

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

RAFAELLA GAI DOS SANTOS WIERZBICKI

**EFICIÊNCIA DO USO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREAS DE
ABERTURA**

Santa Maria, RS

2023

Rafaella Gai dos Santos Wierzbicki

**EFICIÊNCIA DO USO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREAS DE
ABERTURA**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. José Cardoso Sobrinho

Santa Maria, RS

2023

Rafaella Gai dos Santos Wierzbicki

**EFICIÊNCIA DO USO DA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM ÁREAS DE
ABERTURA**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em: 03/02/2023

Prof. José Cardoso Sobrinho, Dr. (UFSM)

Prof. Luiz Felipe Diaz de Carvalho, Dr. (UFSM)

Bibiana Silveira Moraes, Dr^a. (Drakkar Solos)

RESUMO

Técnicas de Agricultura de Precisão (AP) são utilizadas para substituir as tecnologias tradicionais que tratam a cultura como homogênea e aplicam os insumos uniformemente à taxas fixas. A substituição de técnicas convencionais de aplicação de fertilizantes (aplicação uniforme) por técnicas agrícolas de precisão (aplicação variada de fertilizantes) visa alcançar um dos seguintes resultados: a) redução de custos através da redução do uso de fertilizantes; b) aumento da produtividade agrícola através da aplicação mais eficiente de fertilizantes; e c) redução da heterogeneidade da área. Entretanto, ainda há muitas dúvidas sobre a eficácia da agricultura de precisão, especialmente quando se trata de áreas de abertura. Assim, o objetivo deste trabalho foi estudar se a aplicação de AP e o uso de taxas variáveis é realmente uma técnica eficaz nestas áreas de primeiro ano de cultivo agrícola, analisando as condições para aumentar a eficiência no uso de insumos e a produtividade das culturas. A importância da amostragem de lavoura nos resultados da aplicação uniforme dos insumos também foi destacada na estrutura, devido ao importante impacto que ela tem nos resultados. Concluímos que, em geral, contratar serviços de AP e aplicar fertilizantes à taxa variável em áreas de abertura não compõe o conjunto de técnicas adotadas de imediato, uma vez que os teores dos nutrientes observados nessas áreas são baixos e a quantidade de fertilizante aplicada à taxa fixa e elevada terá a resposta produtiva da safra.

Palavras-chave: técnicas; fertilizantes; efetividade.

ABSTRACT

Precision Agriculture (PA) techniques are used to replace traditional technologies that treat the crop as they work and apply inputs uniformly at fixed rates. The replacement of conventional fertilizer application techniques (uniform application) by precision agricultural techniques (variable fertilizer application) aims to achieve one of the following results: a) cost reduction by reducing the use of fertilizers; b) increase in agricultural productivity through more efficient application of fertilizers; and c) reduction of area heterogeneity. However, there are still many doubts about the effectiveness of precision agriculture, especially when it comes to open areas. Thus, the objective of this work was to study whether the application of AP and the use of variable rates is really an effective technique in these areas of the first year of agricultural cultivation, analyzing the conditions to increase the efficiency in the use of inputs and the productivity of the cultures. The importance of crop evolution in the results of the uniform application of inputs was also highlighted in the structure, due to the important impact it has on results. We conclude that, in general, contracting PA services and applying fertilizers at variable rates in opening areas is not part of the set of techniques immediately adopted, since the levels of nutrients observed in these areas are low and the amount of fertilizer applied at the rate fixed and high will have the productive response of the crop.

Keywords: techniques; fertilizers; effectiveness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avaliação do Rendimento e Teor de Nutriente.....	25
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultados de cálcio (Ca) para Posses/GO	26
Gráfico 2: Resultados de Magnésio (Mg) para Posses/GO	27
Gráfico 3: Resultados de Alumínio (Al) para Posses/GO	28
Gráfico 4: Resultados de pH para Posses/GO	29
Gráfico 5: Resultados de Cálcio (Ca) para Santo Ângelo/RS	30
Gráfico 6: Resultados de Cálcio (Ca) para Dourados/MS	31
Gráfico 7: Resultados de magnésio (Mg) para Santo Ângelo/RS	32
Gráfico 8: Resultados de magnésio (Mg) para Dourados/MS	32
Gráfico 9: Resultados de alumínio (Al) para Santo Ângelo/RS	33
Gráfico 10: Resultados de alumínio (Al) para Dourados/MS	34
Gráfico 11: Resultados de pH para Santo Ângelo/RS	35
Gráfico 12: Resultados de pH para Dourados/MS	36
Gráfico 13: Resultados de teor de argila para Posses/GO	37
Gráfico 14: Resultados de fósforo (P) para Posses/GO	38
Gráfico 15: Resultados de teor de argila para Dourados/MS	40
Gráfico 16: Resultados de teor de argila para Santo Ângelo/RS	40
Gráfico 17: Resultados de fósforo (P) para Dourados/MS	41
Gráfico 18: Resultados de fósforo (P) para Santo Ângelo/RS	42
Gráfico 19: Resultados de CTC _{pH7} para Posses/GO	43
Gráfico 20: Resultados de potássio (K) para Posses/GO	44
Gráfico 21: Resultados de potássio (K) e CTC _{pH7} para Dourados/MS	45
Gráfico 22: Resultados de potássio (K) e CTC _{pH7} para Santo Ângelo/RS	46
Gráfico 23: Resultados de enxofre (S) para Posses/GO	47
Gráfico 24: Resultados de enxofre (S) para Dourados/MS	48
Gráfico 25: Resultados de enxofre (S) para Santo Ângelo/RS	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Agricultura de Precisão
Al	Alumínio
ATP	Trifosfato de Adenosina
Ca	Cálcio
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA	Estados Unidos da América
GO	Goiás
GPS	Sistema de Posicionamento Global
ha	Hectares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Kg	Quilogramas
Mg	Magnésio
Mo	Molibdênio
MOS	Matéria Orgânica do Solo
MS	Mato Grosso do Sul
N	Nitrogênio
P	Fósforo
RS	Rio Grande do Sul
S	Enxofre
TI	Tecnologia de Informação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 AGRICULTURA NO BRASIL	12
3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	13
3.2.1 Ferramentas e Etapas	15
3.3 MANEJO DO SOLO EM ÁREAS DE ABERTURA	17
4 METODOLOGIA.....	22
4.1 NATUREZA DA PESQUISA	22
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 CÁLCIO, MAGNÉSIO, ALUMÍNIO E PH	25
5.2 FÓSFORO E ARGILA.....	37
5.3 POTÁSSIO E CTC _{PH7}	43
5.4 ENXOFRE.....	46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
APÊNDICE	57
APÊNDICE A - TABELA RESULTANTE DE <i>TESTE T DE STUDENT</i> , DEMONSTRAÇÃO DE RESULTADOS APÓS ANÁLISE AO NÍVEL DE 5% DE PROBABILIDADE.....	57

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios hoje é manter o crescimento da produção agrícola para atender a demanda por alimentos e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos desta produção sobre os recursos naturais. Este desafio surge em meio aos debates internacionais e à crescente pressão da sociedade por um novo modelo de desenvolvimento que concilie crescimento econômico, suprimento de matéria-prima e preservação ambiental.

Estima-se que a população mundial será de 9 bilhões de pessoas em 2050 (UNFPA, 2011). Apenas para atender à crescente demanda por alimentos gerada por este crescimento populacional e os padrões crescentes de consumo das nações emergentes, estima-se que será necessário um aumento de pelo menos 100% na produção agrícola e pecuária mundial (TILMAN et al., 2011).

O setor agrícola tem se destacado na economia brasileira nas últimas décadas por um aumento significativo de sua produtividade e por sua crescente importância na manutenção da balança comercial do país. Com a modernização da agricultura e o uso mais intensivo de máquinas e insumos, os níveis de produtividade da terra e do trabalho aumentaram, contribuindo também para o crescimento da indústria associada ao setor (GASQUES et al., 2010).

Considerando o levantamento feito pela Embrapa (2018) sobre a situação do uso das terras no Brasil, demonstrou-se que 66,3% do território nacional é destinado à vegetação protegida e preservada, 3,5% correspondem à infraestrutura e 30,2% é designado ao uso agropecuário. Dentre esse último, 1,2% são florestas plantadas, 13,2% são pastagens plantadas, 8% pastagens nativas e 7,8% lavouras. Nota-se que, embora exista uma pequena área legalmente disponível para a expansão agrícola no Brasil, as novas demandas poderão ser atendidas também pela substituição de cultura, especialmente sobre a pecuária extensiva e áreas de campos nativo, tornando-as potenciais áreas de abertura para cultivo. A partir disso, a tecnologia na agricultura será cada vez mais imprescindível para que o meio agrícola seja capaz de aumentar a sua produção de forma sustentável.

Nesse sentido, analisam-se os métodos que sejam capazes de aproximar a situação produtiva atual dos resultados esperados e dentre as estratégias que vem sendo adotadas e surtindo efeitos positivos, a Agricultura de Precisão se apresenta como um suporte eficaz a esse processo.

A Agricultura de Precisão é uma técnica de gerenciamento que leva em conta a variabilidade espacial e permite a aplicação de insumos específicos do local, tais como fertilizantes, condicionadores de solo, pesticidas, sementes, água e outros. Ao contabilizar também a variabilidade temporal, a AP permite o uso mais racional de insumos no momento, lugar e dose certos, com potenciais benefícios econômicos e ambientais (EZENNE et al., 2019). Como a AP é sistema de gerenciamento e gestão de produção que se baseia em dados e em informações de campo georreferenciados, digitalizados e de alto rendimento (plantas, animais, solo, clima, máquinas), fornece base estrutural e conceitual para conectar sistemas de produção agrícola ao mundo digital, abrindo um canal para coleta e compartilhamento de dados de campo.

Tendo em vista que a expansão da área de lavouras no Brasil apresenta-se como uma alternativa para o aumento da produção de grãos, busca-se analisar as tecnologias possíveis de serem aplicadas e sua efetividade. A abertura de novas áreas de cultivo e as práticas da Agricultura de Precisão tem por objetivos o acréscimo da produção anual de alimentos, maior retorno financeiro e sustentabilidade ambiental. Assim, o presente trabalho busca fomentar a pesquisa de eficiência da Agricultura de Precisão (AP) em áreas de abertura, ou seja, em regiões que ainda não receberam nenhum tipo de manejo cultural ou plantio de grandes culturas. Elucidar sobre o tema e trazer exemplos reais são ferramentas da dissertação.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar possibilidades de eficiência da Agricultura de Precisão em áreas de abertura através de exemplos de campo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar resultados da amostragem de solo em áreas de abertura e pesquisar possível eficiência da AP nessas regiões;
- b) Identificar os fatores condicionantes para que se possa justificar a adesão das técnicas de AP nas áreas de abertura;
- c) Auxiliar na tomada de decisão quanto eficiência da AP em áreas de abertura.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 AGRICULTURA NO BRASIL

A agricultura é uma das atividades que mais influenciaram no modo de viver dos seres humanos no decorrer de todo o processo evolutivo. Sua influência incidiu nos processos sociais, econômicos e culturais, sendo impossível dissociar os estágios da humanidade da forma de organização da produção de alimentos. A mudança no estilo de vida do homem nômade ao homem sedentário foi possível graças ao domínio das primeiras técnicas agrícolas (PENA, 2015). Aliás, pode-se listar desenvolvimento dos povos com o grau evolutivo da produção agrícola.

