de hipótese - Potássio em diferentes profundidades...	46
Tabela 5 – Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades.....	48
Tabela 6 – Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.....	49
Tabela 7 – Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades...	50
Tabela 8 – Resultado do teste de hipótese – Potássio em diferentes profundidades...	50
Tabela 9 – Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades.....	53
Tabela 10 – Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.....	54
Tabela 11 – Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades...	55
Tabela 12 – Resultado do teste de hipótese - Potássio em diferentes profundidades.	55
Tabela 13 – Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades.....	57
Tabela 14 – Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.....	58
Tabela 15 – Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades.	59
Tabela 16 – Resultado do teste de hipótese - Potássio em diferentes profundidades.	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1 OBJETIVOS.....	19
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	19
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	19
<b>1.1.3 Justificativa</b> .....	20
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	21
2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO .....	21
<b>2.1.1 O Histórico da Agricultura de Precisão</b> .....	22
2.2 O FOCO NO MANEJO DA FERTILIDADE SOLO .....	23
<b>2.2.1 Manejo da Fertilidade do Solo</b> .....	24
2.2.1.1 Fósforo (P).....	25
2.2.1.2 Potássio (K).....	26
<b>2.2.2 Variabilidade Espacial</b> .....	26
<b>2.2.3 Variabilidade vertical</b> .....	27
2.3 AMOSTRAGENS .....	27
<b>2.3.1 Análise e Amostragem de solo</b> .....	28
<b>2.3.2 Objetivos da amostragem</b> .....	29
<b>2.3.3 A amostragem</b> .....	29
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	32
3.1 TIPO DE PESQUISA .....	32
3.2 ANÁLISE DO BANCO DE DADOS.....	33
3.3 INTRODUÇÃO ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	37
3.4 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE DE HIPÓTESES.....	40
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
4.1 VARIABILIDADE ESPACIAL E VERTICAL DA ÁREA EM ESTUDO .....	41
4.2 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA SANTA ROSA .....	41
4.3 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA OURO EM PÓ .....	46
4.4 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA TESTA BRANCA .....	50
4.5 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA BARÃO.....	55
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	60
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

A Agricultura de Precisão está associada ao gerenciamento dos fatores que influenciam a produtividade das lavouras e seu principal produto de tomada de decisão são mapas que ilustram a magnitude da variável de interesse (Taylor et al., 2003). É preciso que as amostras representem a área que será tratada para que se possa corrigir e adubar o solo de maneira adequada. Isso é fundamental para obter-se um aumento de produtividade e um melhor aproveitamento dos insumos utilizados.

O uso de dados e informações tornam o processo decisivo mais preciso e assertivo, considerando que as lavouras não são espacialmente uniformes, o que oferece oportunidades para se lidar com essa variabilidade em busca de otimização de cada pequeno espaço. Nesse sentido, a Agricultura de Precisão (AP) se propõe a aumentar a eficiência e a rentabilidade da atividade agropecuária, com base no manejo localizado respeitando a variabilidade de solo, planta e microclima existente na área (AMADO & SANTI, 2007).

O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, que havia atingido um patamar recorde em 2021, registrou queda de 4,22% em 2022, de acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), da ESALQ/USP, em parceria com a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). É neste cenário que a utilização de ferramentas digitais para a gestão, controle e insights se faz ainda mais necessária. Uma das maiores limitações à produção agrícola na região central do Brasil, em especial no Cerrado, é o baixo teor de nutrientes do material de origem e a baixa eficiência de absorção e utilização desses nutrientes apresentada pela maioria das variedades modernas cultivadas comercialmente (Novais & Smyth, 1999). Não apenas os teores de nutrientes, mas também a distribuição vertical dos nutrientes no perfil afeta o aproveitamento destes pelas plantas e está relacionado ao método de aplicação dos fertilizantes ao solo.

A utilização de ferramentas de Agricultura de Precisão (AP) permite uma valorização da variabilidade espacial dos atributos do solo e a possibilidade de manejá-la, visando aumentar a eficiência técnica e econômica do uso de insumos (Santi et al., 2009). Um dos princípios da AP é a aplicação de insumos em taxa variada, de acordo com a variabilidade espacial e temporal dos atributos químicos do solo e das culturas (Corá et al., 2004). Portanto, a AP é um instrumento de gerenciamento agrícola que parte do registro georreferenciado de informações de solo

e de culturas, completando se com intervenções de manejo localizado (Amado & Santi, 2007). O solo é um meio formado por componentes químicos, físicos e biológicos, sob influência das condições climáticas e das práticas de manejo adotadas pelo homem, sofre constantes e profundas transformações. Estas transformações nos permitem entender um pouco da evolução dos níveis de fertilidade, bem como, explicar os índices de produtividade obtidos nos últimos anos.

Contudo, o interesse em avaliar a qualidade do solo tem aumentado por considerá-lo aspecto fundamental na manutenção e na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Considera-se que a fertilidade do solo seja um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das áreas destinadas para a produção de grãos. Isto pode ocorrer em função das adubações utilizadas não suprirem as quantidades exportadas de nutrientes (VARASCHINI, 2012).

Nesse contexto, o estudo teve como objetivo avaliar a variabilidade vertical, das propriedades em estudos através das coletas de solo em grid amostral em áreas de plantio direto. Avaliando também a influência da variabilidade vertical quanto a tomada de decisão através da Agricultura de Precisão.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Quantificar e medir a variabilidade vertical dos elementos Fósforo (P) e Potássio (K) em camadas subsuperficiais em diferentes regiões brasileiras através de exemplos de campo.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar estudo das particularidades do banco de dados que contém o resultado analítico de 4 propriedades adotantes de Agricultura de Precisão, distribuídos em dois estados.
- b) Medir e comparar a variabilidade das diferentes camadas de amostragens identificando diferenciações suficientemente significativas para mudança de tomada de decisão quanto a manejo de adubação.

### 1.1.3 Justificativa

A agricultura de precisão é uma abordagem que utiliza tecnologia avançada para obter dados detalhados sobre o solo, clima e cultivos, permitindo aos agricultores terem decisões mais assertivas no processo de decisão. Um solo fértil é um solo com grande capacidade de fornecer nutrientes para a planta.

Portanto, é necessária a aplicação de corretivos e fertilizantes, tomando o cuidado para que sejam aplicados na dosagem correta. Para alcançar o máximo de fertilidade é preciso conhecer o solo da propriedade, bem como suas peculiaridades e características. Assim, o manejo pode ser muito bem-feito e os resultados na lavoura serão satisfatórios. Logo, podemos dizer que melhorando a fertilidade do solo consegue-se aumentar a produtividade.

O perfil do solo é um dos fatores determinantes para se obter uma alta produtividade na lavoura. Afinal, o desenvolvimento inadequado das plantas está diretamente relacionado à qualidade do solo e sua capacidade de fornecer nutrientes, absorver água, entre outros pontos. Diante disso, a construção do perfil do solo com condições favoráveis, que possibilitem um enraizamento profundo, é fundamental para que as plantas desempenhem o máximo do seu potencial produtivo. Nesse contexto, torna-se necessário entender sobre perfil do solo, nesse sentido buscou-se avaliar qual a influência exercida pela variabilidade vertical dos elementos Fósforo (P) e Potássio (K), no processo de tomada de decisão em propriedades adotantes de técnicas de AP.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Conforme a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão do Ministério da Agricultura (CBAP, 2017), a “agricultura de precisão (AP) é um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, a sustentabilidade e a minimização do efeito ao ambiente”.

Neste contexto, a agricultura de Precisão pode ser vista como um conjunto de instrumentos e tecnologias que possibilitam ao produtor rural gerenciar sua propriedade de modo mais localizado e sustentável, utilizando sistemas produtivos que propiciam melhores condições a lavoura, como na aplicação de defensivos, monitoramento de pragas e doenças, análise da fertilidade do solo entre outros fatores que atuam na elevação da produtividade e no cuidado ao meio ambiente, (EMBRAPA, 2014).

Bernardi et al. (2015), salienta que com a crescente evolução do mundo, novas tecnologias surgiram, deixando a agricultura mais moderna, especialmente pelo fato do crescimento da população mundial que está propensa a alcançar 9 bilhões de habitantes no ano de 2050, o que irá demandar de uma grande quantidade de alimentos, onde sistemas que maximizem a produção agrícola, vem se tornando cada vez mais crucial. Com base nisso, a agricultura de precisão surgiu com o intuito de otimizar os aspectos ligados ao meio agrícola de modo que gere mais produtividade, mas sem que precise ocasionar danos ambientais, mas ao contrário que viabilize melhorias ao meio ambiente.

Para Amado & Santi (2007), agricultura de precisão (AP) se configura como uma importante ferramenta de uso sustentável que objetiva acima de tudo a proteger e cuidar do meio ambiente, pois através dos recursos de gerenciamento e de tomada de decisões o produtor tem a oportunidade de verificar quais os melhores manejos para o solo que vise a otimização de suas estruturas e oportunize maiores produtividade as culturas.

Portanto, AP se torna uma excelente opção para as pequenas, médias e grandes propriedades, pois utiliza uma diversidade de ferramentas tecnológicas que

ajudam na alocação precisa dos recursos, insumos e tarefas dentro da lavoura de forma mais precisa, eficiente e consciente.

### **2.1.1 O Histórico da Agricultura de Precisão**

Com base em estudos de Vidal et al. (2016), a agricultura de precisão (AP) surgiu com força em meados da década de 90, juntamente com as tecnologias de monitoramento por satélite como GPS e GNSS, com o intuito de mapear áreas das lavouras com uma maior precisão. Assim, essas ferramentas de geolocalização, possibilitaram elevar a eficiência no meio agrícola.

Segundo Molin et al. (2015, p.04), o termo agricultura de precisão:

Tem um pouco mais de 25 anos, mas os fatos e as constatações que levaram ao seu surgimento são de longa data. Desde que a agricultura existe, sempre houve motivos para se diferenciar os tratamentos culturais nos pastos, pomares e lavouras em razão de alguma diferença interna das áreas. Com a expansão territorial da agricultura promovida pelo auxílio da mecanização, que permitiu que áreas cada vez maiores fossem cultivadas, esse detalhamento foi sendo relegado e grandes áreas, que passaram a ser geridas como se fossem homogêneas. Diante da necessidade de dar um novo foco para a agricultura, surgiu a atual agricultura de precisão.

Diante disso, o que se observa é que a agricultura de precisão é baseada em outros períodos da história, que conforme Molin et al. (2015), sua primeira base começou nos Estados Unidos da América (EUA) no ano de 1929, onde pesquisadores da Universidade de Illinois investigavam a variabilidade da aplicação de calcário em diferentes doses, em alguns terrenos agrícolas. A partir dessa pesquisa, os pesquisadores publicaram estudos, relatando a importância de mapear as áreas agrícolas com marcações de pontos no solo, para saber ao certo os lugares que receberam as doses de calcário.

Tempos depois nos anos 80 surgem na Europa os mapas de produtividade e com eles nascem a aplicação de adubos a taxa variável nos EUA. Esses eventos tornaram-se realidade por causa da propagação da eletrônica através da criação de sensores e microcomputadores que começaram a ser introduzidos nos maquinários agrícolas, tornando-os programáveis e mais eficazes, (MOLIN, et al., 2015).

Apesar da agricultura de precisão ter alguns vestígios de muitos anos atrás, seu sucesso é destacado nos anos 90, como é evidenciado por Vidal et al. (2016).

Período este que ocorreu muitas pesquisas e estudos ligados a área, no qual começaram surgir, especialmente em relação a disponibilidade do sinal de satélite por meio do sistema global de navegação desenvolvido (Global Positioning System - GPS) que, por mais que tenha sido colocado em prática nos anos 70, foi um grande recurso para AP possibilitando localizar áreas na superfície terrestre, (BERNARDI; INAMASU, 2014).

Na região sul do Brasil, a agricultura de precisão ganhou mais visibilidade com o surgimento do Projeto Aquarius, no ano 2000, iniciativa promovida pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), com parceria de empresas privadas, que atualmente encontra-se em desenvolvimento de novas pesquisas na área. O objetivo inicial do Projeto Aquarius, foi oportunizar informações e estudos referente a agricultura de precisão através de investigações, e produção de artigos, teses, dissertações entre outros estudos, (AMADO, 2016).

Após os anos 2000, surgiu o 1 Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (Conbap), em 2004, com o intuito de levar maiores informações sobre a AP. Atualmente o evento é realizado a cada dois anos sendo denominado como Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão (Siape), em que acontece o encontro de diversas instituições públicas e privadas que atuam em pesquisas sobre a AP, (EMBRAPA, 2014).

Assim, a agricultura de precisão surgiu para maximizar os resultados agrícolas possibilitando novas economias e corrigindo fatores que contribuem para melhorar a variabilidade e oportunizar o uso racional de insumos, aprimorando a preservação dos recursos naturais e métodos que visam a proteção do meio ambiente.

## 2.2 O FOCO NO MANEJO DA FERTILIDADE SOLO

A necessidade de conservação do solo já é conhecida há séculos, tendo iniciado ainda na Antiguidade, em razão do mesmo ser uma peça chave para o desenvolvimento das sociedades, pois um solo saudável possibilita o desenvolvimento da vida, através dos alimentos cultivados e dos microrganismos que se abrigam em seu interior. Por esses motivos, desde muito tempo as pessoas já usavam métodos de conservação do solo, onde as rotações que alternavam cereais e espécies forrageiras eram muito apreciadas pelas antigas populações, (SANTOS et al., 2014). Logo, com o passar do tempo muitas técnicas que visam a proteção do

solo, em especial contra os processos erosivos e a lixiviação de nutrientes, foram sendo aprimoradas e cada vez mais usadas no meio agrícola.

### **2.2.1 Manejo da Fertilidade do Solo**

A fronteira agrícola que se estende até o Cerrado no Nordeste do Brasil, é caracterizada por possuir solos com baixa fertilidade natural, particularidade essa que acaba afetando os sistemas de produção, (Resende et al., 2014; CARNEIRO et al., 2016), por possuírem alto teor de acidez e baixos índices de cátions básicos, essas características influenciam no declínio da disponibilidade de fósforo e reserva deficiente de potássio (Silva, 2013; Bottega et al., 2013), o que acaba não ajudando no desempenho da produção agrícola.

Segundo Ribeiro, J. M. Frazão, L. A. Cardoso, P. H. S. Oliveira, A. L. G.; Sampaio, R. A. Fernandes, L. A (2023, p.2):

As mudanças no conteúdo de Carbono no solo resultam também em alterações nos conteúdos de Nitrogênio. Esses dois elementos são fonte de energia para a biomassa microbiana, que participa no armazenamento e ciclagem de nutrientes e na melhoria das propriedades físicas e químicas dos solos. A baixa disponibilidade de N no solo, associada à grande demanda pelas plantas, pode limitar o crescimento e desenvolvimento das espécies nativas e cultivadas. Sendo assim, a entrada de C e N pela adição de matéria orgânica é essencial para a manutenção da biomassa microbiana do solo, uma vez que os micro-organismos são os principais responsáveis pela ciclagem desses elementos no solo.

Assim, as propriedades químicas, físicas e biológicas de fertilidade dos solos apresentam grandes variações espaciais e temporais, afetando diretamente o potencial produtivo dos ambientes agrícolas. Isso porque, o uso de sistemas que visam a adubação do solo é um dos principais determinantes da produtividade das culturas, pois é capaz de repor os nutrientes essenciais para o seu equilíbrio. Assim, para disponibilizar esses nutrientes de modo efetivo é fundamental que sejam feitas análises de solo, procedimento fundamental da agricultura moderna, que orienta nas melhores decisões de manejos agrícolas, sobretudo de modo sustentável, (RESENDE E COELHO, 2017).