A função prioritária da produção agrícola tornou-se a produção de alimentos e matéria-prima em condições de serem processadas junto a indústria (KAUTSKY apud SIQUEIRA, 2014). Ao notar que o desenvolvimento tecnológico impactaria em direto no setor produtivo, os donos dos meios de produção rapidamente se mobilizaram para ampliar investimentos financeiros capazes de reduzir a importância das intempéries climáticas na produção agrícola.

Desta maneira, o campo de pesquisa voltado ao melhoramento genético de plantas, criação de fertilizantes químicos capazes de reduzir os problemas do solo e a inserção de outras tecnologias no meio rural foi colocado como tema urgente em âmbito mundial (HORRI, 2015).

O setor agrícola brasileiro vem passando por transformações desde a década de 60. Essas transformações o puseram em destaque no cenário econômico mundial, passando de um importador de alimentos para um produtor estratégico em 2014 (SILVEIRA, 2014). O crescimento significativo do volume de produção agropecuária ao longo de anos no Brasil se deu por conta de 2 fatores fundamentais: expansão da área cultivada e aumento da produtividade (FERREIRA FILHO; FELIPE, 2007). Isso apenas aconteceu quando houve melhoria na eficiência técnica do setor. O processo de mecanização agrícola foi essencial para que esse avanço ocorresse, já que com ela foi possível uma melhor utilização dos insumos, além, da própria qualidade destes (DA SILVA; BARICELO; VIAN, 2015).

Inclusive, para Baricelo e Bacha (2013), o fato de uma máquina poder substituir boa parte de mão-de-obra no campo agiliza e torna os processos de plantio, cultivo e colheita muito mais eficientes; suprimindo também a escassez de pessoal devido ao êxodo rural durante a Revolução Industrial (VIAN; ANDRADE JÚNIOR, 2010).

Nos anos de 1950, o Brasil começou a modernizar sua agricultura, embora o aumento da produtividade agrícola se devesse mais à incorporação de novas áreas do que ao progresso tecnológico. Todavia, a agricultura brasileira só foi efetivamente integrada no contexto do desenvolvimento nacional nos anos de 1960 (AGUIAR e MONTEIRO, 2005). Atualmente, para enfrentar o desafio de produzir alimentos de forma sustentável e atender à crescente demanda, a agricultura necessita aumentar sua produtividade e expandir sua área de cultivo anual, extraindo o máximo valor de cada etapa do ciclo de produção. Sendo assim, para contribuir com esse sistema, deve-se integrar conhecimentos agrônômicos, vastos bancos de dados agrícolas (Big Data), tecnologias inovadoras de sensores, satélites entre outras.

3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Um das definições mais importantes e completas da Agricultura de Precisão diz ser uma nova forma de gerenciamento agrícola, fazendo parte desse modelo um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados para que as lavouras e os sistemas agrícolas sejam otimizados, tendo como elemento-chave, de fato, o gerenciamento da variabilidade espacial e temporal da produção e dos fatores associados (SWINTON; LOWENBERG-DEBOER, 1998).

Dito isto, o termo AP existe, fundamentalmente, há mais de 25 anos, mas as circunstâncias que levaram à sua origem são ainda mais de longa data. Desde que a agricultura existe e se documenta, sempre existiram razões para se diferenciar tratamentos culturais nos pastos, pomares e lavouras, devido às amplas diferenças específicas das áreas. Diante da necessidade de dar um novo foco para a agricultura, surgiu a AP (MOLIN, 2015).

Compreender como funciona o processo de agricultura como um todo pode não ser uma tarefa tão simples. Conforme Mazoyer e Roudart (2010, p. 71), “a agricultura se apresenta como um conjunto de formas locais, variáveis no espaço e no tempo, tão diversas quanto as próprias observações”. No Brasil, a atividade agrícola é uma das mais importantes para a economia devido aos recursos existentes no país, como terras produtivas e condições climáticas favoráveis. Por isso é indispensável o uso de tecnologias para melhorar todas as atividades, e assim, manter a competitividade e sustentabilidade em todo o agronegócio (CRUZ et al., 2014).

Segundo Molin (2012), para se praticar adequadamente AP é necessário acolher o fato e assumir o desafio de que a variabilidade espacial das lavouras é algo mais difícil do que

mapear e intervir em P, K, Ca e Mg, ou seja, podem existir muitos outros fatores que influenciam na variabilidade espacial de colheitas. Desta maneira, através da geoestatística, avalia-se a dependência espacial e a utiliza para interpolar valores para locais não medidos e, com isto, produz-se informações para construir mapas contínuos a partir da amostragem discretizada e para estruturar amostragens em função da variabilidade espacial.

As práticas de AP podem ser abordadas com objetivos distintos conforme o foco de cada produtor. Mas um fato é indiscutível: quanto maior o volume de dados coletados, mais consistente é a informação fornecida e posterior diagnóstico referente à variabilidade existente nas lavouras (MOLIN et al., 2015).

Tecnologias de AP já estão presentes no campo e técnicos e produtores rurais já a utilizam, sendo que, todo o conhecimento da variabilidade da produção e da sua qualidade é de suma importância para qualquer cultura, sejam as áreas de pequenas ou de grandes produções. Proprietários rurais que ainda possuem dificuldade a implantar novas tecnologias podem contar com empresas e especialistas no segmento, que irão adequar, ao longo dos próximos anos, as práticas com base na necessidade de cada produtor (MOLIN et al., 2015).

O uso de ferramentas automatizadas só obteve uma alavancagem melhor após os anos 80, quando primeiros mapas de produtividade foram empregados na Europa, e com as adubações automatizadas nos Estados Unidos. E, a partir daí, o emprego de técnicas e tecnologias com maior precisão colaborou para reduzir o impacto das atividades agrícolas de maneira considerável, contribuindo para a sustentabilidade dos biomas e ecossistemas. Além disso, são comuns os relatos sobre os benefícios econômicos do manejo localizado, sendo a maioria deles relacionados à utilização da taxa variável para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes (ROBERTSON; LYLE; BOWDEN, 2008), porém esses não são fáceis de serem mensurados. Inúmeras são as variáveis que influenciam na lucratividade final do empreendimento agrícola, não somente custos com a aplicação de tecnologias. Ao se tratar de agricultura, observa-se a interferência de questões climáticas, como disponibilidade de água, físicas, a formatação de relevo por exemplo, e químicas, como a fertilidade do solo.

Muitas empresas estão investindo cada vez mais em produtos e pesquisas para contribuir com soluções para o cultivo e outras atividades do campo, com o propósito de garantir lucros. Isso colabora muito para os agricultores, que estão cada vez mais em contato com os resultados das pesquisas e desenvolvimento, que sempre geram inovações e tecnologias. Isso explica o fato de o Brasil ter conseguido aumentar de forma considerável sua produção (LUIZ, 2013).

3.2.1 Ferramentas e Etapas

Com o advento da Revolução Verde, após a Segunda Guerra Mundial, os sistemas de produção agrícola passaram por grandes transformações, a introdução de nova fertilização, correção da acidez do solo, irrigação, uso de pesticidas, novas cultivares, mecanização e outras tecnologias (TILMAN et al., 2011). Também, com o passar dos anos, as áreas agricultáveis se tornaram cada vez mais extensas, fazendo com que a percepção de solo e cultura de cada gleba perdesse a visão com detalhes (MOLIN et al., 2015).

A fim de que as particularidades das lavouras continuem sendo levadas em consideração e para aperfeiçoar o desempenho da cultura e da qualidade ambiental, tecnologias são aplicadas, da mesma forma, para que se obtenha os gerenciamentos espacial e temporal associados a todos os fatores das atividades agrícolas (PIERCE; NOWAK, 1999). Dentre esses recursos, a Agricultura de Precisão demonstra-se como um conjunto de técnicas apropriado.

No início a AP, era majoritariamente associada ao Sistema de Posicionamento Global (GPS), sendo este um recurso para georreferenciamento de lavouras. Mais tarde passou a ser relacionada a gestão de lavouras e, mais tarde ainda, a Tecnologia de Informação (TI) (MOLIN et al., 2015). Logo, observa-se que as ferramentas que compõe o sistema evoluem no decorrer do tempo, sendo algumas delas essenciais e outras complementares.

Identifica-se quatro etapas básicas no sistema de AP, onde todas necessitam de ferramentas e recursos. A primeira é a amostragem de solo, isto é, toda a coleta georreferenciada de dados gerais de campo. Para esse momento deve ser definido a profundidade da camada amostral e a distância entre os pontos de coleta, o grid. Na sequência essas informações são processadas, fase em que erros são corrigidos, a variabilidade espacial dos elementos é identificada e mapas são gerados. Na terceira etapa observa-se a aplicação dos insumos de forma localizada, isto é, a máquina é controlada para que em cada ponto do talhão seja destinada a dose necessária, tal dose foi definida na fase anterior. E, por último, avaliam-se os resultados, sejam eles em forma de produtividade final da cultura ou uniformização da química do solo (SARAIVA; CUGNASCA; HIRAKAMA, 2000).

A aplicação de fertilizantes à taxa variável, vista na etapa três, ajusta a taxa de aplicação seguindo o mapa resultante do processamento de dados de campo, também conhecido como mapa de prescrição. A operação usa GNSS para determinar a posição na lavoura e um mapa com as doses de cada ponto. À medida que a máquina se desloca pelo talhão, a taxa é alterada automaticamente. Quando não se dispõe das ferramentas necessárias

para essa prática, aplica-se o insumo de forma fixa, ou seja, as doses se mantêm iguais em toda execução.

Segundo Grisso et al. (2011), para desenvolver mapa de prescrição a um local específico, uma grade de amostragem do solo que representa propriedades químicas do solo deve ser feita; com os resultados da análise do solo, o algoritmo que calcula a dose de fertilizante necessária à cultura deve ser criado; com esta dose, o mapa de prescrição que controla a taxa de aplicação da máquina é traçado. Xiang, Ji-Yun, Ping e Ming-zao (2008) listaram os benefícios econômicos da AP, a maioria dos quais estava relacionada ao uso de taxa variável na aplicação de fertilizantes para aumentar a eficiência dos insumos. Babcock e Pautsch (1998), ao transferir a técnica (aplicação de taxa fixa para variável), demonstraram modestos aumentos no rendimento da cultura de milho (Iowa, EUA), variando de US\$ 3,75 ha-1 a US\$ 18,35 ha-1.

Lambert e Lowenberg-DeBoer (2000) confirmaram a viabilidade econômica da técnica nos EUA, com base em 108 casos, mostrando a viabilidade de sua adoção. O estudo econômico indicou que 63% dos casos estudados, de fato, tiveram benefícios e resultados positivos através da adoção da técnica, 26% tiveram resultados incertos devido à variabilidade da gestão dentro dos campos e, por menos, um percentual de apenas 11% tiveram resultados negativos.

No caso de milho e soja, Bongiovanni e Lowenberg-DeBoer (2000) estimaram um aumento no rendimento anual de até US\$ 19,55 ha-1 usando aplicação de calcário de taxa variável. Yang, Everitt e Bradford (2001) relataram maiores rendimentos de sorgo com menor uso de nitrogênio e fósforo. Também mostraram que o tratamento de taxa variável teve um retorno econômico positivo por dois anos consecutivos (US\$ 27 ha-1 em 1997 e US\$ 23 ha-1 em 1998) em comparação com o tratamento de taxa fixa (YANG, EVERITT E BRADFORD, 2001).

Robertson, Lyle e Bowden (2008) encontraram ganhos entre 5 ha-1 e 44 ha-1 em 199 fazendas de grãos do oeste da Austrália utilizando o manejo localizado de nutrientes. Molin et al (2010) avaliaram a fertilização a taxa variável para as culturas de café: resultados foram uma redução de 23% na fertilização fosfática, um aumento de 13% na fertilização potássica e um aumento de 34% na produção no primeiro ano da avaliação. Já Lopes (2010) comparou a aplicação de fertilizantes a taxas variáveis com a prática convencional de fertilização em pomares de laranja durante 2 estações de produção. A fertilização a taxa variável economizou 230 kg ha-1 de nitrogênio, 5 kg ha-1 de fósforo e 257 kg ha-1 de potássio, o que mais que dobrou o rendimento nas áreas de estudo, indicando o potencial de utilização desta

ferramenta. Como se vê, estudos amplos sobre os micronutrientes foram avaliados ao longo dos últimos anos em diversas culturas.

Os resultados econômicos sugerem que a técnica de aplicação de fertilizantes de taxa variável não pode ser generalizada e requer um estudo detalhado de cada caso, tanto em termos do processo de decisão para aplicação de insumos quanto da interpretação dos resultados financeiros (MOLIN, 2001). Com tudo isso, espera-se que mais pesquisas sejam desenvolvidas para fornecer as informações necessárias para que o agricultor estimule o interesse nesta técnica e a reconheça como mais uma ferramenta no processo decisório (SILVA et al., 2007).

3.3 MANEJO DO SOLO EM ÁREAS DE ABERTURA

Além de ter sido destaque nos anos 50, atualmente a abertura de áreas para cultivo agrícola no Brasil ainda possui visibilidade. Por dispor de território e interesse em as tornar produtivas comercialmente, o meio rural busca informações que auxiliem no reconhecimento químico e físico dessas áreas e, posteriormente, nas tomadas de decisões (CECCON et al., 2013).

Hoje, um processo é amplamente utilizado no momento da abertura de lavoura para primeiro cultivo. Ele inicia com a limpeza da área e, se necessário, será feita a retirada de troncos, árvores, pedras e o nivelamento do terreno. Caso haja cultura de baixo porte, pode ser feita a incorporação de seus restos ou deixá-los na superfície para que formem palhada, ambos processos desencadearão aumento de matéria-orgânica do solo (MOS) (CECCON et al., 2013). A MOS apresenta capacidade de modificar relações físico-químicas do solo, alterando, como fato, a disponibilidade de micronutrientes e, dessa forma, aumenta as relações entre microrganismos do solo e sua fauna edáfica (DHALIWAL et al., 2019).

Na sequência, conforme Cecco et al. (2013), muitos fazem o plantio de culturas com baixa exigência nutricional, como a do gênero *Brachiaria*. A *Brachiaria ruziziensis* (*B. ruziziensis*) é a espécie da gramínea mais indicada devido suas características de rápido crescimento inicial, qualidade da forragem, boa cobertura de solo e facilidade de manejo a implantação de soja na subsequência. Também atua como condicionante do solo, melhorando propriedades físico-químicas e biológicas e, conseqüentemente, auxiliando na estruturação das camadas (DHALIWAL et al., 2019).

De acordo com o pesquisador Lourival Vilela (2018), o diferencial da braquiária em comparação à outras forrageiras tropicais é que ela é menos exigente em termos de fertilidade e, portanto, adapta-se melhor aos diferentes solos. Possui um sistema radicular bastante eficiente, com raízes que alcançam até 4 metros de profundidade. Isso faz com que ela seja uma excelente recicladora de nutrientes do solo, conforme é afirmado pelo autor (VILELA, 2018).

Além do preparo horizontal, é necessário que o solo seja verticalmente corrigido a receber o primeiro cultivo comercial. Para isso, podem ser feitas análises químicas que quantificarão o estado nutricional da área. A partir desse ponto é que surgem dúvidas quanto a quais condutas são mais adequadas para garantir aproveitamento dos recursos positivo (VILELA, 2018).

Na literatura, muitos são os estudos de caso e experimentos demonstrando o desempenho das culturas e os benefícios da Agricultura de Precisão em lavouras que já receberam algum tipo de manejo, correção de solo ou semeadura prévia. Escassos são os conteúdos e ensaios que consideram essa tecnologia em áreas de primeiro cultivo agrícola.

Áreas novas, como também são chamadas lavouras de primeiro cultivo, são, em sua maioria, quimicamente pobres e responsivas a adubações e correções. Em um trabalho de campo feito na Embrapa Pecuária Sul (2016), Bagé/RS, em área de campo nativo, foi aplicada de forma fixa adubação nitrogenada, fosfatada e potássica e, posteriormente, observou-se uma resposta positiva da cultura, caracterizando-se pela regeneração da área.

Geralmente a calagem é a primeira interferência química feita. Esta consiste numa prática comum na agricultura brasileira porque a maioria dos solos é altamente corroída e perdeu sua fertilidade natural. Como resultado, são solos ácidos, pobres em bases permutáveis e deficientes na maioria dos nutrientes essenciais. O uso de calcário ajuda a aumentar o pH do solo, porém, quando este é muito baixo, diversos fatores afetam negativamente todo o desenvolvimento vegetal. Além de reduzir parte da disponibilidade de alguns nutrientes, principalmente cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), fósforo (P) e molibdênio (Mo), os valores baixos de pH favorecem o aumento da concentração de alumínio (Al) na solução do solo (ERNANI et al., 1996). A toxicidade por Al é considerada um problema em solos ácidos (FOY et al., 1978; ANIOL, 1990; BENNET; BREEN, 1991) por representar fator limitante de crescimento para as plantas (FOY & FLEMING, 1976).

Mudanças no perfil químico do solo podem influenciar os seus atributos físicos, modificando o comportamento eletroquímico dos coloides (ALBUQUERQUE et al., 2003). O grau em que a calagem modifica a estrutura do solo depende da solubilidade do material

adicionado, do tamanho das partículas e da capacidade de amortecimento do solo (HOLLAND et al., 2018), além da dose aplicada. Quando usado corretamente, acredita-se que o calcário promove melhores condições de crescimento das plantas; conseqüentemente, culturas produzirão mais biomassa, tanto acima do solo quanto na raiz, resultando em uma melhor agregação do solo. O calcário também favorece a atividade microbiana, melhorando a qualidade estrutural do solo e reduzindo a erosão, graças à produção de polissacarídeos que constituem um agente cimentador (ARANTES; LAVORENTI; TORNISIELO, 2007). O estudo de solos salinos realizado por Bennett et al (2014) mostrou que os efeitos da calagem sobre propriedades físicas do solo ainda eram evidentes 12 anos após a última aplicação de calcário.

Elementos básico-essenciais ao desenvolvimento de plantas, macronutrientes são necessários em maior volume, quando comparados aos micronutrientes. Como exemplos desses, tem-se como protagonistas: o fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

O fósforo é o nutriente mais limitante a produção agrícola nas regiões tropicais (RAIJ, 1991; NOVAIS e SMYTH, 1999). Os solos nos trópicos, por estarem sujeitos a condições climáticas intensas, têm um grande número de locais de adsorção, ricos em Fe e Al e um pH baixo. Quando fertilizantes fosfatados são aplicados no solo, após a dissolução, uma grande parte do P é retida na fase sólida, formando compostos menos solúveis, e apenas uma parte do P é utilizada pelas plantas. A extensão desta recuperação, que depende principalmente das espécies de culturas, é afetada pela textura, pelo tipo de minerais argilosos e pela acidez do solo. Além disso, a dose, fonte, granulometria e forma de aplicação do fertilizante também influenciam este processo (SOUZA; LOBATO, 2004).

Quanto maior a acidez e teor de argila, e quanto maior a presença de óxidos de Fe e Al, mais intenso o processo de fixação de P em solo tropical (RAIJ, 1991; NOVAIS; SMYTH, 1999). O fósforo tende a formar compostos de baixa solubilidade com ferro, alumínio e cálcio (YAMADA et al., 2004).

Nas plantas, o fósforo desempenha papel fundamental na formação de ATP (Trifosfato de Adenosina), sendo ela a principal fonte de energia para a realização de processos como a fotossíntese, divisão celular, transporte de assimilados e carga genética. O elemento também é, de fato, essencial para todo o crescimento vegetal e nas fases de floração e formação de sementes (YAMADA et al., 2004).

De acordo com Dematê (2005), melhores fontes de fosfato a serem utilizadas na

cultura da cana de açúcar são os fosfatos solúveis e os termofosfatos. Entretanto, estudos elencam bom desempenho de fosfatos reativos naturais, quando utilizados como parte de uma fertilização corretiva, levando a um aumento no conteúdo de P no solo e a ganhos de produtividade das culturas em questão (FIGUEIREDO FILHO, 2002; ROSSETO et al., 2002; ZANCANARO et al., 2002).