Diante disso, a agricultura de precisão (AP) se configura como uma excelente forma de elencar informações mais detalhadas em relação às condições do solo para apoiar nas melhores decisões de manejo. Dentre as diferentes formas de utilizar a AP, a amostragem georreferenciada de solo se torna um grande recurso para mapear as

mudanças nas características da área, com o intuito de aprimorar a utilização de corretivos e fertilizantes agrícolas, através da aplicação a taxas variáveis de acordo com as necessidades de cada local da propriedade, (RESENDE E COELHO, 2017). Assim, o uso de técnicas que visam o melhoramento dos atributos do solo, pode ser visto como uma ótima estratégia para tornar os solos mais férteis, e com ajudar na conservação da sua saúde que como consequência melhorar a produção agrícola.

#### 2.2.1.1 Fósforo (P)

O elemento fósforo (P), é de grande significância para a boa atuação em diversas funções vitais para o desenvolvimento das plantas, onde a sua quantidade nos tecidos vegetais é de aproximadamente 0,10 a 1,0 dg/kg de matéria seca, o que é considerado baixo, já que as concentrações consideradas ideais ficam em torno de 0,12 a 0,30. dia/kg, (MENDES, 2007).

Segundo Rheinheimer et al. (2020), o fósforo (P) é um importante nutriente que apresenta quantidades naturais muito reduzidas nos solos brasileiros, o que acaba limitando a produtividade de diversas culturas devido aos seus efeitos na fotossíntese e no crescimento. Por isso, adotar estratégias de manutenção dos teores de fósforo no solo, se torna crucial para otimizar a produção agrícola.

Mendes (2007), destaca que além da formação de ATP e ADP, o P também desempenha outras funcionalidades importantes, como participar de reações de esterificação com açúcares e outros componentes que estão relacionados nos processos de fotossíntese e respiração celular.

Diante disso, o P pode interagir com N, S e micronutrientes como Cu, Fe, Mn e Zn. A deficiência de fosfato ocasiona graves problemas relacionados ao metabolismo e desenvolvimento das plantas, resultando na redução do perfilhamento das gramíneas e na minimização no número de frutos e sementes, (MENDES, 2007).

A carência de P conforme Mendes (2007), em folhas mais velhas, se evidencia mediante o modo de clorose, ou diminuindo o brilho da folha para uma coloração verde azulado. Já as quantidades maiores de P acabam atuando na diminuição da absorção de micronutrientes como Fe e Zn, que atuam na fotossíntese, respiração celular e constituição de enzimas e integridade da parede celular das plantas, entre outros fatores.

### 2.2.1.2 Potássio (K)

Segundo Bernardi et al. (2012) as quantidades de potássio (K), nos solos brasileiros é relativamente baixa, por isso o recomendado para adubação desse elemento, é fundamentada especialmente em solos de conteúdo K trocável. Já nos tecidos vegetais a quantidade de K normalmente apresenta bastante variabilidade em razão da espécie e do manejo cultural empregado. As concentrações mais comuns nos tecidos das plantas giram em torno de 1,0 a 3,5 dag/kg. Sua atuação tem pouca ligação com os papéis desempenhados pelos N, P e S, (MENDES, 2007).

A principal atuação de K está relacionada com a ativação enzimática, em que participa nos processos do metabolismo protéico, na fotossíntese, no transporte de assimilados e no potencial hídrico celular. O elemento K também tem um grande papel como principal componente osmótico das células guardas, onde o deslocamento de K para dentro e fora das células atua na regulação, abertura e fechamento dos estômatos. Em conjunto com Ca e Mg atuam na manutenção da estabilidade iônica juntamente com os ânions, (MENDES, 2007).

Medes (2007), salienta que as concentrações de K ativam diversas enzimas nas plantas. No entanto, a sua carência provoca muitas modificações metabólicas. Já a sua deficiência ocasiona a minimização da dominância apical, internódios mais curtos e clorose acompanhada de necrose nas margens e pontas das folhas mais velhas.

### 2.2.2 Variabilidade Espacial

Segundo Alves (2014), a variabilidade espacial é um elemento essencial da agricultura de precisão, pois está diretamente ligada às práticas agrícolas que consideram a variação dos fatores que afetam o rendimento das culturas.

Alves (2014), elenca que as diversas culturas de plantas respondem de modo diferente à variabilidade do campo, especialmente em relação ao uso dos atributos do solo, pois cada uma tem suas demandas de nutrientes, uso de água para o seu desenvolvimento.

A investigação da distribuição espacial das variáveis relacionadas na produção permite entender as diferenças entre as áreas e a geração de mapas de uso diferenciado de insumos agrícolas, no qual é considerado a quantidade de nutrientes

necessários para o desenvolvimento ideal da planta, além de compreender a proporção disponibilizada em diferentes locais do talhão o que ajuda no uso mais eficiente dos recursos, (ALVES, 2014).

Diante disso, o entendimento da distribuição espacial dos recursos presentes no solo pode auxiliar de maneira mais eficiente na evolução do vegetal, na disponibilidade de água, nutrientes e oxigênio. Isso porque os atributos do solo variam sua disponibilidade espacialmente dentro de um mesmo espaço de talhão em razão dos fatores intrínsecos, como os relacionados com a constituição do solo, e extrínsecos, que estão relacionadas com o manejo usado, a adubação e os sistemas de rotação de culturas, entre outros exemplos, (CAMBARDELLA; KARLEN, 1999).

Logo, variabilidade espacial, se configura como um importante recurso para entender as mudanças nas propriedades do solo, onde a sua monitoração permite compreender os efeitos do uso do solo e quais os melhores sistemas de gestão para ser empregado.

### **2.2.3 Variabilidade vertical**

Segundo Raj (1991), o solo por ser um corpo heterogêneo apresenta diversidade na sua superfície está que é conhecida como variabilidade horizontal e nas suas profundidades se denominada de variabilidade vertical. Por essa razão no momento da coleta das amostras é importante ter alguns cuidados para se conseguir indicadores mais representativos.

De acordo com a Embrapa (2013), analisar os atributos do solo nas suas profundidades proporciona uma análise mais eficiente e se configura como muito importante, tanto em aspectos agronômicos quanto ambientais, isso porque verificar as camadas mais profundas do solo, oportuniza a capacidade de entender como está se sucedendo o armazenamento de água, a reserva de nutrientes, o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, além de poder entender os riscos de erosão e os fatores relacionados.

## **2.3 AMOSTRAGENS**

A amostragem é uma técnica que tenciona caracterizar um todo a partir da avaliação de apenas uma pequena porção representativa do mesmo. Nas atividades

agrícolas, esse é um processo essencial para entender como está se configurando os parâmetros da lavoura. Santi et al. (2012), elenca em seus estudos que os principais fatores que estão relacionados com variabilidade são: O tipo de solo, a topografia, a cultura antecessora e as práticas de manejo do solo, além desses a orientação da linha da cultura, o método de aplicação de nutrientes, o cultivo e a compactação, também são exemplos que podem ser estudados como as causas de variabilidade.

Entre os diversos recursos utilizados na AP, a amostragem de solo é uma importante ferramenta para entender a fertilidade do solo, prescrever doses variadas de fertilizantes e suplementos para otimizar seus atributos. Diante disso, o conhecimento em relação às diferentes características do solo constitui um importante meio para empregar o manejo mais específico, considerando a necessidade de aplicação de fertilizantes e estratégias de amostragem (BHATTI et al., 1991).

Santi et al. (2012), elenca que o emprego de dispositivos de agricultura de precisão (AP) possibilita um maior entendimento da variabilidade espacial dos atributos do solo, pois através das amostragens georreferenciadas é possível criar mapas de fertilidade, onde a partir disso, é possível definir intervenções de manejos específicos o que gera mais praticidade, otimização da área e economia.

### **2.3.1 Análise e Amostragem de solo**

Amostragem de solo é um importante recurso que oferece subsídios para entender o grau de deficiência de nutrientes e determinar as quantidades de insumos para serem aplicados nas adubações, onde ela requer cuidados que vão desde o número de subamostras, profundidade da amostragem, modo da amostragem e tamanho do grid amostral, (ANCHIETA, 2012).

Embrapa (2013), salienta que as amostragens tem a finalidade de estimar os parâmetros da população do solo, que se refere a um conjunto de elementos que tem característica em comum, podendo ser homogêneas, quando são constituídas de elementos ou unidades idênticas, ou heterogênea, quando é constituída de elementos que diferem entre si.

Assim, a amostragem auxilia a entender as populações do solo que estão presentes em uma área, oportunizando conhecimento sobre suas características, a identificação de suas potencialidades e deficiências e mediante isso o produtor pode escolher a melhor tomada de decisão frente a diferentes estratégias de manejo.

### **2.3.2 Objetivos da amostragem**

Conforme Mendes (2007), os métodos de amostragem de solos devem ser adaptados conforme a demanda das investigações nos domínios da gênese, na classificação, na parte química, na fertilidade, na microbiologia, levando-se sempre em conta os objetivos que as análises devem atender. Como por exemplo, se essa amostragem de solo visa a assistência a agricultores, ou para alguma pesquisa.

Desse modo, ao estudar a gênese e categorização dos solos, os pedons são caracterizados como: morfológicamente, mineralógica, física e quimicamente, onde seleciona-se um perfil representativo, do qual recolhem-se amostras em cada um dos seus horizontes ou camadas, para assim poder entender como anda a sua fertilidade com mais precisão, (MENDES, 2007).

Quando a pesquisa da análise de solo acontece na parte química e na fertilidade, normalmente o intuito é entender as relações entre as características edáficas e como os nutrientes estão distribuídos, pois caso preciso os níveis inadequados são corrigidos pela adubação, (MOREIRA, 2012).

Assim, o objetivo da amostragem de solo, de acordo com Moreira (2012), é oportunizar informações seguras sobre a existência, concentração e distribuição dos atributos do local investigado, com o intuito de obter conhecimento sobre as substâncias, conforme o propósito da investigação.

Logo, uma boa amostragem e análise de solo viabiliza o entendimento correto sobre os nutrientes e características químicas que acabam atuando na limitação do desenvolvimento das plantas, que como consequência é possível fazer ajustes com uma fertilização eficiente e racional, para elevar a produtividade da lavoura, além de poder identificar solos contaminados.

### **2.3.3 A amostragem**

Conforme Sirtoli et al. (2006), o processo de análise do solo evidencia os parâmetros da sua fertilidade, por isso para se ter mais conhecimentos e melhores instrumentos para auxiliar na tomada de decisões é preciso levar em conta o histórico do uso do solo, analisar o tecido vegetal das plantas, o clima, a cultura a ser introduzida para entender suas demandas nutricionais, os meios tecnológicos que a propriedade usa além de fatores socioculturais do produtor rural.

Assim, para que os resultados da análise do solo sejam confiáveis, a amostragem deve ser realizada de modo correto, pois por mais que seja uma etapa simples, ela é de grande significância para entender as características de uma determinada área da propriedade, servindo de base para possíveis tomadas de decisões, (SIRTOLI et al., 2006).

Coelho (2010), complementa relatando que a análise do solo, é um processo que possibilita muitos benefícios, isso porque é através dela que se pode entender de fato a disponibilidade de nutrientes no solo e mediante isso fazer recomendações sobre adubação para as culturas que virão na sequência. Além disso, na análise, é possível verificar o pH do e o teor de alumínio e caso seja necessário fazer a correção da acidez e identificar fatores de infertilidade.

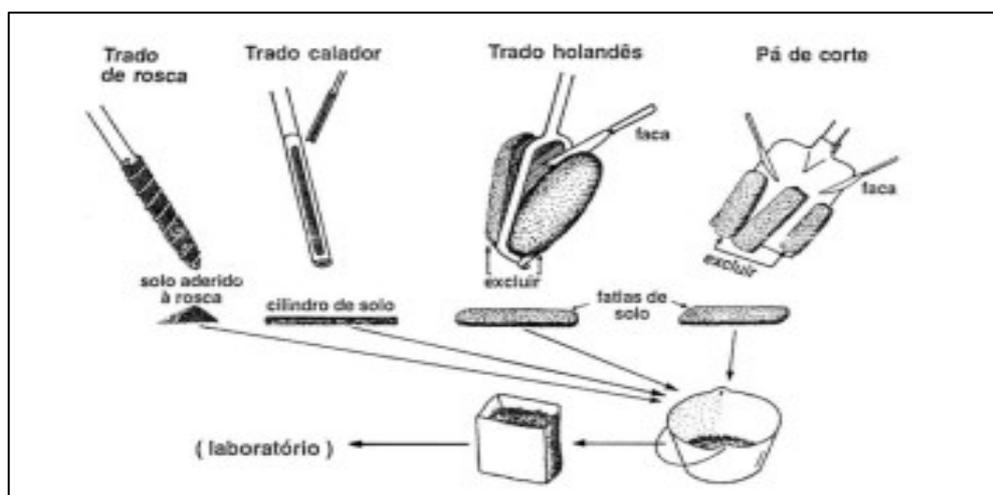
Em relação ao tamanho da amostragem de solo, Mendes (2007), relata que não tem nenhuma indicação de tamanho por m<sup>2</sup> ou ha, pois o que se aconselha é que as amostras muito grandes sejam divididas em porções pequenas a fim de otimizar a operação de amostragem. Outro ponto que deve se levar em conta é a profundidade da amostragem, está que é definida pela cultura que irá ser introduzida na área, isso se leva em conta em razão do sistema radicular da planta explorar diferentes camadas de solo para a obtenção de nutrientes. Como por exemplo em cultivos de ciclo pequeno normalmente a amostra de solo alcança profundidades de até 20 cm.

Mendes (2007), relata que quando a amostra é realizada em áreas de pastagem, normalmente alcança-se profundidades de até 10 cm. Já plantações perenes, como por exemplo o café, a profundidade atingem cerca de 40 a 60 cm. No entanto, as amostragens acima de 40 cm devem ser realizadas por camadas a cada 20 cm para se obter uma amostragem composta por cada camada.

Outro aspecto importante que deve ser levado em conta é à distribuição dos pontos de coleta das amostras, estas que devem ser efetuadas ao acaso e de preferência em ziguezague, pois é crucial que os pontos de coleta estejam distribuídos por toda a área para que a amostra composta seja representativa do extrato. No momento da coleta das amostragens é muito importante evitar áreas que possuem formigueiros, cupinzeiros, áreas com queimadas, áreas com fezes, e além disso as vegetações do local que se pretende recolher as amostras precisam ser retiradas para não ter variações nas análises. Cuidados esses simples, mas fundamentais para o sucesso da análise, (SIRTOLI et al., 2006).

Assim, a coleta das amostras simples é realizada normalmente com auxílio de uma enxada, enxadão, pá ou instrumentos próprios chamados de trados ou sondas ilustradas como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Equipamentos mais comuns utilizados na coleta de amostras de solo



Fonte: Tomé (1997).

No momento de recolhimento das amostragem simples, estas são depositadas numa vasilha limpa, como por exemplo um balde. Após o procedimento de coleta, o solo deve ser destorroado e misturado para uma perfeita homogeneização. Para análise usa-se aproximadamente, 500 dm<sup>3</sup> (0,5 L) de solo, denominada amostra composta, que após a coleta é embalada e identificada para ser enviada ao laboratório.