Tratando-se do macronutriente potássio (K), a disponibilidade para as plantas depende da quantidade e relação entre as formas de K trocável e de K em solução, parâmetro quantidade e intensidade, respectivamente. Trabalhos são encontrados na literatura descrevendo o equilíbrio do potássio no solo em termos dos parâmetros quantidade e intensidade (GOEDERT et al., 1975).

A solubilidade do elemento é diretamente influenciada pela Capacidade de Troca de Cátions do solo (CTC), em que o cálculo das doses de K a serem aplicadas considera a CTC_{ph7} (NACHTIGAL; VAHL, 1989).

Como a capacidade de suprimento de K para as plantas pode variar de acordo com as formas deste nutriente nos solos (MENGEL; RAHMATULLAH, 1994) e como estas formas são influenciadas pelo material de origem (NACHTIGAL; VAHL, 1989), faz-se necessário estimar a capacidade de suprimento de K dos solos. Informações desta natureza, de fato, permitirão estabelecer a capacidade atual dos solos em suprir K para as plantas, as necessidades de doses de correção e também, não por menos, conhecer a dinâmica no solo.

Através de estudos feitos por Bidwell (1974), sabe-se que o potássio não tem função estrutural na planta, mas está envolvido em inúmeras reações na forma de catalisador. Nesse papel, participa da síntese de proteínas, da respiração celular e do metabolismo de carboidratos (MEYER et al., 1973). O autor também demonstra que o elemento assessora funções regulatórias, como o controle de abertura e fechamento dos estômatos. Já que os estômatos ajudam a regular a perda de água das plantas, o K, por sua vez, auxilia na diminuição das perdas de água e, conseqüentemente, aumenta a tolerância das culturas às secas.

Entre os nutrientes, o enxofre (S) se aproxima funcionalmente do nitrogênio (N). Ainda que a quantidade de S nas plantas seja de 3 a 5% da quantidade encontrada de N, ambos compartilham grande versatilidade em reações de oxidação-redução, atributo esse que os torna fundamentais no metabolismo das plantas. Além disso, o enxofre é constituinte de aminoácidos e de várias coenzimas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; MEYER et al., 1973).

Devido a sua participação em vários compostos e reações, a carência de S provoca

série de disfunções metabólicas. Devido a diminuição na síntese de proteínas e açúcares ocorre redução no crescimento da planta. O sintoma visual da deficiência de S é a clorose nas folhas, aparência devido a redução na síntese das proteínas que interferem na produção de complexos clorofila-proteínas estáveis (PAULINO et al., 2015). Esses ligam as moléculas de clorofila nas membranas do cloroplasto que, por sua vez, é organela responsável pela fotossíntese na planta.

O cálcio (Ca) é um elemento essencial primário, que é disponibilizado pelo uso do calcário que, além de tornar o cálcio disponível, é responsável pelo aumento do pH. Klaus (2007) considera que o Ca é um importante nutriente vegetal e que sua remoção por culturas e lixiviação leva à acidificação do solo. Além disso, Ca melhora a estrutura do solo, a permeabilidade, a infiltração de água e ajuda a planta a resistir ao estresse da salinidade do solo (KLAUS, 2007).

O magnésio (Mg) é um macronutriente secundário utilizado pelas plantas e sua principal função é ser o átomo central na molécula de clorofila, responsável pela absorção de luz e pela transferência de energia na fotossíntese. O magnésio também promove o acúmulo de sacarose nas folhas, amplificando a adição de açúcar nos tecidos de reserva. De acordo com Melo (2010), o Mg é um elemento móvel na planta, por isso, os sintomas de deficiência aparecem nas folhas maduras. Os níveis podem ser fornecidos pela distribuição de calcário dolomítico e gesso agrícola.

Exposto este entendimento, é importante salientar que todo o reconhecimento da distribuição espacial de propriedades químicas do solo é de grande importância para a escolha dos manejos culturais (SANTOS et al., 2003), e não há momento em que a literatura discorde de tal fator. Assim sendo, a compreensão e a classificação da variabilidade e dos seus efeitos na produtividade das culturas são componentes importantes para o gerenciamento de sistemas agrícolas (JIANG; THELEN, 2004). Por meio do mapeamento dos atributos do solo, é possível a identificação de regiões de maior homogeneidade, permitindo, assim, que as práticas agrônômicas possam ser transferidas para ambientes semelhantes (SIQUEIRA et al., 2010).

Ao longo do relevo, atributos químicos do solo distribuem-se de forma irregular, e isso se dá pelas alterações provocadas pelo sistema de manejo agrícola adotado (SOUZA et al., 2008) e pelas modificações espontâneas executadas pelo ambiente. Dessa forma, constatemente, buscam-se informações que possam orientar o meio rural quanto ao comportamento da química do solo e auxiliar nas escolhas das práticas agrícolas. Tratando-se

– especificamente – de áreas de primeiro cultivo comercial, as referências são poucas e este estudo procura fomentar o assunto, trazendo, assim, um estudo holístico sobre a Agricultura de Precisão (AP) para os processos atuais. E dito isto, na seção em frente, apresentam-se os aportes metodológicos que elencam e evidenciam a metodologia da pesquisa em campo realizada. Logo após, tem-se os resultados e discussão.

4 METODOLOGIA

4.1 NATUREZA DA PESQUISA

Trata-se de uma pesquisa aplicada. A pesquisa aplicada é definida como um conjunto de atividades criativas realizadas de forma sistemática tanto para aumentar o corpo de conhecimento (relacionados ao homem, cultura e sociedade), quanto para usar esse conhecimento para novas aplicações (LAKATOS; MARCONI, 2014).

Para tanto, utiliza-se das bases da pesquisa básica, considerada uma atividade experimental ou teórica que tem por finalidade a expansão do conhecimento, para a qual não se vislumbra uma aplicação ou uso específico sobre algum determinado objeto. 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. Esta é um tipo de pesquisa em que a interpretação numérica e a generalização podem ser feitas a partir da adesão a um questionário pré-preparado ou de dados gerais colhidos em campo. 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).

Nesse método, questiona-se o sentido da ideia do universo da pesquisa sobre o objeto de pesquisa que, para este estudo, é definido sobre a utilização da AP nas áreas de abertura, como previamente salientado. Isto posto, mais do que uma análise intensiva sobre o tema, na análise quantitativa determinam-se representações numéricas, com avaliação gráfica e objetiva, sem subjetividade à luz da interpretação pessoal do autor (GIL, 2008).

Nesse horizonte, tem-se aqui uma pesquisa aplicada (com fundamentação na pesquisa básica – referencial teórico) com vertente quantitativa de análise. Este se mostrou o método de melhor apropriação em face do objetivo da pesquisa de campo que foi realizada perviamente. Considerando estas perspectivas e também as noções de contextualização, a subseção a frente apresenta os materiais que foram utilizados bem como os métodos de processamento e análise e os documentos de referência utilizados nesta pesquisa.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento e elaboração deste estudo, teve-se colaboração da Drakkar Solos Consultoria Ltda, empresa especializada em Agricultura de Precisão, com influência em mais de quatro milhões de hectares no Brasil. Foram utilizados resultados laboratoriais de coletas de solo realizadas pelos colaboradores da Drakkar em três cidades distintas, sendo elas Posses/Goiás, Dourados/Mato Grosso do Sul e Santo Ângelo/Rio Grande do Sul.

A amostragem de solo foi feita pela metodologia manual, com pá de corte, e na profundidade de 0-20 cm do solo. Cada amostra foi composta por mais 5 sub-amostras coletadas em um raio de 10 metros ao redor do ponto central georeferenciado. Todas 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 análise estatística.

As análises estatísticas foram feitas por meio do *Teste T de Student* ao nível de 5% de probabilidade (conforme APÊNDICE A). Anteriormente foi realizado o teste de normalidade, comprovando que o conjunto de dados segue uma distribuição normal. Todos os dados passaram por análise no software R[®], resultando nas análises gráficas. Conforme o que foi discutido através do referencial teórico desta pesquisa, os elementos de fertilidade de foco deste estudo foram fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), argila, CTC_{pH7}, pH, alumínio (Al), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Em todas as localidades obteve-se amostras de áreas de abertura e de áreas manejadas anteriormente à execução da coleta de solo, sempre com a finalidade de comparação de resultados laboratoriais. Por essa razão foram escolhidas essas cidades, a proximidade espacial das duas situações consideradas foi decisiva, diminuindo a interferência de outros fatores como por exemplo a classificação de solo. Na cidade de Posses/GO, Latitude 14° 4' 56" Sul, Longitude 46° 22' 40" Oeste, foram coletados um total de 180 pontos em área de cultivo agrícola e 640 em áreas de abertura. Em Dourados/MS, Latitude 22° 13' 18"

Sul, Longitude 54° 48' 23" Oeste, 70 pontos em lavouras que já receberam manejo químico e outros 224 em lavouras que irão receber cultura anual pela primeira vez. E, por fim, em Santo Ângelo/RS, Latitude 28° 18' 1" Sul, Longitude 54° 15' 49" Oeste, foram analisados 161 pontos em talhões já cultivados e 24 em áreas de abertura.

Importante ressaltar que em nenhum talhão foram aplicadas técnicas de AP, como, por exemplo, correção de solo à taxa variável. Os 411 pontos coletados em lavouras cultivadas receberam aplicações de insumos à taxa fixa e cultivos comerciais, sem embasamento em análise de solo anterior. Já os 888 pontos de coleta em áreas de abertura não tiveram qualquer tipo de manejo químico de solo.

O grid de amostragem, ou seja, a distância georeferenciada entre os pontos coletados, foi de 5 ha no MS e RS e de 3 ha em GO. No presente trabalho não foram estudadas a dinâmica e influência exclusivamente do grid na decisão quanto a adoção de técnicas de AP em áreas de abertura, tendo em vista que o foco central é a avaliação de níveis de nutrientes no solo.

Para análise dos dados, como literatura de referência para interpretação de resultados amostrais, utilizou-se o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, 2016, para as áreas do estado do RS, para a região de GO buscou-se auxílio no livro Cerrado Correção do Solo e Adubação, 2004 e, para o estado do MS o Boletim 100, 2022. É a partir destes dados e também das literaturas recorrentes ligadas com a temática que as discussões são realizadas e apresentadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quanto ao *Teste de T de Student*, foram comparadas duas situações, ou seja, duas hipóteses. Nesse horizonte, a Hipótese 1 é referente aos resultados de fertilidade em área de abertura enquanto a Hipótese 2 se refere aos resultados de fertilidade em área já manejada quimicamente. A este caso, analisaram-se as hipóteses em cada um dos seguintes elementos: pH, Ca, Mg, P, Argila, CTC_{pH7}, Al, K e S. Todos os testes resultaram em valor menor do que 5%, ou seja, as hipóteses diferem estatisticamente, logo, não há necessidade de hipótese alternativa.

A única exceção encontrada foi relacionada a CTC_{pH7}, exclusivamente para as áreas do RS, que não apresentaram resultado <5%. Após toda a comprovação de diferença entre as

hipóteses, seguiu-se para a análise visual dos resultados gráficos onde cada elemento é discutido especificadamente.

Importante mencionar que, ao título de análise dos manuais previstos, utilizou-se do trabalho de CQFS-RS/SC (2004), subscrito por Gianello; Wiethölter (2004) para avaliar os procedimentos com macronutrientes, sobre rendimento relativo. O manual prevê a seguinte interposição:

Figura 1: Avaliação do Rendimento e Teor de Nutriente

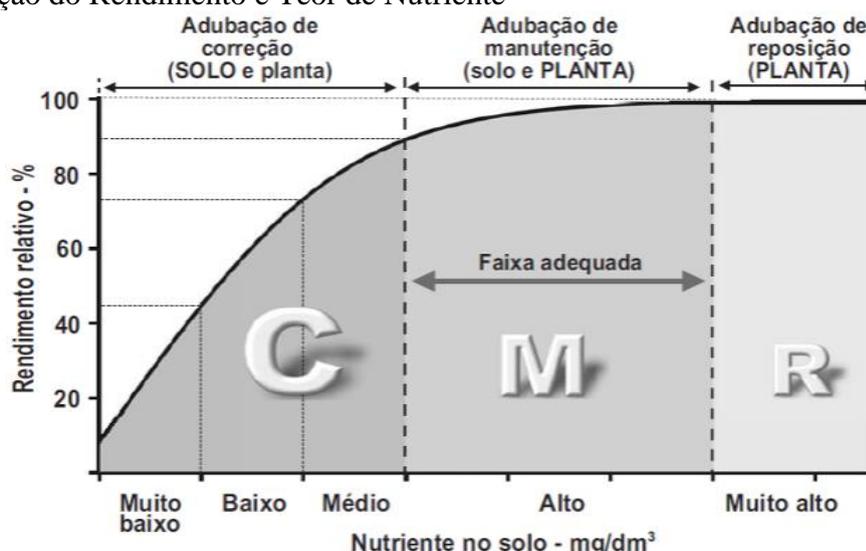


Figura 01. Relação entre o rendimento relativo de uma cultura e o teor de um nutriente no solo e as indicações de adubação para cada faixa de teor no solo

Fonte: Retirado de Gianello; Wiethölter (2004)

Conforme a Figura 1, em que se busca a faixa adequada para a análise, esta pesquisa realizou uma discussão separada em 4 grupos, onde em cada um há uma correlação entre os elementos apresentados. Para além, em todos há a correlação do nível de cada elemento em **ÁREA DE ABERTURA X ÁREA CULTIVADA**. Como dito, a correlação foi feita por Test T e apenas CTC_{pH7} (RS) que não apresenta diferença, significativa.

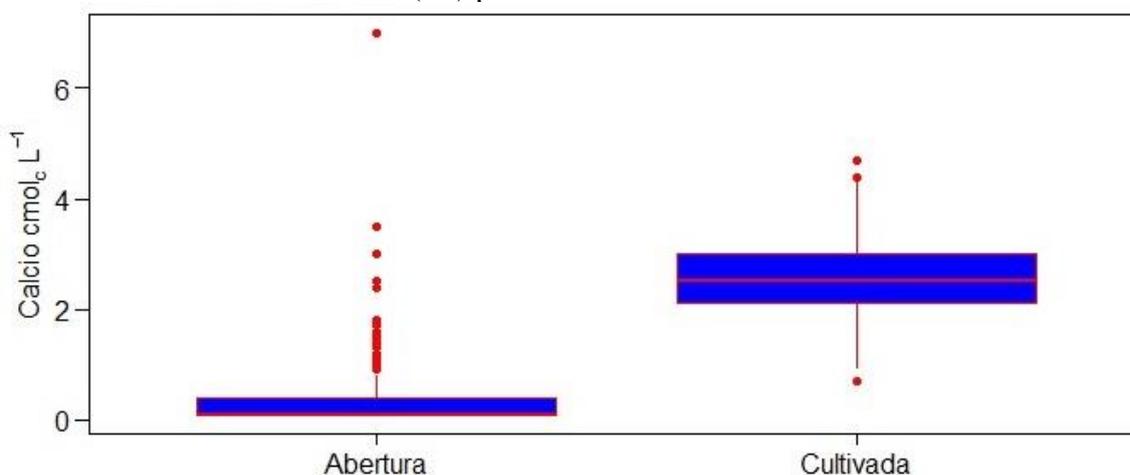
5.1 CÁLCIO, MAGNÉSIO, ALUMÍNIO E pH

Substancialmente, a calagem é a aplicação de materiais ricos em cálcio (Ca) e magnésio (Mg), entre outros, incluindo margá, giz, calcário, cal queimada e/ou cal hidratada. Em solos ácidos, esses materiais reagem como base e neutralizam a acidez do solo (MALAVOLTA, 2012), o que potencializa o resultado das culturas, onde “a maioria das culturas se desenvolvem melhor na faixa de pH situada entre 5,5 e 6,5 (solos levemente

ácidos)” (MALAVOLTA, 2016, p. 108). Nesse sentido, examinam-se os resultados para ÁREA DE ABERTURA e para ÁREA CULTIVADA desses elementos, iniciando pelo cálcio (Ca), em Posses/GO, onde os dados são expressos no Gráfico 1.

Todos os gráficos serão expressos através de diagrama de caixa, ilustrando o conjunto de dados identificados com a cor azul. A base e o topo da caixa são delimitados pelo primeiro e terceiro quartil, e a linha vermelha no interior representa o segundo quartil, ou seja, a mediana dos dados. As linhas vermelhas verticais retratam os limites do conjunto de dados, mínimo e máximo, e os pontos de dispersão são identificados como *outliers*, valores discrepantes que estão fora de um intervalo definido, altos demais ou baixos demais.

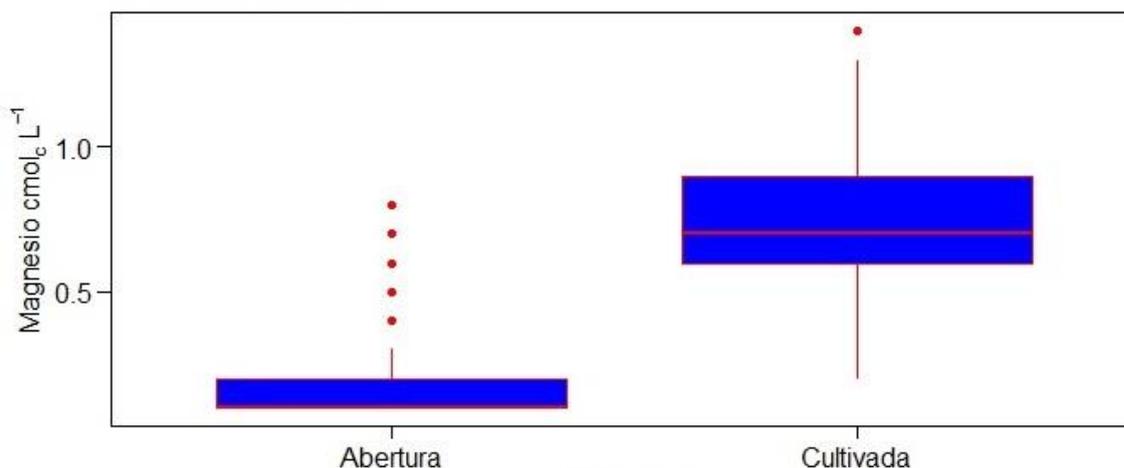
Gráfico 1: Resultados de cálcio (Ca) para Posses/GO



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Conforme Gráfico 1, a concentração de cálcio (Ca) dentro da área cultivada foi significativamente maior (concentração a 2 e 3,5) que na área de abertura (concentração entre 0,1 e 0,5). Isto exige, conforme previsto pela Embrapa (2014), um valor alto de correção para área de abertura, tendo em vista que o valor mínimo para a região (1,5). Na relação com os dados de magnésio, amplia-se esta análise com o Gráfico 2, onde apresenta-se as concentrações encontradas.

Gráfico 2: Resultados de Magnésio (Mg) para Posses/GO



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Como observado no Gráfico 2, o teor de magnésio (Mg) também foi baixo para o caso da área de abertura ($<0,2$) enquanto que a área cultivada apresentou um valor entre 0,5 e 0,9 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$). Para o manual da Embrapa (2014, p. 83), “a relação entre os teores de Ca e Mg no solo, em $\text{cmol}_c / \text{dm}^3$, deve situar-se no intervalo de 1:1 até o seu máximo de 10:1, observado o teor mínimo de 0,5 $\text{cmol}_c / \text{dm}^3$ de Mg”. No caso da região de Posses/GO, nem o valor mínimo de Cálcio (Ca) – 1,5 – nem o valor mínimo de Magnésio – 1,5 – foram encontrados na área de abertura.

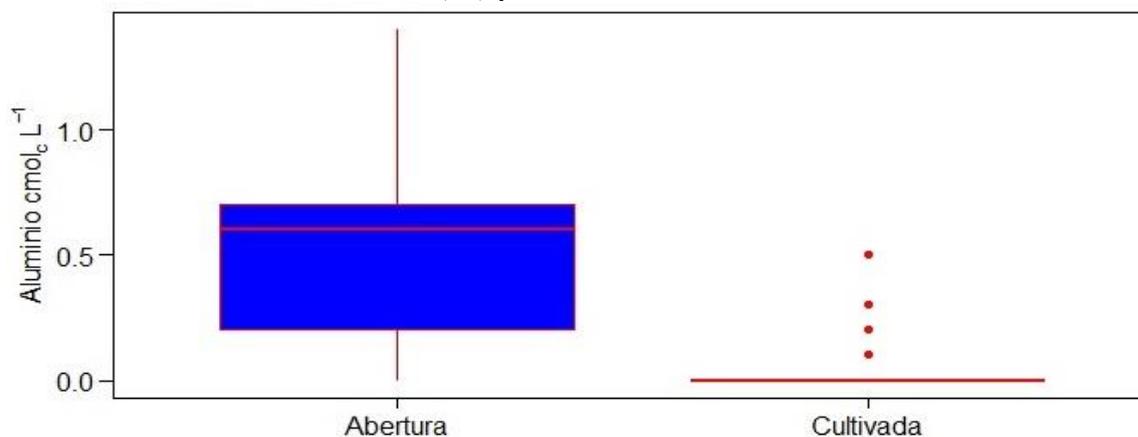
As escalas de valores assumidas no Gráfico 1 – entre 0,1 e 0,2 – e no Gráfico 2 – entre 1,5 e 2,5 – não apresentam a demanda mínima para a região. E, ao mesmo tempo, a região que foi manejada quimicamente tornou valores respectivos, para ambos os casos, de 2 e 3,5 e 0,5 e 0,9 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$). Muito embora para o segundo caso os valores mínimos estabelecidos não tenham sido observados, nota-se que há uma demanda menor para as áreas cultivadas e maior variação entre os níveis de Mg. Dessa forma, justifica-se a adoção de técnicas de Agricultura de Precisão para aplicar as doses de forma variável em cada ponto do talhão, com elevada chance de retornos produtivos e uniformização da química do solo.