Mendes (2007), destaca que amostra que é enviada para o laboratório vai acompanhada por um formulário elaborada pelo próprio laboratório com informações contendo: nome, endereço do remetente, a identificação das amostras, além de informações complementares como: a cultura a ser introduzida, a cultura antecessora, a adubação anterior, a topografia entre outras características. Portanto, todos esses procedimentos são necessários, para se obter uma maior precisão da amostragem, pois só assim é possível avaliar a fertilidade e as correções necessárias do local que será cultivado.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

Segundo Gil (2002), a pesquisa pode ser classificada em uma destas três alternativas: pesquisa descritiva, pesquisa exploratória e pesquisa explicativa. Com isso, torna-se interessante para o estudo a pesquisa exploratória, que tem como objetivo familiarizar-se com a problemática, constituindo hipóteses ou tornando estas mais claras. Como este tipo de pesquisa busca o aprimoramento das ideias e descoberta de intuições como objetivos principais, seu planejamento é bastante flexível envolvendo diversos aspectos, tais como: levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão (GIL, 2002).

Em relação a sua natureza classifica-se como pesquisa aplicada. De acordo com Gerhardt e Silveira (2009, p.35) “este tipo de pesquisa tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos.

O desenvolvimento experimental consiste em uma atividade destinada a completar, desenvolver ou melhorar materiais, produtos e processos produtivos, sistemas e serviços, por meio da aplicação e utilização de resultados de pesquisas e experiências práticas (Lakatos; Marconi, 2014). Pode ser definida como quantitativa e qualitativa. Esta pesquisa se trata da vertente quantitativa. No método quantitativo são obtidos resultados numéricos da amostra que representam universo relacionado ao assunto pesquisado. Análises estatísticas e matemáticas necessárias são feitas sobre os resultados obtidos (GIL, 2008).

Nesta pesquisa, a contextualização se faz extremamente importante para a compreensão dos resultados obtidos. Para tanto, foram utilizados materiais diversos, tais como livros, artigos científicos e relatórios, que permitiram a construção de uma base teórica sólida e fundamentada. Além disso, os métodos de processamento e análise foram cuidadosamente escolhidos para garantir a confiabilidade dos dados coletados.

Nesse método, questiona-se sobre a variabilidade vertical dos elementos Fósforo (P) e Potássio (K) em camadas subsuperficiais em diferentes tipos de manejos do Brasil através de exemplos de campo, na análise quantitativa determinam se representações numéricas, com avaliação gráfica e objetiva.

### 3.2 ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

No decorrer de mais de uma década trabalhando com amostragem de solo com ferramentas de AP, percebeu-se a necessidade de avaliar, quantificar e mensurar as principais características quanto a variabilidade vertical amostrada. Assim chegando a uma visão holística que permita explorar melhor qual método deve ser considerado para maior assertividade na tomada de decisão quanto a adubação e manejo.

Para o desenvolvimento e elaboração deste estudo, teve-se colaboração da Drakkar Agrotecnologias, empresa especializada em Agricultura de Precisão, com influência em mais de uma década amostrando solos e possuindo banco de amostras contendo mais de 900 mil pontos analisados em diferentes solos e manejos no Brasil. Conforme apresentado no quadro 1, ao decorrer dos anos houve uma intensificação da procura por análise subsuperficiais, nas camadas de profundidade acima de 10 cm.

Quadro 1 – Resultados quantitativos da análise do banco de dados

Ano	Camada Amostrada					
	0 a 10 cm	0 a 15 cm	0 a 20 cm	5 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 40 cm
2006	1.782					
2007	1.609					
2008	3.968					
2009	7.296					
2010	10.505					
2011	16.595	357				
2012	32.257	3.730				
2013	42.733	4.401				
2014	48.138	58				
2015	52.058					
2016	64.227		87			
2017	69.924		740		53	17
2018	93.918	9	61			
2019	80.222		111		347	118
2020	83.402		93	10	60	26
2021	146.555	3	38	10	1.356	287
2022	154.104	97			5.136	1.288

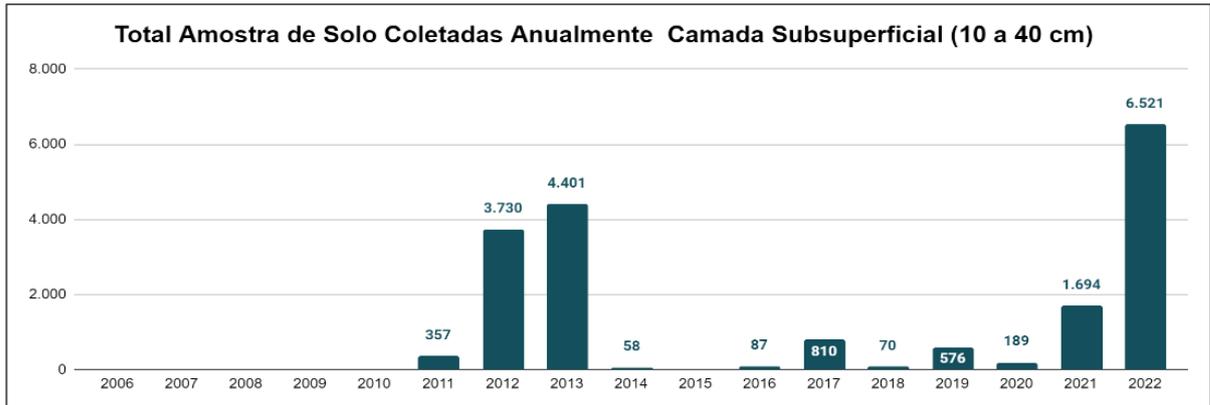
Legenda: cm: centímetros

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Ainda tratando-se de análise do banco de dados amostral, é possível criar uma análise agrupando as amostras realizadas na subsuperfície, que é a amostra realizada fora da camada considerada padrão (0 a 10 cm), conforme apresentado no gráfico 1,

a qual deixa nítida a maior procura por análises realizadas na camada de (10 a 40 cm), nos últimos anos.

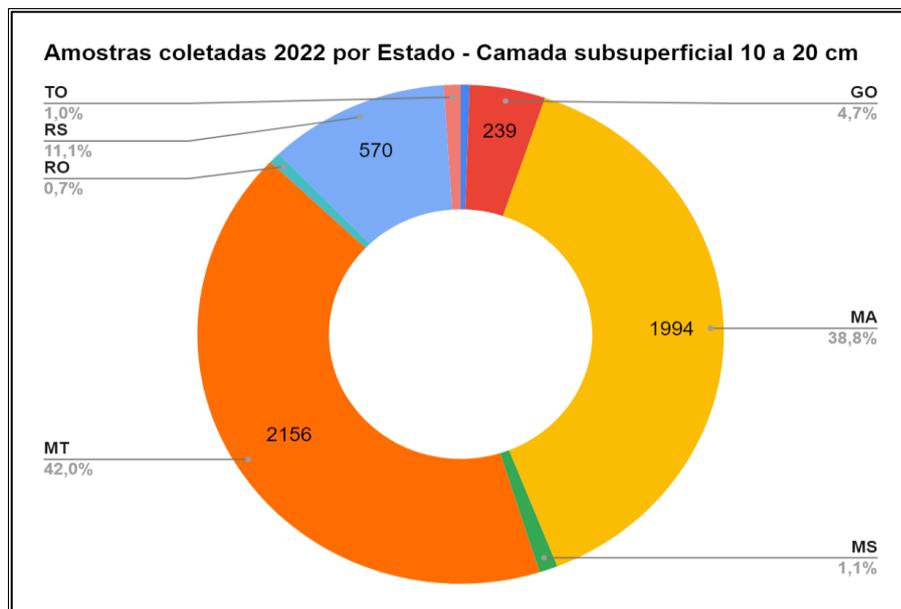
Gráfico 1 – Total amostras de solo coletadas anualmente Camada Subsuperficial



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Seguindo nessa análise mais específica do banco de dados, isolando as amostras totais do ano de 2022, é possível fracionar as amostras em duas camadas subsuperficiais, que seriam na camada de (10 a 20 cm), o qual é apresentada no gráfico 2, demonstrando que essas análises são realizadas em sua maioria no estado do Mato Grosso, representando 42% do total amostrado.

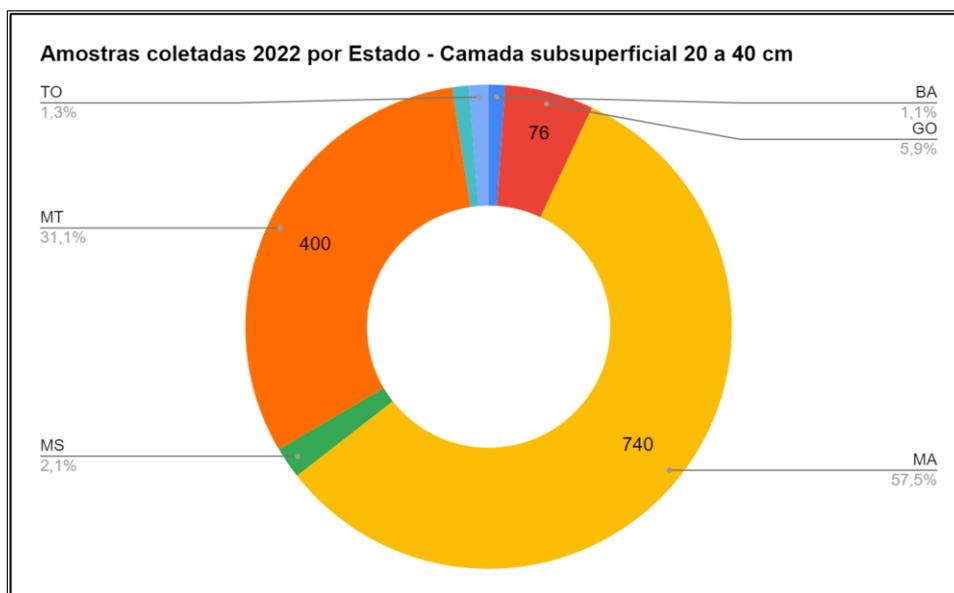
Gráfico 2 – Análise regional de amostras realizadas na camada (10 a 20 cm)



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Já na camada de (20 a 40 cm), o qual é apresentada no gráfico 3, demonstrando que essas análises são realizadas em sua maioria no estado do Maranhão, representando 57% do total amostrado.

Gráfico 3 – Análise regional de amostras realizadas na camada (20 a 40 cm)



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Partindo dessa análise geral do banco de dados, optou-se por utilizar resultados laboratoriais de coletas de solo realizadas em duas cidades distintas, sendo elas Primavera do Leste/Mato Grosso e Luís Eduardo Magalhães/Bahia.

Por qualificação estatística foram agrupados 5 clientes, em cada cidade, todos possuíam o mesmo padrão amostral, foram amostradas em grid de 5 e possuíam amostras distribuídas nas camadas (0 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm). Desse grupo total de 10 propriedades, foram selecionados de forma aleatória 2 propriedades de cada cidade. A área foi selecionada pelas seguintes questões: é adotante de técnicas de AP com uso de amostragem em grid, ou seja, suas zonas de manejo buscam homogeneizar as variabilidades na área, com uso a taxa variada de adubação e corretivos.

Nesses produtores a amostragem de solo foi feita pela metodologia manual, com pá de corte, com a distribuição da malha amostral com grid de 5 e na profundidade de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm do solo. Cada amostra foi composta por mais 5 subamostras coletadas em um raio de 5 metros ao redor do ponto central georreferenciado.

Na cidade de Primavera do Leste, Latitude 15° 33' 35" Sul, Longitude 54° 17' 50" Oeste, foram coletados um total de 594 pontos em profundidade considerada padrão, na camada de 0 a 10 cm do solo, 112 pontos foram coletados em profundidade considerada estratificada, dos quais 81 foram em profundidade de 10

a 20 cm do solo e 31 pontos foram em profundidade de 20 a 40 cm do solo (Figura 2). Em Luís Eduardo Magalhães, foram coletados um total de 379 pontos em profundidade considerada padrão, na camada de 0 a 10 cm do solo, 125 pontos foram coletados em profundidade considerada estratificada, dos quais 99 foram em profundidade de 10 a 20 cm do solo e 26 pontos foram em profundidade de 20 a 40 cm do solo (Figura 3).

Figura 2: Localização da área de estudo, com detalhes de pontos amostrais: A) Área correspondente a fazenda Santa Rosa e B) Fazenda Ouro em Pó, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil.



Fonte: Adaptado da base de dados Drakkar (2023).

Figura 3: Localização da área de estudo, com detalhes de pontos amostrais para amostragem de solo, A) Área corresponde Fazenda Condomínio e B) Fazenda Testa Branca, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil.



Fonte: Adaptado da base de dados Drakkar (2023).

A área foi selecionada pelas seguintes questões: é adotante de técnicas de AP com uso de amostragem em grid, ou seja, suas zonas de manejo buscam homogeneizar as variabilidades na área, com uso a taxa variada de adubação e corretivos. Todas as amostras coletadas foram encaminhadas para laboratório no estado do Rio Grande do Sul, sendo credenciado pelo programa Rede Oficial de

Laboratórios de Análise de Solo e Tecido Vegetal (ROLAS), e informações resultantes foram transferidas para análises. No que diz respeito as análises estatísticas, foram feitas por meio do Teste T de Student ao nível de 5% de probabilidade. Conforme o que foi discutido através do referencial teórico desta pesquisa, os elementos de fertilidade de foco deste estudo foram Fósforo (P) e Potássio (K). Em todas as localidades obteve-se amostras de áreas com o mesmo padrão de profundidade.

No presente trabalho, não foram estudadas a dinâmica e influência da escolha da malha amostral, bem como sua influência na decisão quanto a adoção de técnicas de AP, tendo em vista que o foco central é a avaliação de níveis de nutrientes no solo e sua variabilidade nas três camadas de profundidade citadas anteriormente.

### 3.3 INTRODUÇÃO ANÁLISE ESTATÍSTICA

O presente relatório expõe os resultados referentes a realização da análise descritiva dos valores de concentração de P e K, em diferentes níveis de profundidade do solo, sendo elas: 0 a 10 cm, 10 a 20 e 20 a 40. Além de, um teste de hipótese (Teste t de Student) para verificar se há diferença significativa entre as concentrações das substâncias em estudo para diferentes níveis de profundidade das coletas das amostras do solo.

O banco de dados tem como referência 10 produtores rurais, sendo divididos em 5 produtores do estado do Mato Grosso, e 5 produtores do estado da Bahia. Foram escolhidos, aleatoriamente, 2 produtores de cada estado para realizar as análises descritivas e seus respectivos testes de hipóteses. Todas as análises foram realizadas pelo software R Core Team (2023).

A seguir, descrevemos as legendas e descrições das variáveis analisadas no estudo:

Produtos: Referente ao produtor em estudo.

Profundidade: Referente a profundidade da coleta da amostra na cama do solo.

1. 0 a 10 cm

2. 10 a 20 cm

3. 20 a 40 cm

P e K: Referente aos elementos em estudo.

P - Fósforo

K - Potássio

Nesta seção são apresentadas as fórmulas utilizadas no relatório, junto com breves explicações.

**Média:** A média de um conjunto de dados é calculada somando-se todos os valores do conjunto e os dividindo pelo total de elementos no mesmo, logo para o cálculo da média foi utilizado a seguinte expressão:

$$\bar{X} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n x_i,$$

Em que,  $n$  representa o número total de pacientes e  $X_i$  representa o valor dos dados.

**Mediana:** A mediana é o valor que divide a amostra ordenada, ou população, em duas partes iguais, a seguinte expressão foi utilizada para calcular o elemento central que representa a mediana, em caso do  $n$  for ímpar é utilizado a seguinte expressão:

$$med = \frac{n + 1}{2}.$$

Caso  $n$  seja par a mediana será a média entre os dois valores centrais, é utilizado a seguinte expressão:

$$\frac{n}{2} e \frac{n}{2} + 1$$

Desvio padrão: O desvio padrão amostral é calculado pela expressão:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\hat{\sigma}^2},$$

Em que,  $\hat{\sigma}^2$  é a variância amostral, representada por:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n - 1}$$

Em que,  $n$  representa o número total de amostras e  $X_i$  representa o valor dos dados.