Devido a AP exigir maquinário especializado e alto investimento inicial na contratação de serviços, por exemplo, dificulta sua utilização nas áreas de abertura, pois nestas verificou-se necessidade de alta dose de correção e pouca variabilidade nutricional entre os pontos coletados.

Conforme Cochrane & Azevedo (1988), a correção da acidez superficial (0-20cm) se faz necessária para obter melhores produtividades das culturas e maior eficiência no uso da água e nutrientes. Rai (2011) especifica que, de fato, o controle de magnésio e cálcio, muito embora essenciais, não podem ser revisitados sozinhos para controle de pH. O teor de

Alumínio influencia diretamente resultados químico-constitutivos do solo (via saturação) e são expressos, para a região de Posses/GO, conforme o Gráfico 3.

Gráfico 3: Resultados de Alumínio (Al) para Posses/GO



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

A análise do alumínio (Al) se faz inversalmente proporcional às demais, devido à sua toxicidade para os cultivos (DIAS-FILHO, 2014). Conforme observado no Gráfico 3, o teor de Al observado na área de abertura esteve entre 0,3 e 0,7 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$. Para o caso da área cultivada os resultados foram tendentes a 0. Assim, tem-se que o manejo à taxa fixa feito anterior às coletas de solo foi capaz de reduzir os níveis de alumínio tóxico.

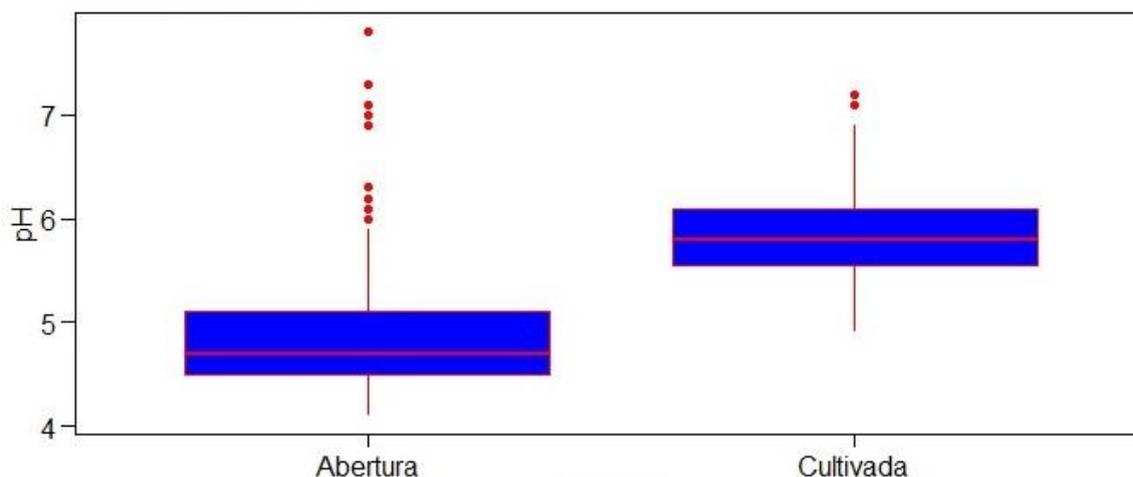
De acordo com a Embrapa (2014), os teores de saturação por alumínio acima de 30% causam limitações em culturas perenes, entre 30 e 50% é considerado um grau médio de toxidez, acima de 50% o solo apresenta uma toxicidade alta, sendo necessário uma correção imediata.

Para o caso avaliado, devido aos dados relacionados com Mg e Ca, que são bases gerais do cálculo de saturação, pode-se perceber que a área de abertura apresenta teor alto de alumínio (0,3 e 0,7 $\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$), com saturação previa <50%. Este fato soma-se a alta exigência de Mg e Ca para a estabilização da área, o que não ocorre nas áreas cultivadas, em que o resultado foi tendente a zero, que, conforme é assumido pelo Embrapa (2014), pode indicar um solo eutrófico (alumínio nulo). Isto torna, novamente, a entender que não há alta eficiência no uso de AP nesse momento, tendo em vista que as doses para elevar os níveis de fertilidade nas áreas de abertura são altas, especificamente a calagem para auxiliar na neutralização do alumínio tóxico.

Dessa forma, como é assumido por Santos (2010), para realizar a correção do alumínio (Al), “o insumo mais utilizado à camada superficial do solo é o calcário, que reduz o pH”

(SANTOS, 2010, p. 18). Assim sendo, fechando as primeiras análises relacionadas a calagem, o Gráfico 4 apresenta os resultados do pH.

Gráfico 4: Resultados de pH para Posses/GO



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

O relatório Embrapa (2014, p. 81) expressa que o crescimento das raízes das plantas é reduzido na presença de excesso de alumínio (Al), sendo igualmente afetado pela deficiência de cálcio (Ca). Isto se desenvolve especialmente em face do pH da área que, em consequência, torna-se baixo, ou seja, ácido, e reduz as possibilidades de transferência de recursos entre o solo e as culturas (DIAS-FILHO, 2014). Os dados observados no Gráfico 4, em analogia, representa uma consequência dos resultados observados nos outros três gráficos apresentados para a região de Posses/GO: o pH da área de abertura se encontra – entre 4,5 e 5,0 – inapropriados (baixo conforme Embrapa) para o cultivo, necessitando de intervenções. Já o caso da área cultivada, o pH se manteve exatamente no equilíbrio salientado para a região: 5,6 e 6,3.

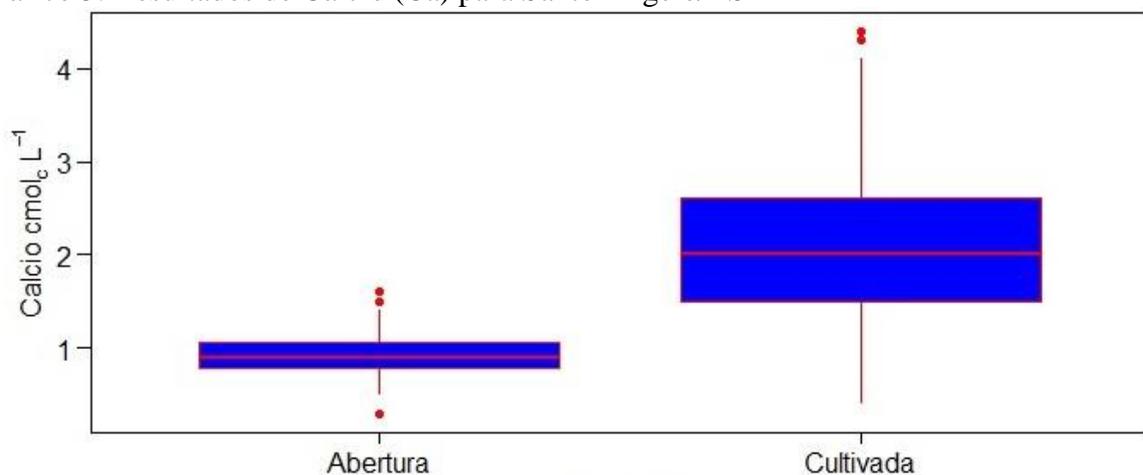
Importante mencionar que o cálculo de necessidade de calcário é feito com base no pH do solo, teores de Ca e Mg. Existe, assim, uma relação direta entre estes quatro indicadores avaliados. Isto porque o baixo pH implica em maiores níveis de concentração de Al^{+3} , o que, por sua vez, implica em menor quantidade de Ca e Mg (que tornam o ambiente básico) e, assim, menor quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas, dentre eles o fósforo (P). Como consequência, o P disponível em menor quantidade reduziria a possibilidade de transição destes componentes para as culturas (QUAGGIO, 2010).

Em pH baixo, o hidrogênio (H^{+}) atua sobre os minerais liberando íons alumínio (Al^{3+}) que ficam predominantemente retidos pelas cargas negativas das partículas de argila

do solo, em equilíbrio com o Al^{3+} em solução. Assim, a quantidade de Al^{3+} em solução aumenta com a acidez do solo (BOHNEN, 1995). Para diminuir a acidez do solo, aplica-se calcário. Nesse caso, indica-se o calcário dolomítico, pois ele tem Ca e Mg na sua composição, suprimindo a necessidade de ambos elementos. Em alguns casos, a acidez ativa (pH) é alta mas não ocorrem os mesmos danos às plantas pelo Al^{3+} livre. Devido a isto, a análise buscou avaliar as correlações entre estes três componentes e o pH, que não resultaram em mudanças de visão quando se fala nas análises de Santo Ângelo/RS e Dourados/MS, visto em frente.

Os dados relacionados por Santo Ângelo/RS e Dourados/MS são subscritos a partir do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que foi estabelecido pelo Núcleo Regional Sul – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2016) e pelo Boletim Técnico 100, Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo – Instituto Agrônomo Campinas IAC (2022), respectivamente. Para tanto, seus resultados são observados conjuntamente a partir de uma perspectiva especializada. Os Gráfico 5 e 6 trazem os dados da Ca.

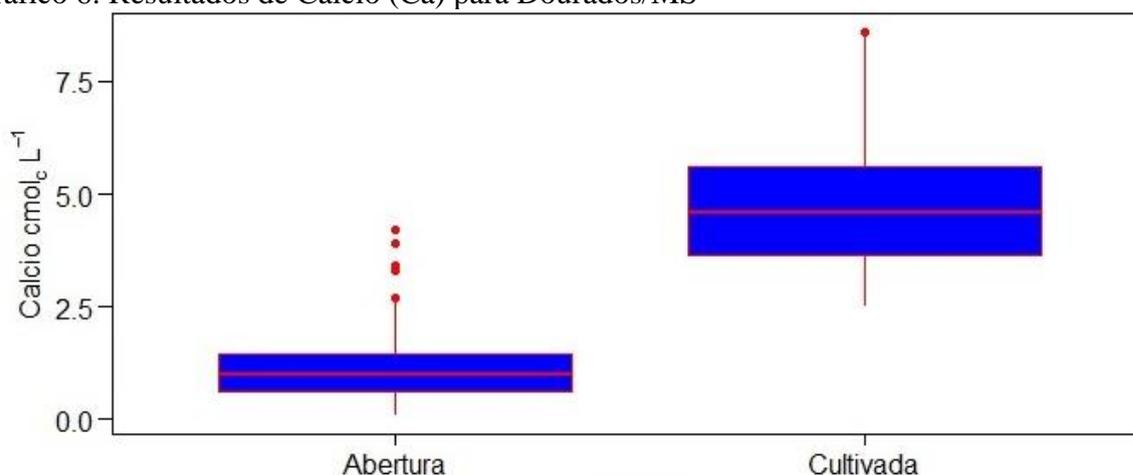
Gráfico 5: Resultados de Cálcio (Ca) para Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Conforme dados do Gráfico 5, na área de abertura, a concentração se manteve entre os valores de 0,9 e 1,1 ($cmol_c L^{-1}$). Já para a área cultivada, os dados estatísticos retornaram entre 1,5 e 2,7 ($cmol_c L^{-1}$). Dados relativamente próximos foram obtidos para a região de Dourados/MS, como visto a frente.

Gráfico 6: Resultados de Cálcio (Ca) para Dourados/MS

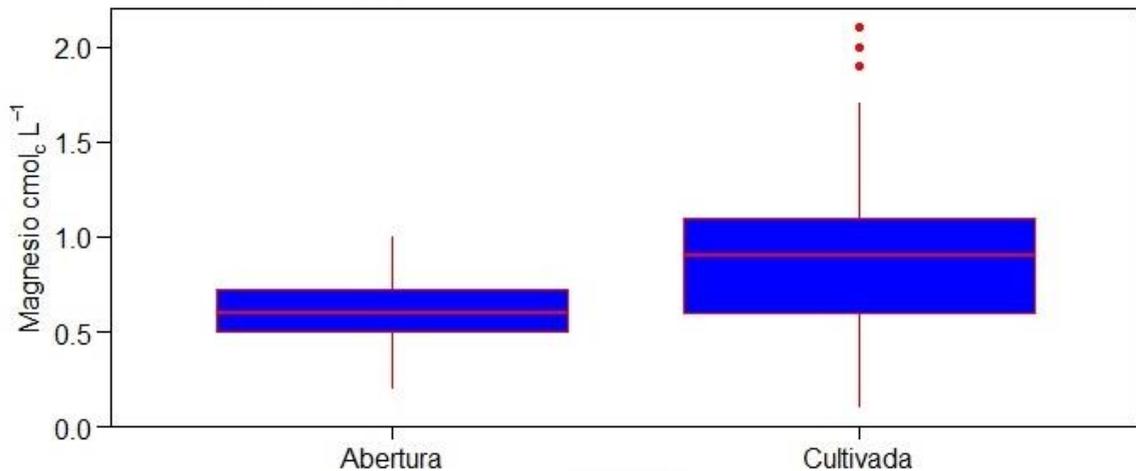


Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Conforme dados do Gráfico 6, na área de abertura, a concentração se manteve entre os valores de 0,1 e 0,2 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$). Já para a área cultivada os dados estatísticos ficaram entre 3,1 e 5,2 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$). Ambos os resultados, para as duas regiões, referem que a concentração de Cálcio (Ca) foi significativamente menor na área de abertura, necessitando de maior volume corretivo. Isto fica mais claro quando verificamos os requisitos mínimos afirmados pelos manuais utilizados, que assume a existência de baixa disponibilidade no solo quando da ocorrência de ($<2,0 \text{ cmol}_c / \text{dm}^3$). Desta forma, pode-se perceber que a área de Dourados/MS tanto quanto de Santo Ângelo/RS estão abaixo de requisitos mínimos pré-estabelecidos. O Boletim 100 (2022) especifica que os teores de Ca, que predominam no complexo de troca ou CTC do solo, são melhor interpretados por meio da saturação deles na CTC do solo. Será visto à diante. Já a área cultivada encontra-se dentro dos parâmetros médios – 2,0 – 4,0 $\text{cmol}_c / \text{dm}^3$ – que são estabelecidos para a região.

Os resultados de Mg são vistos nos Gráficos 7 e 8, que também apresentam alinhamento entre as amostras que aqui foram analisadas.

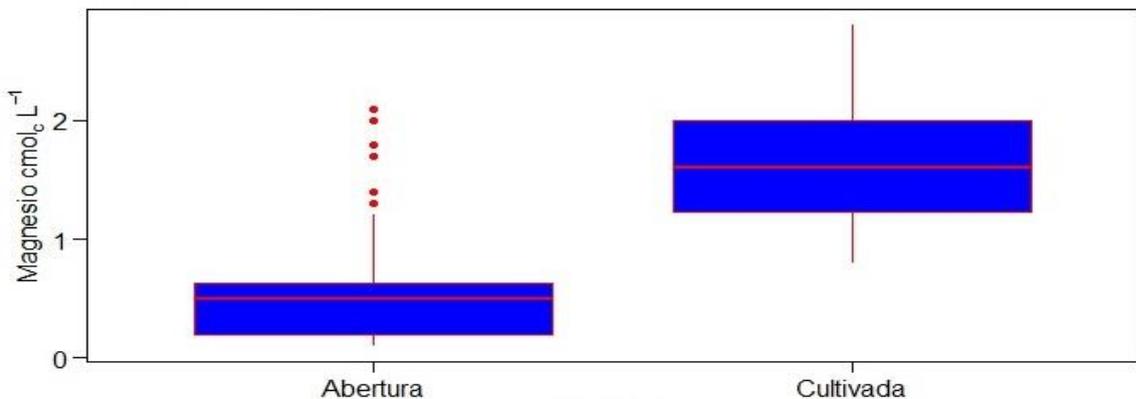
Gráfico 7: Resultados de magnésio (Mg) para Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Conforme o Gráfico 1, a concentração de Mg encontrada na área de abertura se apresentou entre 0,5 e 0,75. Já para a área cultivada os valores foram em maior retorno, entre 0,75 e 1,2. Não houveram picos de heterogeneidade como foi o caso dos resultados em Dourados/MS, visto em frente.

Gráfico 8: Resultados de magnésio (Mg) para Dourados/MS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

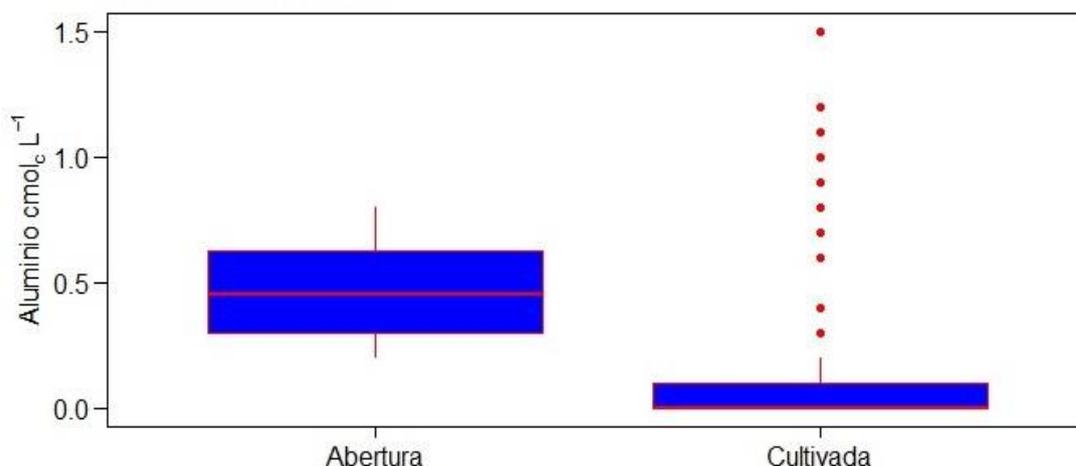
Na região de Dourados/MS, os resultados totais para a área de abertura apresentaram dados heterogêneos, mas ainda assim com concentração de valores entre 0,1 e 0,5 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$). Na região cultivada, o valor ficou entre 1,5 e 2,0 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$). Variação idêntica também se observou na primeira região avaliada.

Os dados do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016) assumem que valor crítico de concentração para $< 0,5$, médio de $0,5 - 1,0$ e alto $> 1,0$. O Boletim 100 (2022) também define o valor crítico como $< 0,5$, mas o médio fica na faixa de $0,5 - 0,8$ e alto $> 0,8 \text{ cmol}_c \text{L}^{-1}$. Assume-se, logo, que os níveis às áreas

de abertura necessitam de uma alta dosagem ao caso de Dourados/MS (classificação baixa) e dosagem média para a região da Santo Ângelo/RS (classificação média). Este último resultado foi o que mais se aproximou dos indicadores do manual, especialmente aqui perante a heterogeneidade dos dados, em que algumas amostras tiveram o seu resultado acima da média.

Assim, visando a correção dos níveis desses nutrientes no solo, percebe-se que a demanda direta de cada elemento é alta, fator que leva a constatar que adotar técnicas de AP como manejo inicial não seria altamente responsivo para a área estudada, pois essa impõe custos excessivos para a especificidade da área quando, na verdade, os principais dados estatísticos até aqui apresentados se mostram significativamente homogêneos, isto é, sem a necessidade direta de especificar/quantificar as doses ponto a ponto nas lavouras. Dessa forma, seguindo as análises do processo de calagem e acidificação do solo, apresenta-se, nos próximos gráficos, os resultados para o alumínio (Al).