**Máximo:** É o elemento de maior valor do conjunto de dados ou observado para a variável de estudo.

**Mínimo:** É o elemento de menor valor do conjunto de dados ou observado para a variável de estudo.

**Coefficiente de Variação:** É uma medida de variabilidade relativa de uma distribuição, expressa como uma porcentagem do desvio padrão em relação à média. O coeficiente de variação é usado para comparar a dispersão de duas ou mais distribuições que têm médias diferentes.

$$CV\% = \frac{\hat{\sigma}}{\bar{X}} \cdot 100$$

**Gráfico Boxplot:** O boxplot ou diagrama de caixas é um gráfico elaborado a partir de algumas diversas medidas estatísticas, primeiro quartil, segundo quartil (mediana), terceiro quartil, limites inferior e superior e os possíveis *outliers*. Vale lembrar que os quartis dividem o conjunto de dados em 4 partes, e cada parte inclui 25% de todos os valores incluídos no conjunto de dados, no boxplot, as observações são consideradas *outliers*.

Os elementos do boxplot são dados por:

1. Limite superior e Limite inferior: São os limites para detecção de *outliers*;
2. Primeiro quartil: 25% dos valores do conjunto de dados estão abaixo dele;
3. Segundo quartil (mediana): 50% dos valores do conjunto de dados estão abaixo dele;
4. Terceiro quartil: 75% dos valores do conjunto de dados estão abaixo dele.
5. *Outliers*: Representados por pontos fora dos limites superior ou inferior, caso existentes.

**Teste de Hipóteses:** Trata-se de uma técnica para se fazer inferência estatística. A partir de um teste de hipóteses, realizados com dados amostrais, pode-se inferir sobre a população. Em resumo, é uma regra de decisão para aceitar ou rejeitar uma hipótese estatística com base nos elementos amostrais. A elaboração das hipóteses é feita da seguinte forma:

$H_0$ : Não há diferença entre os parâmetros das populações submetidas aos experimentos (Hipótese nula).

$H_1$  : Há diferença entre os parâmetros do universo em questão e contradiz a hipótese nula (Hipótese alternativa).

Neste relatório, foi realizado o Teste  $t$  de Student para duas amostras independente. Para realizar o teste  $t$  foi utilizado a seguinte expressão:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_p^2}{n} + \frac{S_p^2}{n}}}$$

E  $\bar{X}_1$  é a média da amostra um,  $\bar{X}_2$  é a média da amostra dois.  $n_1$  e  $n_2$  são os tamanhos das amostras um e dois, respectivamente.  $S_1^2$  e  $S_2^2$ , são as variâncias das amostras um e dois, respectivamente.

### 3.4 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE DE HIPÓTESES

O teste de hipótese foi feito com o intuito de verificar se há diferença entre as médias das concentrações dos elementos em estudo (Fósforo e Potássio) nas diferentes camadas de profundidade das amostras coletadas. Foram elaboradas duas hipóteses:

$H_0$ : Não há diferença entre as médias.

$H_1$ : Há diferença entre as médias.

Em que  $H_0$  é a hipótese nula e  $H_1$  é a hipótese alternativa. Para todos os testes foram considerados o nível de significância igual a 5% ( $\alpha=0,05$ ).

$$S_p^2 = \frac{(n_1-1) \cdot S_1^2 + (n_2-1) \cdot S_2^2}{n_1+n_2-2}$$

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 VARIABILIDADE ESPACIAL E VERTICAL DA ÁREA EM ESTUDO

A variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo pode influenciar a eficiência do manejo das culturas, bem como o seu desenvolvimento. O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo constitui importante passo para que se possa empregar um manejo mais adequado, considerando a estratégia de amostragem, o planejamento do delineamento de pesquisa no campo e a aplicação de fertilizantes.

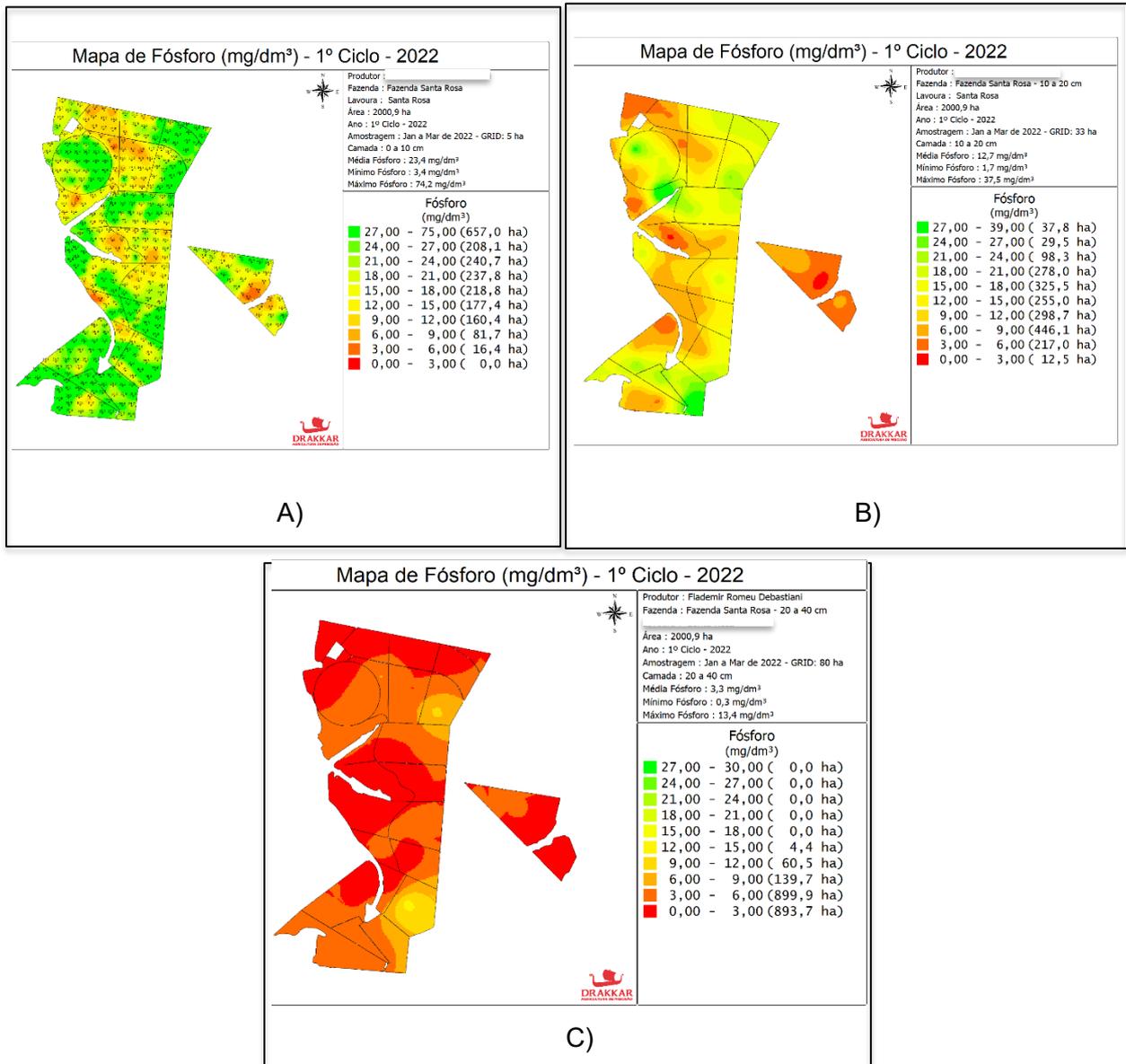
O mapeamento das propriedades químicas do solo é de grande importância, principalmente para a agricultura de precisão que considera a variação destes elementos em determinada área, sendo ainda que esta procura realizar a aplicação de fertilizantes a taxas variadas, de acordo com o mapa previamente elaborado.

Segundo Schindwein & Anghinoni (2000) no sistema plantio direto (SPD), onde a aplicação de insumos é realizada em linhas, na subsuperfície do solo, ou a lanço, na superfície, aliado a deposição superficial de resíduos culturais que alteram a taxa de decomposição da matéria orgânica e a liberação dos nutrientes, pode haver favorecimento da ocorrência de gradientes em atributos químicos, a partir da superfície em direção as camadas mais profundas do solo. Este processo se intensifica com o tempo de cultivo. A formação de gradiente de atributos químicos no perfil do solo acarreta dificuldades para definir as profundidades de amostragem em SPD, que expressem verdadeiramente o estado de fertilidade dos solos. Além disto, podem induzir a concentração de raízes nas primeiras camadas de solo agravando o efeito de possíveis déficits hídricos.

### 4.2 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA SANTA ROSA

Nesta seção são apresentados os resultados descritivos das concentrações de Fósforo (P) e Potássio (K) em três diferentes níveis de profundidade de solo, para a propriedade 1 da fazenda Santa Rosa do estado Mato Grosso. Além de, seus respectivos resultados dos testes de hipóteses.

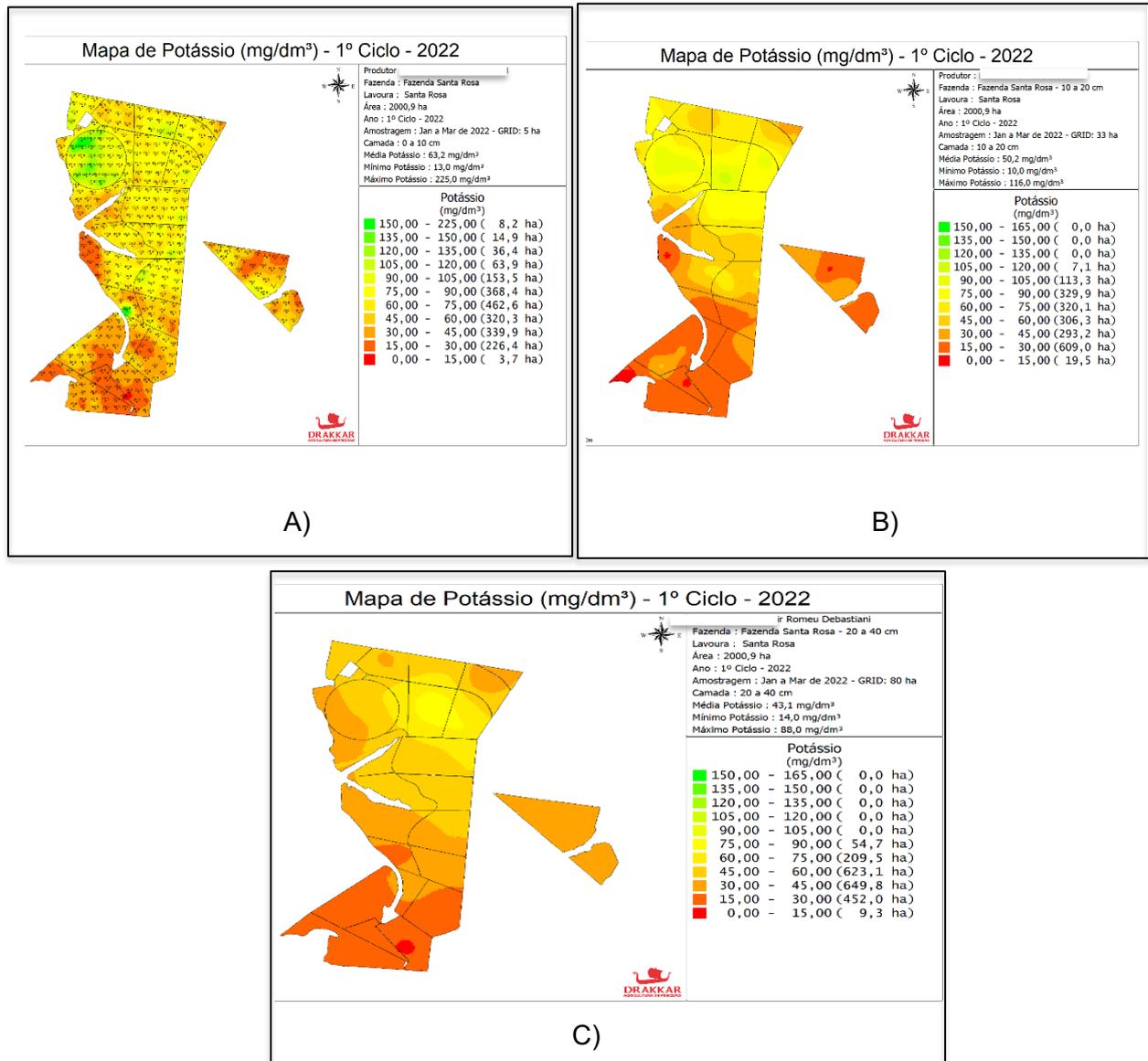
Figura 04: Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 1 – Fazenda Santa Rosa, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)).



Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

Conforme apresentado, os mapas de fertilidade permitem verificar a média de Fósforo, na camada de 0 a 10 a média é de 23,4 mg/dm, já na camada de 10 a 20 a média é de 12,07 mg/dm e na camada de 20 a 40 a média é 3,3 mg/dm.

Figura 5: Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 1 – Fazenda Santa Rosa, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c).



Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

Conforme apresentado, os mapas de fertilidade permitem verificar a média de Potássio, na camada de 0 a 10 a média é de 63,24 mg/dm, já na camada de 10 a 20 a média é de 50,02 mg/dm e na camada de 20 a 40 a média é 43,1 mg/dm.

Na tabela 1, é possível observar os valores referentes aos resultados da concentração de fósforo em diferentes camadas. Nota-se que para as profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 e 20 a 40 as médias são, respectivamente, 23,38mg  $dm^{-3}$ , 12,74mg  $dm^{-3}$  e 3,32mg  $dm^{-3}$ . Outro ponto para ser destacado é o máximo de concentração em cada profundidade, como na camada 0 a 10 cm que possui a maior concentração, com 74,2mg  $dm^{-3}$ .

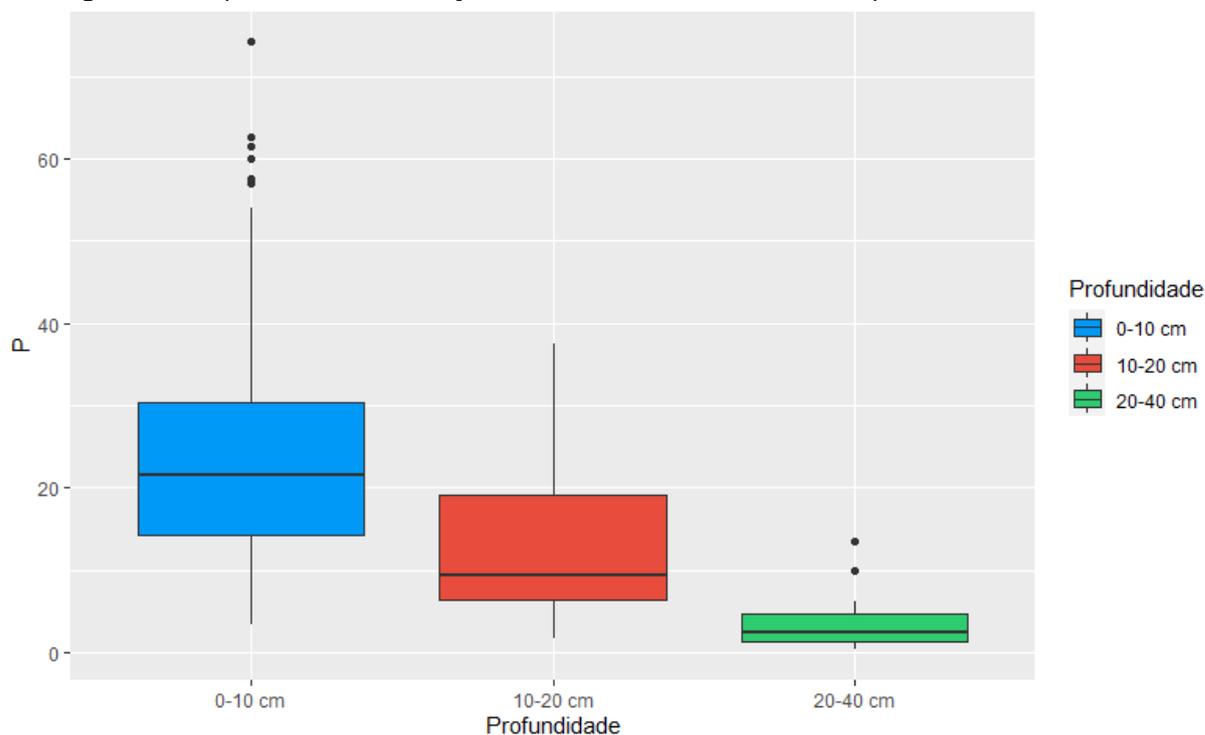
Tabela 1: Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades.

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	400	61	25
Mínimo	3,4	1,7	0,3
Média	23,38	12,74	3,32
Mediana	21,55	9,40	2,50
Máximo	74,2	37,5	13,4
Desvio Padrão	11,81	8,1	3
Coef. de Variação(%)	50,5	63,57	90,36

Fonte: Autora (2023).

Na figura 6, é possível visualizar o gráfico boxplot que relaciona profundidade e as concentrações do elemento fósforo. É possível notar que as concentrações diminuem de acordo com o aumento das profundidades.

Figura 6: Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo.



Fonte: Autora (2023).

Na tabela 2, são apresentados os resultados da análise descritiva para a concentração de Potássio para diferentes camadas de solo em estudo. Nota-se que para as profundidades 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm as médias são, respectivamente,  $63,17 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $50,18 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $43,08 \text{ mg dm}^{-3}$ .

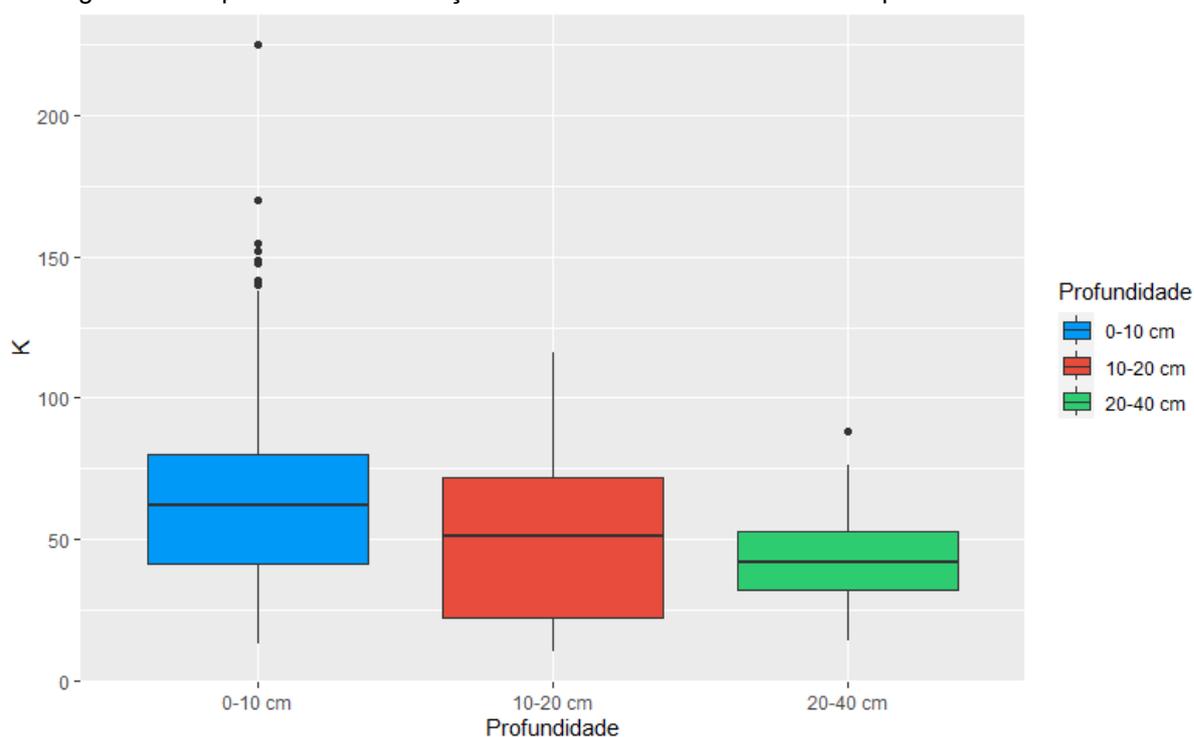
Tabela 2: Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	400	61	25
Mínimo	13	10	14
Média	63,17	50,18	43,08
Mediana	62	51	42
Máximo	225	116	88
Desvio Padrão	29,54	28,1	17,88
Coef. de Variação(%)	46,76	56	41,5

Fonte: Autora (2023).

Na figura 7, é possível visualizar o gráfico do tipo boxplot para a concentração do elemento potássio em diferentes profundidades do solo.

Figura 7: Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo



Fonte: Autora (2023).

As tabelas 3 e 4, apresentam os resultados do teste de hipótese dos elementos em estudo. Em quase todos os resultados são menores do que o  $p$ -valor = 0,05, levando a conclusão que há diferença significativa entre as médias de concentração para diferentes camadas de profundidade do solo. Contudo, para o teste entre as profundidades 10 a 20 e 20 a 40 da tabela 4, o valor obtido é maior que o  $p$ -valor = 0,05, o que indica que não há diferença entre as médias. Destaca-

se, que o valor de  $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ , nos diz que o valor observado é menor do que o informado na tabela.

Tabela 3: Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades

Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$1,8 \cdot 10^{-14}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	$1,35 \cdot 10^{-11}$	Há diferença

Fonte: Autora (2023).

Tabela 4: Resultado do teste de hipótese - Potássio em diferentes profundidades

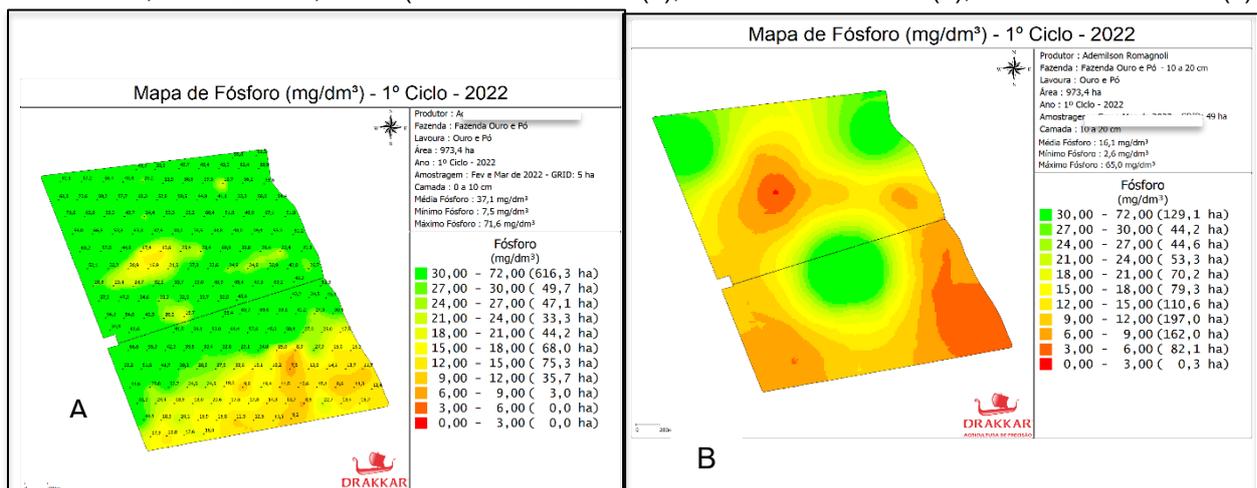
Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$1,3 \cdot 10^{-3}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	$1,1 \cdot 10^{-5}$	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	0,166	Não há diferença

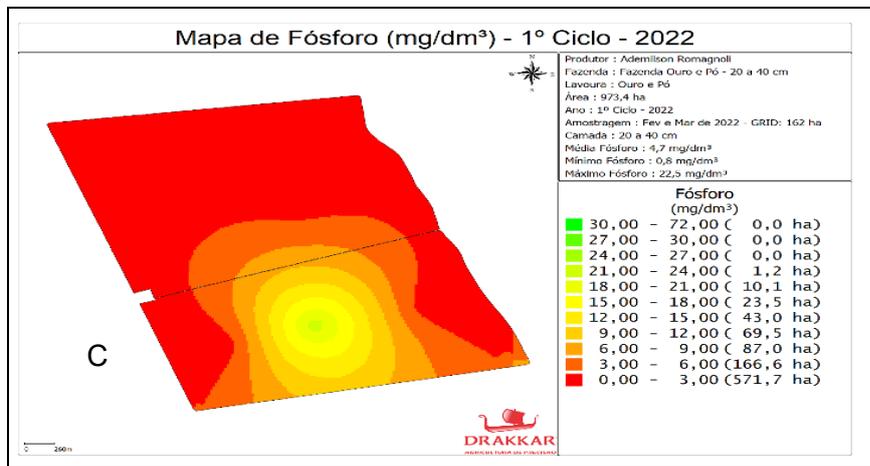
Fonte: Adaptado Autora (2023).

#### 4.3 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA OURO EM PÓ

Nesta seção são apresentados os resultados descritivos das concentrações de Fósforo (P) e Potássio (K) em três diferentes níveis de profundidade de solo, para a propriedade 2 da Fazenda Ouro em Pó, do estado Mato Grosso. Além de, seus respectivos testes de hipóteses.

Figura 8: Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 2 – Fazenda Ouro em pó, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c))

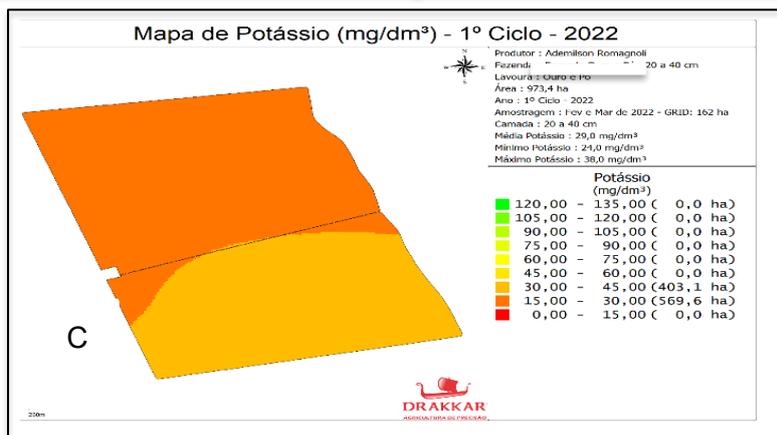
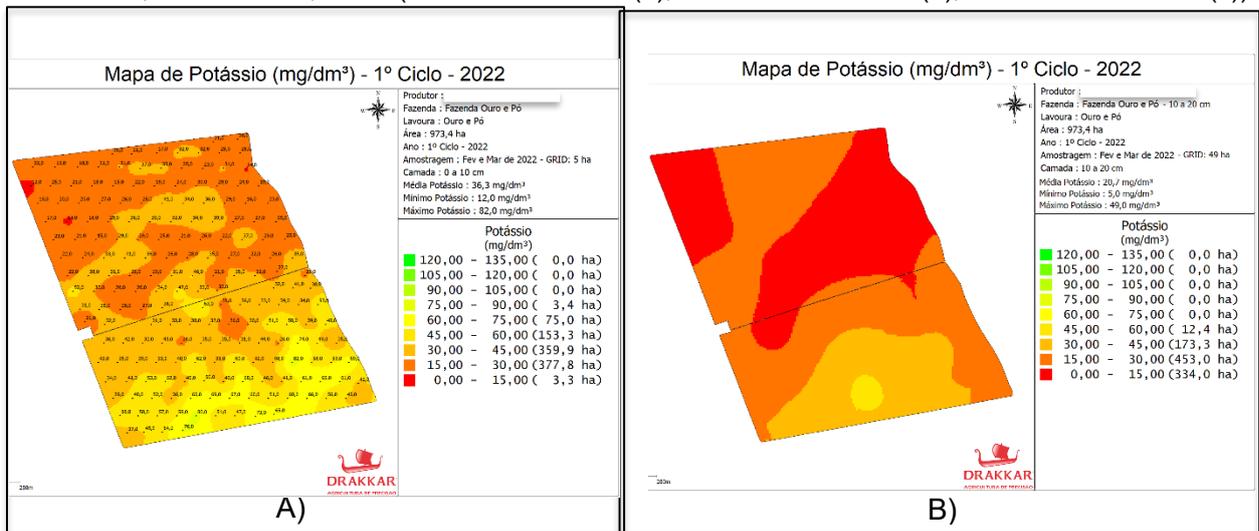




Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

Conforme apresentado, os mapas de fertilidade permitem verificar a média de Fósforo, na camada de 0 a 10 a média de Fósforo é de 37,1 mg/dm, já na camada de 10 a 20 a média é de 16,01 mg/dm e na camada de 20 a 40 a média é 4,7 mg/dm.

Figura 9: Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 2 – Fazenda Ouro em Pó, Primavera do Leste, Mato Grosso, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)).



Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

Na tabela 5, destacam-se os valores das médias para as profundidades de 0 a 10cm com  $37,12\text{mg dm}^{-3}$ , 10 a 20cm com média de  $16,14\text{mg dm}^{-3}$  e por último 20 a 40cm com média de  $4,7\text{mg dm}^{-3}$ , sendo este valor bem abaixo das outras médias. A maior concentração é para a camada de 0-10cm de no máximo  $71,6\text{mg dm}^{-3}$ .

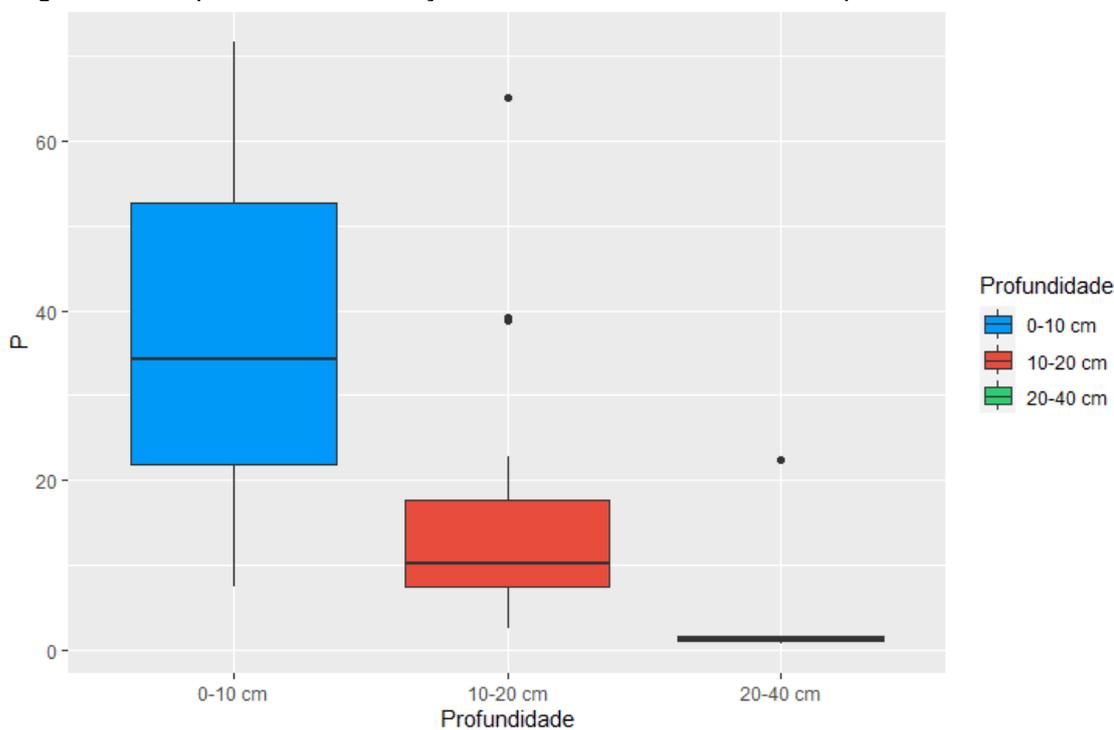
Tabela 5: Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	194	20	6
Mínimo	7,5	2,6	0,8
Média	37,12	16,14	4,7
Mediana	34,2	10,2	1,2
Máximo	71,6	65	22,5
Desvio Padrão	17,75	15,29	8,71
Coef. de Variação(%)	47,8	94,73	185,32

Fonte: Autora (2023).

A figura 10 mostra o gráfico de boxplot para as concentrações de fósforo. Devido as quantidades reduzidas de amostras para a profundidade de 20 a 40cm, as informações no gráfico para essa categoria em questão ficam pouco perceptíveis.

Figura 10: Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo



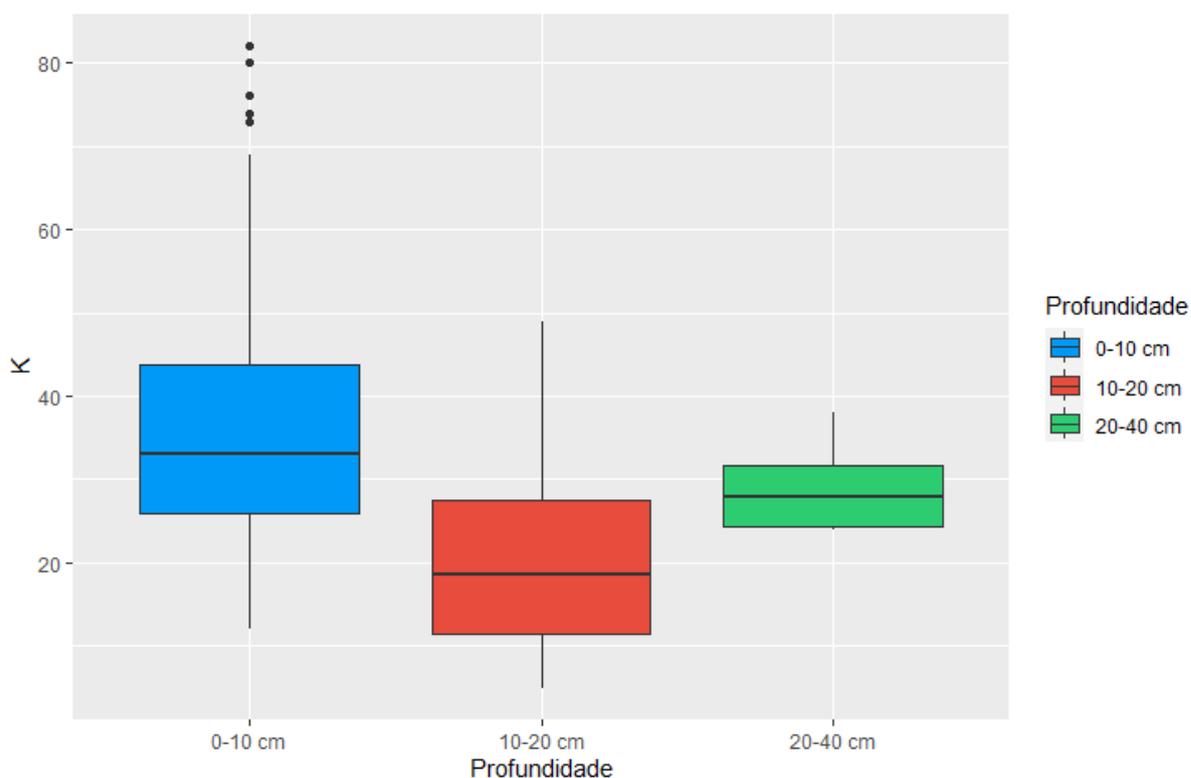
Na tabela 6, apresenta os resultados da análise para o elemento potássio. Nota-se que a média de concentração é maior para a profundidade 0 a 10cm com  $36,31\text{mg dm}^{-3}$ . Contudo, é importante destacar que a média para a profundidade 20 a 40cm foi superior à média da profundidade de 10 a 20cm, com  $29\text{mg dm}^{-3}$  e  $20,75\text{mg dm}^{-3}$ , respectivamente.

Tabela 6: Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	194	20	6
Mínimo	12	5	24
Média	36,31	20,75	29
Mediana	33	18,5	28
Máximo	82	49	38
Desvio Padrão	14,91	11,95	5,65
Coef. de Variação(%)	41,1	57,59	19,48

Fontes: Adaptado Autora (2023).

Figura 11: Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo.



As tabelas 7 e 8 mostram os resultados referentes aos testes de hipóteses realizados para os elementos fósforo e potássio. Todos os testes indicaram valores menores que o p-valor = 0,05, o que leva a conclusão de que há diferença significativa entre as médias de concentração nas diferentes camadas de profundidade do solo.

Tabela 7: Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades

Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$5,7 \cdot 10^{-6}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	$1,0 \cdot 10^{-4}$	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	0,03	Há diferença

Fonte: Autora (2023)

Tabela 8: Resultado do teste de hipótese – Potássio em diferentes profundidades

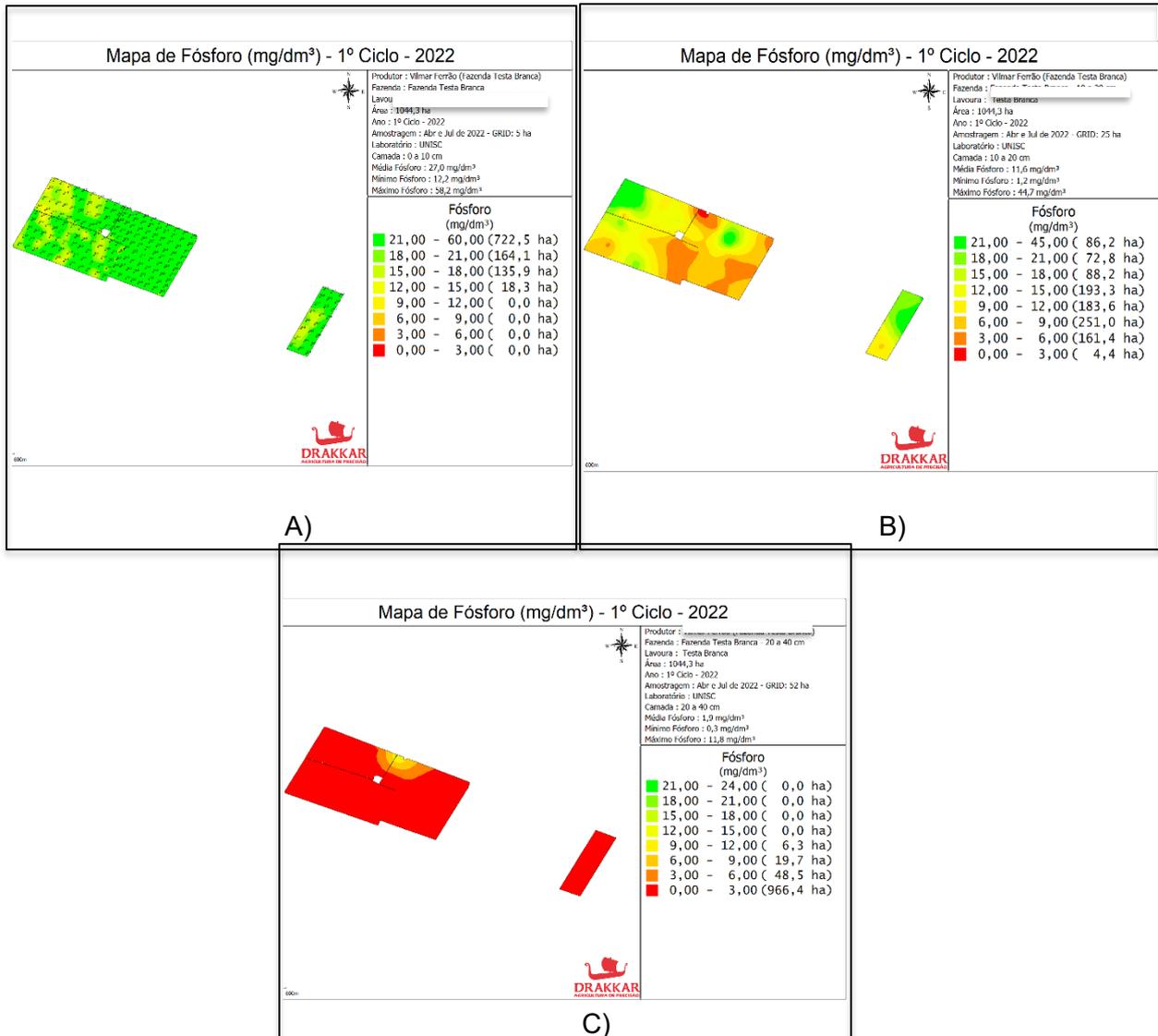
Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$1,2 \cdot 10^{-5}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	0,02	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	0,03	Há diferença

Fonte: Autora (2023).

#### 4.4 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA TESTA BRANCA

Nesta seção são apresentados os resultados descritivos das concentrações de Fósforo (P) e Potássio (K) em três diferentes níveis de profundidade de solo, para a propriedade 3 da fazenda Testa Branca do estado da Bahia. Além de, seus respectivos testes de hipóteses

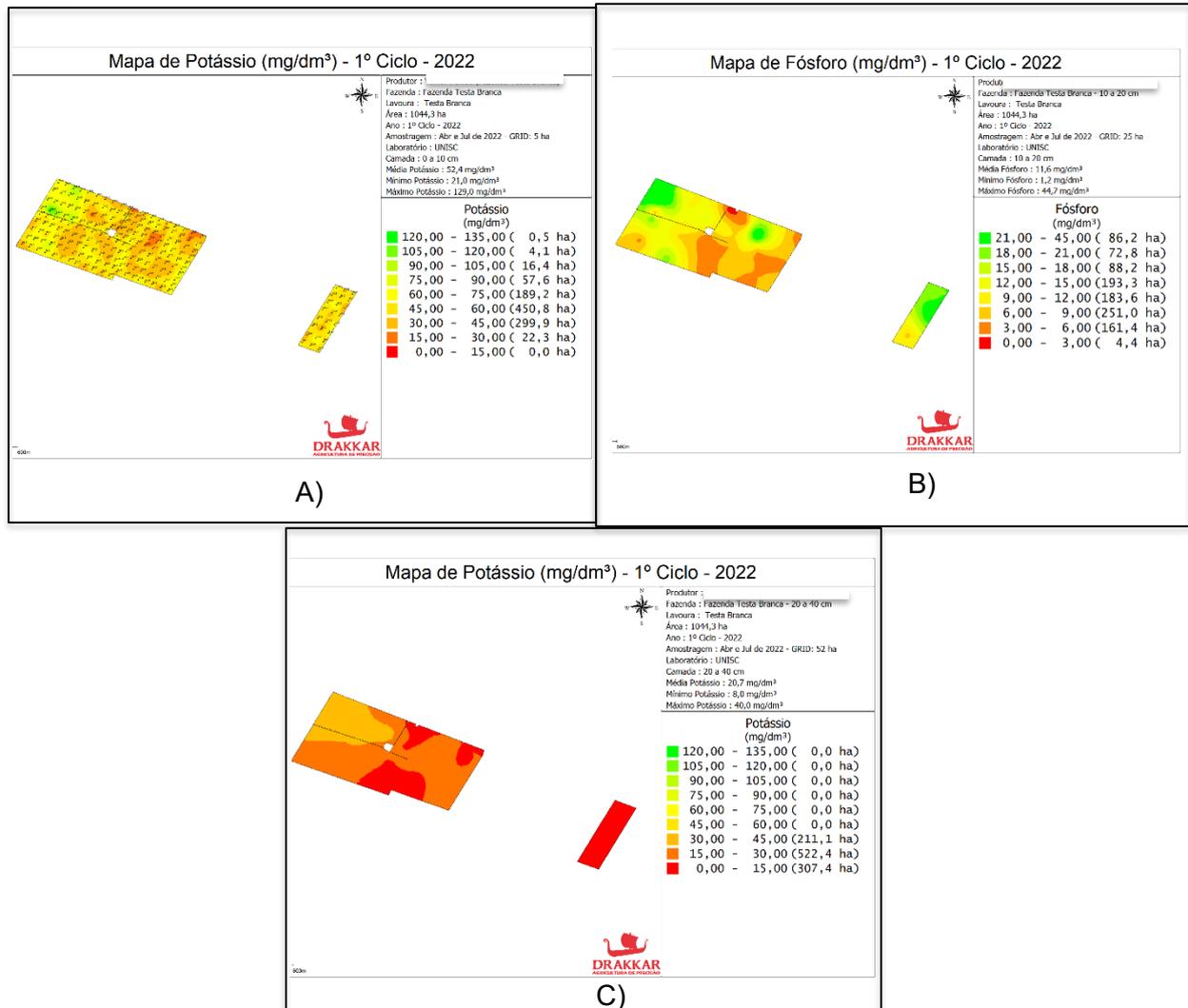
Figura 12: Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 3 – Fazenda Testa Branca, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)).



Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

Conforme apresentado, os mapas de fertilidade permitem verificar a média de Fósforo, na camada de 0 a 10 é de 27 mg/dm, já na camada de 10 a 20 a média é de 11,03 mg/dm e na camada de 20 a 40 a média é 1,9 mg/dm.

Figura 13: Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 3 – Fazenda Testa Branca, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c).



Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

A tabela 9 apresenta os resultados da análise descritiva das concentrações de fósforo em diferentes profundidades de solo. A média de concentração foi maior para a camada de 0-10cm, com  $28,5 \text{ mg dm}^{-3}$

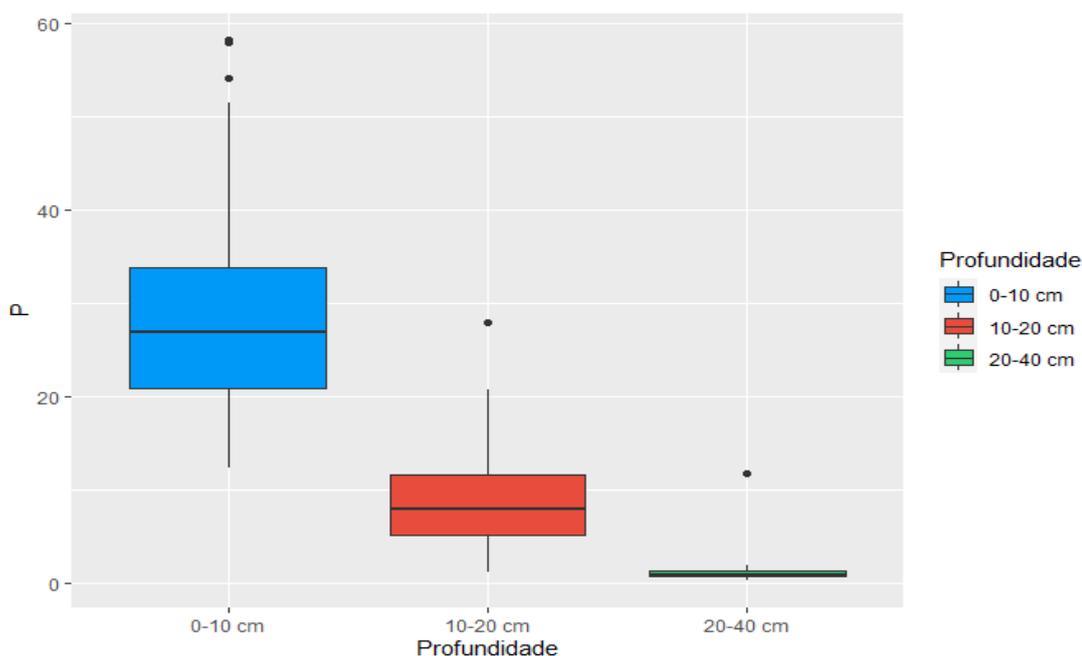
Tabela 9: Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades.

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	142	28	14
Mínimo	12,4	1,2	0,3
Média	28,5	9,2	1,75
Mediana	26,95	7,95	1
Máximo	58,3	28	11,8
Desvio Padrão	9,98	6,1	2,9
Coef. de Variação(%)	35	66,3	165,7

Fonte: Autora (2023).

Na figura 14, observa-se o boxplot das concentrações de fósforo. Devido as baixas concentrações dos níveis, e um reduzido número de amostras, as informações referentes a profundidade 20 a 40cm estão pouco visíveis. Porém, é nítido que para profundidade 0 a 10cm a concentração do elemento é superior as demais.

Figura 14: Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo.



Fonte: Autora (2023).

Na tabela 10, observam-se os valores referentes a análise descritiva das concentrações de potássio em diferentes profundidades de solo. As médias de concentração para as profundidades de 0-10cm, 10-20cm, 20-40cm são, respectivamente,  $49,29 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $33,07 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $17,82 \text{ mg dm}^{-3}$ .

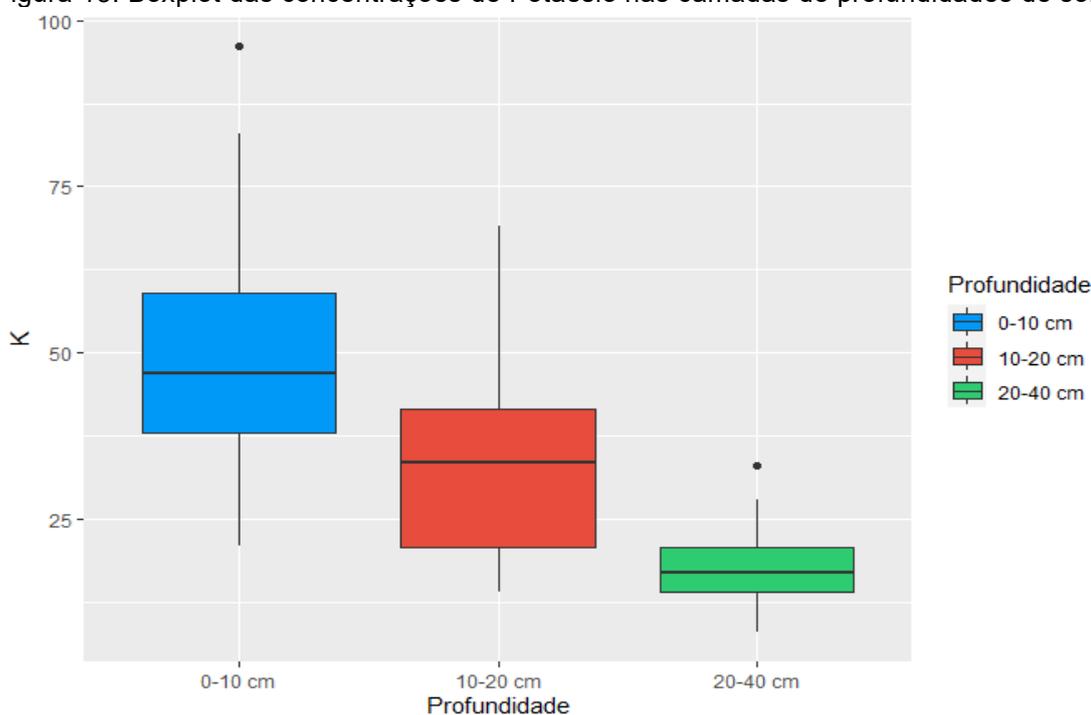
Tabela 10: Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	142	28	14
Mínimo	21	14	8
Média	49,29	33,07	17,82
Mediana	47	35,5	17
Máximo	96	69	33
Desvio Padrão	14,81	13,24	6,99
Coef. de Variação(%)	30	40	39,22

Fonte: Autora (2023).

Já na figura 15, é apresentado o boxplot das concentrações de potássio em diferentes camadas de profundidade do solo. As concentrações diminuem de acordo com o aumento da profundidade do solo.

Figura 15: Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo.



Fonte: Autora (2023).

As tabelas 11 e 12 se referem aos resultados dos testes de hipóteses para as concentrações de fósforo e potássio em diferentes profundidades da camada do solo. Nota-se que todos os resultados indicaram valores menores do que o  $p$ -valor = 0,05, indicando que há diferença significativa entre as médias de concentração. Para os valores com o resultado  $< 2,2 \cdot 10^{-16}$ , indica que o  $p$ -valor obtido foi menor do que informado na tabela.

Tabela 11: Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades.

Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$< 2, 2.10^{-16}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	$< 2, 2.10^{-16}$	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	$3, 94.10^{-6}$	Há diferença

Fonte: Autora (2023).

Tabela 12: Resultado do teste de hipótese - Potássio em diferentes profundidades.

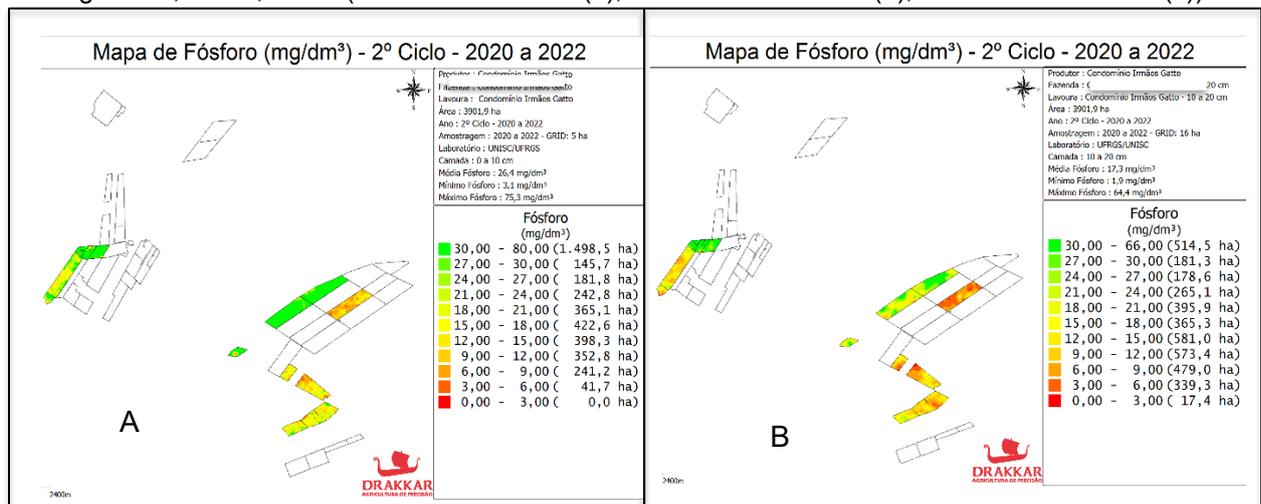
Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$7, 8.10^{-7}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	$9, 6.10^{-14}$	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	$1, 9.10^{-5}$	Há diferença

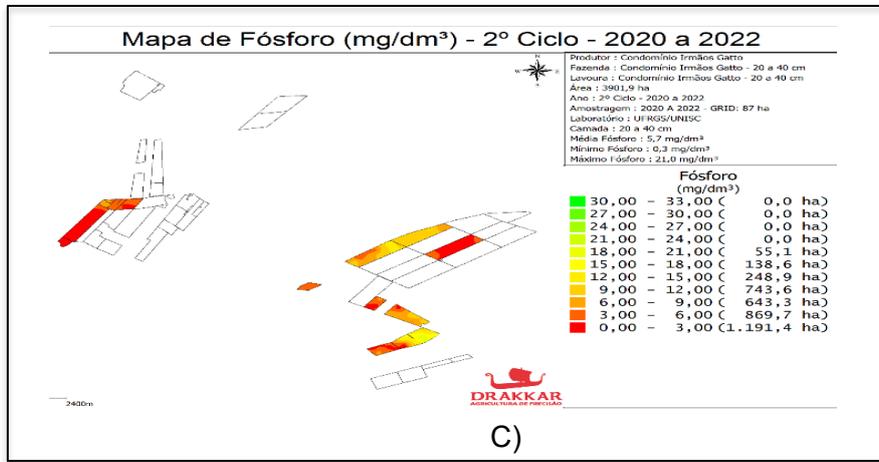
Fonte: Autora (2023).

#### 4.5 ANÁLISE DESCRITIVA E TESTE T DE STUDENT FAZENDA BARÃO

Nesta seção são apresentados os resultados descritivos das concentrações de Fósforo (P) e Potássio (K), em três diferentes níveis de profundidade de solo, para a propriedade 4 da Fazenda Barão, do estado da Bahia. Além dos seus respectivos testes de hipóteses.

Figura 16: Mapas de fertilidade do elemento Fósforo propriedade 4 – Fazenda Barão, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)).

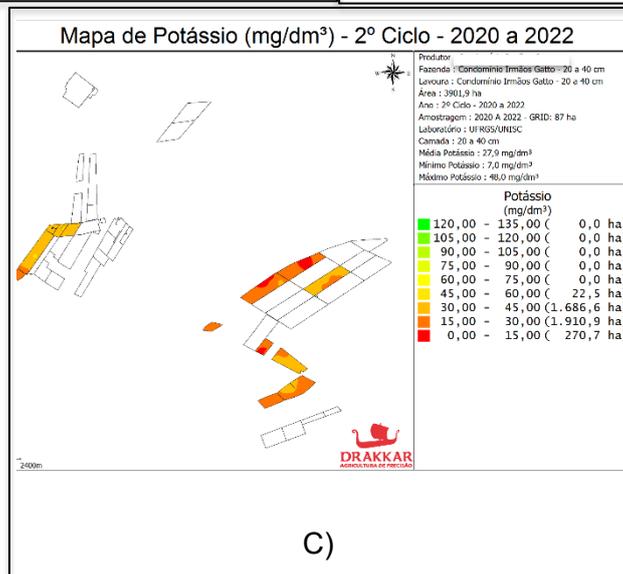
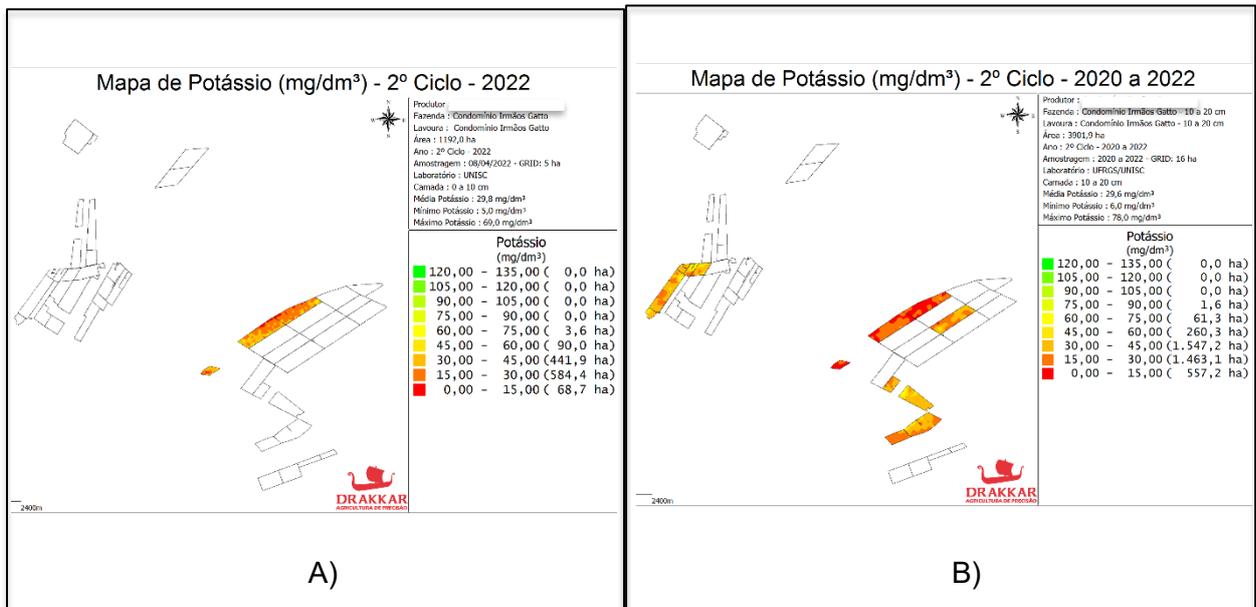




Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

Conforme apresentado, os mapas de fertilidade permitem verificar a média de Fósforo, na camada de 0 a 10 é de 26,4 mg/dm, já na camada de 10 a 20 a média é de 17,03 mg/dm e na camada de 20 a 40 a média é 5,7 mg/dm.

Figura 17: Mapas de fertilidade do elemento Potássio propriedade 4 – Fazenda Barão, Luís Eduardo Magalhães, Bahia, Brasil (camada 0 a 10 cm (a), camada 10 a 20 cm (b), camada 20 a 40 cm (c)).



Fonte: Adaptado da base de dados da Drakkar (2023).

Na tabela 13, são apresentados os resultados da análise descritiva para o elemento fósforo, nota-se que as médias de concentração diminuem de acordo com o aumento da profundidade, sendo elas  $41,4 \text{ mg dm}^{-3}$ ,  $24,2 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $9,3 \text{ mg dm}^{-3}$  para as profundidades 0 a 10cm, 10 a 20 e 20 a 40, respectivamente.

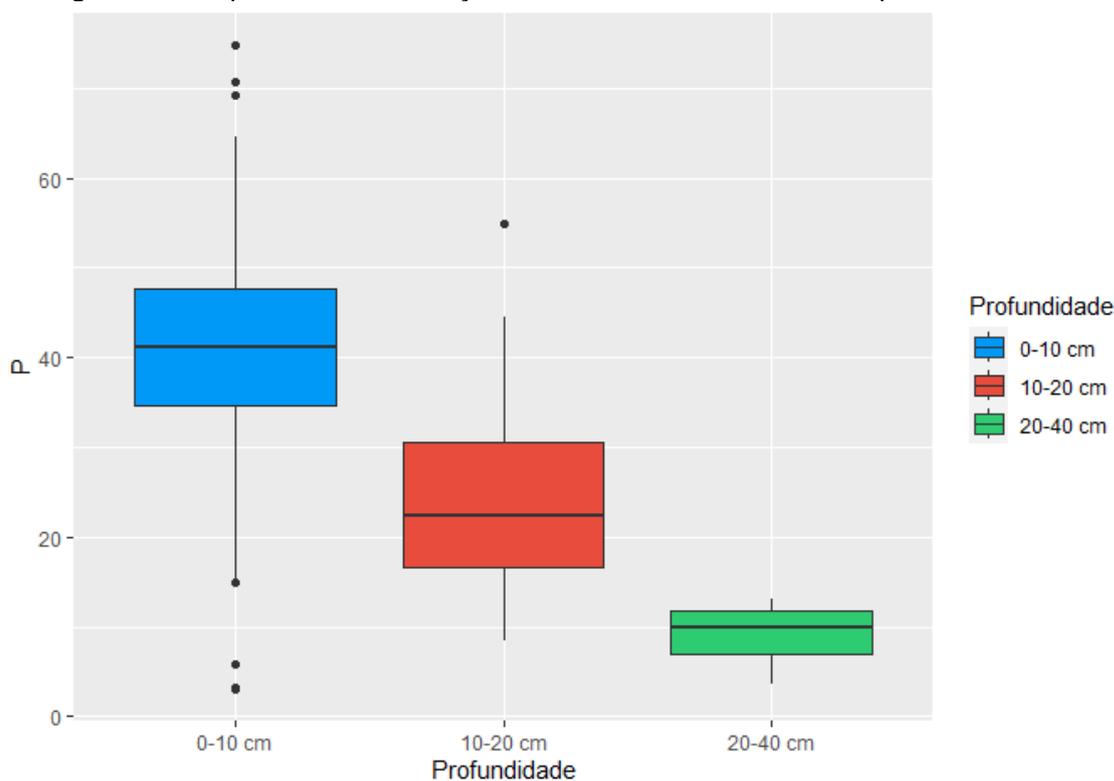
Tabela 13: Resultados descritivos da concentração de Fósforo em diferentes profundidades.

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	237	71	12
Mínimo	3,1	8,5	3,6
Média	41,4	24,2	9,3
Mediana	41,1	22,4	9,95
Máximo	74,8	54,9	13
Desvio Padrão	10,9	9,8	3,27
Coef. de Variação(%)	26,3	40,5	24,4

Fonte: Autora (2023).

Na figura 18, encontra-se o boxplot das concentrações de fósforo em diferentes camadas do solo. Como é possível notar, as concentrações diminuem de acordo com o aumento da profundidade.

Figura 18: Boxplot das concentrações de Fósforo nas camadas de profundidades de solo.



Fonte: Autora (2023).

Na tabela 14 são apresentados os resultados da análise descritiva para as concentrações de potássio em diferentes profundidades. Destaca-se que a camada de 0 a 10cm apresenta maior média de concentração, com  $29,79\text{mg dm}^{-3}$ , seguido da camada 20 a 40cm, com  $18,83\text{mg dm}^{-3}$ .

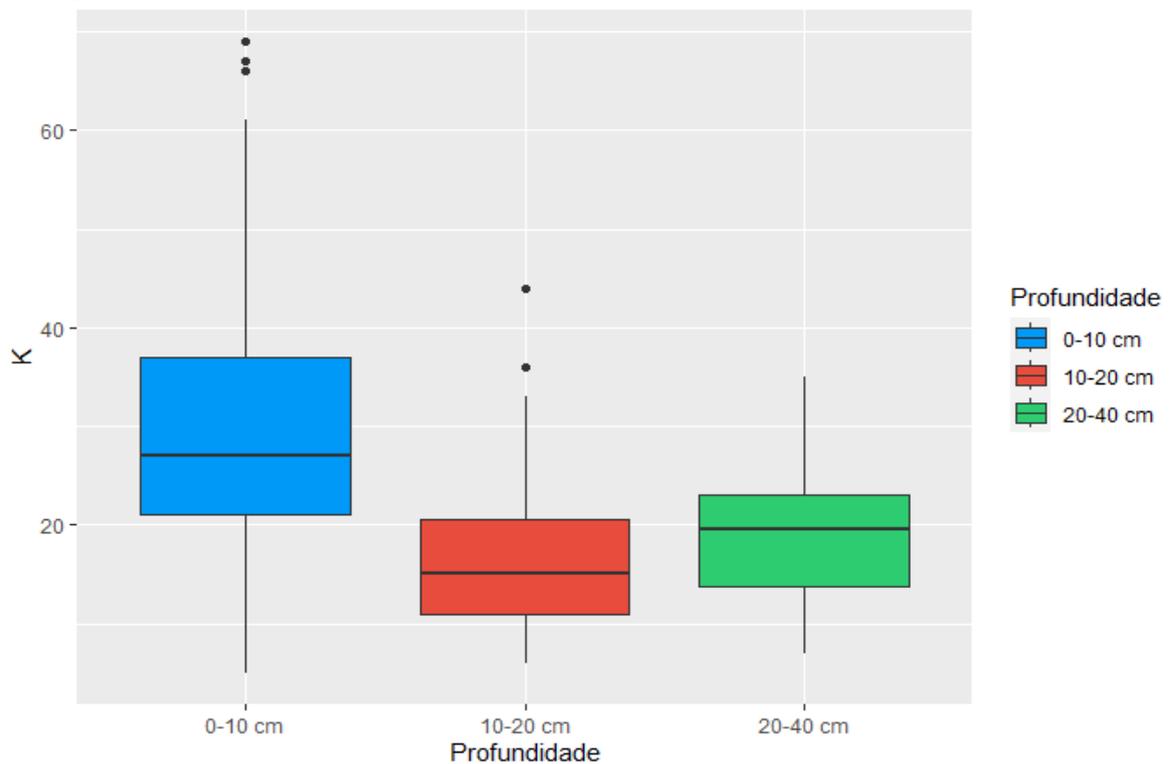
Tabela 14: Resultados descritivos da concentração de Potássio em diferentes profundidades.

	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm
N	237	71	12
Mínimo	5	6	7
Média	29,79	16,74	18,83
Mediana	27	15	19,5
Máximo	69	44	35
Desvio Padrão	12,61	7,2	7,56
Coef. de Variação(%)	42,3	43	40,1

Fonte: Autora (2023).

Na figura 19 é apresentado o gráfico boxplot das concentrações de potássio em diferentes camadas do solo.

Figura 19: Boxplot das concentrações de Potássio nas camadas de profundidades de solo



São apresentados nas tabelas 15 e 16, os resultados para os testes de hipóteses para os elementos em estudo, em que quase todos resultados indicaram valores menores do que  $p\text{-valor} = 0,05$ , o que mostra que há diferença significativa entre as concentrações dos elementos para diferentes camadas de profundidade do solo. Entretanto, no teste para as camadas 10 a 20 e 20 a 40 o  $p\text{-valor}$  obtido foi de 0,3886, logo é possível concluir que não há diferença entre as médias de concentração entre as camadas citadas.

Tabela 15: Resultado do teste de hipótese - Fósforo em diferentes profundidades

Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$< 2, 2.10^{-16}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	$< 2, 2.10^{-16}$	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	$1, 5.10^{-13}$	Há diferença

Fonte: Autora (2023).

Tabela 16: Resultado do teste de hipótese - Potássio em diferentes profundidades

Profundidade	p-valor	Conclusão
0-10cm e 10-20cm	$< 2, 2.10^{-16}$	Há diferença
0-10cm e 20-40cm	$3, 2.10^{-4}$	Há diferença
10-20cm e 20-40cm	0,3886	Não há diferença

Fonte: Autora (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo da presente pesquisa, as áreas foram selecionadas para estudos por serem adotantes de técnicas de Agricultura de Precisão com uso de amostragem em grid e por buscar caracterizar zonas de manejo com objetivo de homogeneizar às variabilidades na área, com emprego de técnicas de AP, como taxa variada de adubação e corretivos.

Ainda é possível afirmar, que dentro dos dados analisados, as amostras nas camadas subsuperficiais são realizadas em menor quantidade, para melhor interpretação, a análise deve ser realizada com amostragem e reamostragem, podendo assim realizar um comparativo mensurando o impacto das práticas realizadas dentro do talhão.

Às universidades e indústrias, destaca-se a importância de realizar novas pesquisas para aprofundar a compreensão da real influência da variabilidade vertical quanto a tomada de decisão, ficando nítida a falta de referencial nessa linha de pesquisa. Sugere-se traçar a pesquisa através de uma comparação entre as fazendas, o qual não pode ser efetuado, na presente pesquisa devido ao não delineamento do experimento antecedente a amostragem de solo.

Os atributos químicos P e K apresentaram considerável gradiente vertical no perfil do solo. Com o estudo realizado conclui-se que a avaliação dos perfis de fertilidade, reflete os desbalanços que estão ocorrendo em áreas de cultivo de grãos sob plantio direto, promovendo concentração dos principais nutrientes nas camadas superficiais do solo que são caracterizadas dentro da camada de 0 a 10 cm de profundidade.

Nesse sentido, técnicas simples como a gessagem e plantas de cobertura de sistema radicular agressivo podem minimizar tal situação, permitindo uma melhor distribuição de nutrientes ao longo do perfil do solo e promovendo um melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas cultivadas.

## REFERÊNCIAS

ALVES, E.A. **Variabilidade espacial da qualidade das culturas agrícolas. Anais e procedimentos de eventos.** Embrapa Rondônia. 2014.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L. Agricultura de precisão aplicada ao aprimoramento do manejo do solo. In: FIORIN, J. E., ed. **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto.** Passo Fundo: Berthier, 2007.

ANCHIETA, L. **Amostragem de solo em Agricultura de Precisão: particularidades e recomendações.** Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2012. 106 p.

AMADO, T. J. C. **Projeto Aquarius: 17 anos de pioneirismo em Agricultura de Precisão no Sul do Brasil.** ResearchGate. 2016.

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, n.1, p.151-157, 1996.

ANTUNIASSI, Ulisses R.; BAILO, Fábio HR; SHARP, Timothy C. Agricultura de precisão. ABRAPA–Associação Brasileiro dos Produtores de Algodão. (Org.). **Algodão no Cerrado do Brasil.** 3ªed. Brasília: Eleusio Curvelo Freire, p. 767-806, 2015.

BERNARDI, AC de C .; RASSINI, JB ; FERREIRA, R. de P. **Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência de adubação potássica após dois anos de cultivo.** Livretos, Embrapa Pecuária Sudeste. ISSN 1517-1981 outubro. ISSN 1981-2078 novembro, 2012.

BHATTI, A. U.; MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and thematic mapper images. **Remote Sensing of Environment**, v.37, p.181-191, 1991.

BERNARDI, A. C. de C.; INAMASU, R. Y. Adoção da Agricultura de Precisão no Brasil. In: **Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar.** Brasília: Embrapa, 2014. P. 559-577.

BAERDEMAEKER, J. De. Precision Agriculture Technology and Robotics for Good Agricultural Practices. **IFAC Proceedings Volumes**, v.46, n.4, p.1-4, 2013.

BERNARDI, A. C. C. et al. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, 2015.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n. 1, p. 1-9, 2013.

CANTARUTTI, R.B.; ALVAREZ V., V.H. & RIBEIRO, A.C. *Amostragem do solo.* In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações**

**para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** (5a Aproximação). Viçosa, MG, 1999. p.13-20.

CARNEIRO, J. S. S.; SANTOS, A. C. M.; FIDELIS, R. R.; SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; SILVA, R. R. Diagnóstico e manejo da variabilidade espacial da fertilidade do solo no cerrado do Piauí. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.14, n. 2, p. 10-21, 2016.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. PIB do agronegócio. Disponível em: [https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/PIB\\_DO-AGRO-27JUN2023.pdf](https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/PIB_DO-AGRO-27JUN2023.pdf) Acesso em: 20 jan. 2023.

COELHO, A. M. **Amostragem de Solos**: A base para aplicação de corretivos e fertilizantes. Embrapa Milho e Sorgo. 6º ed. 2010.

CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1013-1021, 2004.

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

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v.43, n. 3, p. 453-461, 2011.

EMBRAPA. Visão 2014-2034: **O futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira**: síntese / Embrapa. – Brasília, DF: Embrapa, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FRAISSE, C. W. de. **Introdução à Agricultura de Precisão** – GIS Brasil 98 USDA. Agricultural Research Service Missouri: Columbia, EUA, 1998.

FILIPPINI ALBA, J. M. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 84-96.

GIOLO, R. Suely; **Introdução à análise de dados categóricos com aplicações**. Editora Blucher, 2017.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**. 109 ed. jan/fev, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014b. cap. 5, p. 74-83.

LEITE, João Lucas. **Uso de técnicas geoestatísticas na avaliação do arranjo espacial de plantas em lavouras de milho**. Projeto acadêmico (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Curitibanos. Ciências Rurais, 2021.

MANTOVANI, E. C; QUEIROZ, D.M; DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da. (Coord.). **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998.

MENDES, Alessandra Monteiro Salviano. **Introdução a Fertilidade do Solo**. Aula ministrada no Curso de Manejo e Conservação do Solo e da Água promovido pela superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – SFA -BA/SDC/MAPA, no auditório da UFBA, em Barreiras-BA. 2007.

Ministério da Agricultura e Pecuária. **Agricultura Digital e de Precisão**. 2017 [Home page]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1>  
Acesso em: 12/09/2023.

MONTANARI, R.; PANACHUKI, E.; LOVERA, L. H.; CORREA, A. R.; OLIVEIRA, I. S.; QUEIROZ, H. A.; TOMAZ, P. K. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n. 2, p. 385-396, 2015.

MOLIN, J. P. et al. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 223 p. Disponível em: <https://www.bibliotecaagppta.org.br/agricultura/precisao/livros/AGRICULTURA%20DE%20PRECISAO%20-%20OFICINA%20DE%20TEXTOS.pdf>  
Acesso em: 13/09/2023.

MOREIRA, A. Precisão é exigência na coleta de solo. **Campo & Negócios**, Uberlândia, v. 9, p. 6-8, 2012.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, POTAFOS, 1991. 343p.

RESENDE, J. M. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. B. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n. 4, p. 1077-1090, 2014.

RESENDE, A. V. de COELHO, A. M. **Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão**. Informações Agrônomicas, Piracicaba, n. 159, p. 1-8, set. 2017.

RHEINHEIMER, D. S. et al. **Ciclo biogeoquímico do fósforo, diagnóstico de disponibilidade e adubação fosfatada**, 2020.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; DELLA FLORA, L. P.; SMANIOTTO, R. F. F. É chegada a hora da integração do conhecimento. **Revista Plantio Direto**. v.109. 2009.

SANTI, A. L. et al. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Plantio Direto** maio/junho, 2012.

SANTOS, H. G. et al. **Argissolos Vermelhos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. EMBRAPA. Brasília-DF, 2014.

SILVA, FABIO CESAR DA SILVA et al. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, J. M. **Análise espacial de atributos físicos em um latossolo cultivado em plantio direto**. Engenharia Ambiental, v.10, n. 3, p. 27 -38, 2013

SIEGEL, Sidney; CASTELLAN JR, N. John. **Estatística não paramétrica para ciências do comportamento**. Artmed Editora, 1975.

SILVA, D. Y. B. de O., Farias, S. G. G. de, Resende, R. T., Cardoso, C. R., Silva, R. B. e, & Tambarussi, E. V. (2023). Variabilidade genética e estratégias de conservação *ex situ* para a espécie neotropical *Parkia platycephala* Benth. **Ciência Florestal**, 33(1), e64058. <https://doi.org/10.5902/1980509864058>

SIRTOLI, Ângelo Evaristo [et al.]. **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos/** Curitiba: UFPR/Setor de Ciências Agrárias, 2006. xiv, 341 p.: il. ISBN 85-89950-03-4.

TOMÉ Jr., J. B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.

VARASCHINI, A. D. C. **Avaliação da fertilidade do solo na agricultura de precisão**. 363 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Agronomia, UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul: Ijuí, 2012.

VIDAL, LEONICE RAQUEL. **Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em áreas do cultivo do fumo na agricultura familiar**. Dissertação (mestrado). 105p. Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão. Universidade Federal de Santa Maria: UFSM, 2016.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 154.