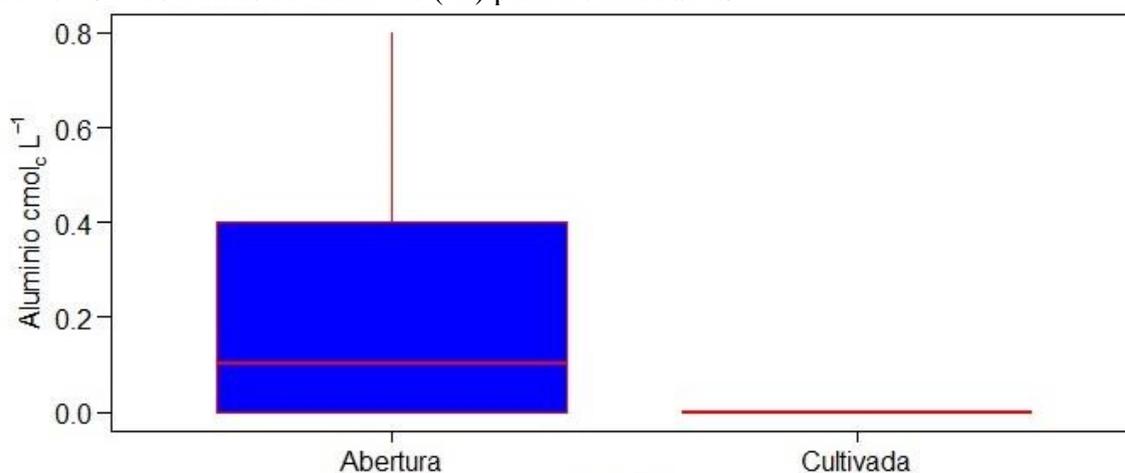
Gráfico 9: Resultados de alumínio (Al) para Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Tal como se observou na análise na região de GO, ao caso de Santo Ângelo/RS, a concentração de alumínio (Al) foi baixa na área cultivada com relação à área de abertura, muito embora haja, sobretudo, área de heterogeneidade significativa que repasse por valores até 1,5. Mas é através dessa área final, após a taxa fixa e manejos culturais, que se aconselha utilizar a Agricultura de Precisão – onde existem pontos com maior heterogeneidade e se justificaria o uso – com um maior custo-benefício. Entretanto, em números respectivos, os valores de alumínio (Al) às áreas de abertura ficaram na média geral entre 0,3 e 0,6, o que se prova um ambiente com excessividade acidacidade, enquanto que, para a área cultivada, os valores retornaram entre 0,0 e 0,15. Diferença esta também observada para o caso de Dourados/MS, em que as análises são feitas a frente.

Gráfico 10: Resultados de alumínio (Al) para Dourados/MS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Ao caso da análise do Gráfico 10, os valores assumidos para a área cultivada foram tendentes a zero. Contrariamente, a concentração de alumínio (Al) encontrada na área de abertura chegou a 0,4 ($\text{cmol}_c \text{L}^{-1}$) com campo médio de 0,1. Dessa forma, podem ser realizadas considerações a partir do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), que assume o mesmo título de cálculo para saturação de alumínio e, assim, com base nas perspectivas gerais dos gráficos, para a área de abertura a saturação ultrapassaria os 30% nas regiões, o que evidencia um risco às culturas, necessitando, assim sendo, de alta composição de Ca e Mg – além do já observado – para evitar a acidificação do solo, além de outros elementos biomorfológicos.

Os solos ácidos possuem um pH de 5,5 ou inferior e estão amplamente distribuídos nas regiões tropicais e subtropicais, como é o caso do Brasil, constituindo aproximadamente 30% da área total do planeta e 50% das terras agricultáveis do mundo, além de fornecer entre 25/80% da produção de hortaliças (CONNOR; LOOMIS; CASSMAN, 2011). Nesse sentido, a acidificação do solo pode ocorrer devido a processos naturais e/ou antrópicos e se deve basicamente ao aumento da concentração de H^+ no solo, que reduzem o pH. Como consequência, solos ácidos são caracterizados por deficiência de nutrientes e toxicidade por metais, como manganês (Mn), ferro (Fe) e Al. Como dito por Defra (2010), a toxicidade por Al é o principal fator limitante do crescimento das plantas em solos ácidos, pois, em sua reação, reduz a disponibilidade de fósforo (P).

Conforme Martins et al. (2016), o alumínio é o metal mais abundante na Terra e o 3º elemento mais abundante, depois do oxigênio e silício, na crosta, representando aproximadamente 8,1% do seu conteúdo em peso. Apesar de ser onipresente e disponível

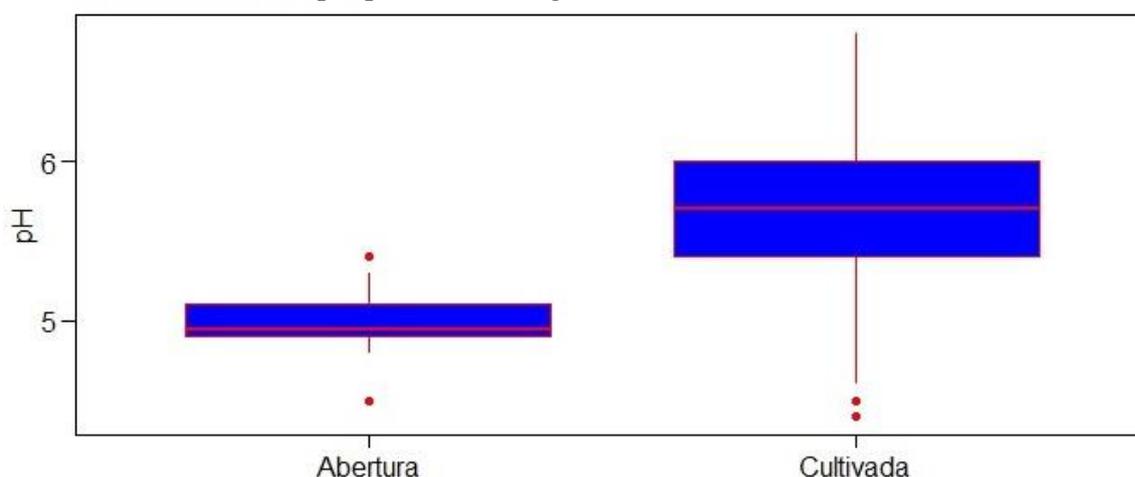
durante o ciclo de vida das plantas, não possui função biológica específica (HAZELTON; MURPHY, 2007).

Nesse sentido, os organismos, conjunto biológico que fornece energia para os cultivos, geralmente não são expostos a concentrações relevantes de Al no solo, pois ele é encontrado principalmente na forma de um mineral (aluminossilicatos e óxidos de alumínio). Entretanto, em soluções aquosas e em diferentes pHs, o Al hidrolisa moléculas de água para formar hidróxido de alumínio (HAZELTON; MURPHY, 2007).

A este caso, a concentração total de Al no solo e a especiação de Al dependem do pH e do ambiente químico da solução (SINCLAIR; CROOKS; COULL, 2014). Em um pH baixo, cerca de 4,3, o alumínio trivalente (Al^{3+}) é a forma mais abundante e tem, conforme alistado por toda a literatura aqui consultada, o maior impacto no crescimento das plantas, devendo se sobressair a níves tendentes ao zero sempre que possível – de acordo com natureza do cultivo que é implementado (SINCLAIR; CROOKS; COULL, 2014; HAZELTON; MURPHY, 2007).

Para a sua correção, é necessária doses significativas de calcário que, nas três regiões aqui apresentadas, mostraram-se altas, não respaldando o uso de AP já no manejo inicial. Isto se comprova, para as duas últimas regiões avaliadas, a partir dos dados de pH, apresentados nos gráficos a frente.

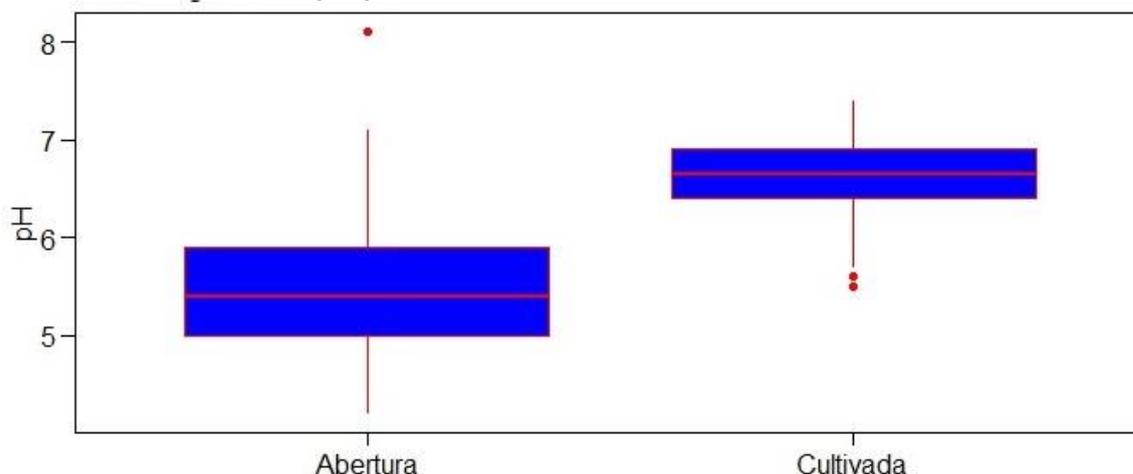
Gráfico 11: Resultados de pH para Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Conforme o Gráfico 11, o nível de pH notado à área de abertura esteve entre os valores de 4,8 e 5,2, com de fato poucas áreas de heterogeneidade. Já para a área cultivada, os valores foram em menor nível de acidez, entre 5,5 e 6,3. Houveram picos de heterogeneidade para ambas as áreas analisadas. O Gráfico 12 traz os resultados de pH de Dourados/MS.

Gráfico 12: Resultados de pH para Dourados/MS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Neste gráfico, o nível de pH na área de abertura está entre os valores de 5,0 e 5,8, com apenas um ponto de heterogeneidade. Já para a área cultivada, os valores foram em menor nível de acidez, entre 6,5 e 6,9. Houveram dois picos de heterogeneidade, ainda estacionados dentro da casa de acidez média e muito baixa para culturas, tendo em vista que o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016) e o Boletim 100 (2022) do IAC, respectivamente. No caso de Santo Ângelo/RS, ocorre grande necessidade de correção nas áreas de abertura, por não estarem no limite estabelecido pelo manual na região (5,5 a 6,5). Já para Dourados/MS, os resultados se mostram estáveis em relação ao pH, muito embora a amplitude de mais de 50% esteja envolta abaixo de 5,5. Estes resultados estão alinhados com os demais elementos avaliados, em que a quantidade de componentes básicos, Ca e Mg, na região de Dourados/MS foi maior, bem como nessa área houve menor teor de alumínio (Al). Também ressalta-se que a área cultivada teve seus resultados significativamente mais próximo das definições dos manuais em comparação às lavouras da Hipótese 1.

Com isto, é importante salientar que, em áreas de abertura, aplicação de técnicas da AP já de início exigiria uma demanda elevada de doses de Ca e Mg para os três casos avaliados; o que, em muitas situações, devido à baixa heterogeneidade da amostra, não seria necessária amostragem em curto espaçamento. Para além, o maquinário exigido também traz um custo significativo não necessário para os momentos iniciais. Assim, com base nestas análises iniciais, as primeiras recomendações seriam implementar uma cultura com alcance notório de ciclagem de nutrientes e condicionante de solo e realizar algumas amostragens em grids maiores, objetivando mapeamento geral para definição de doses fixas. Somente após os primeiros manejos é que a AP se mostraria como um conjunto de técnicas viáveis, pois

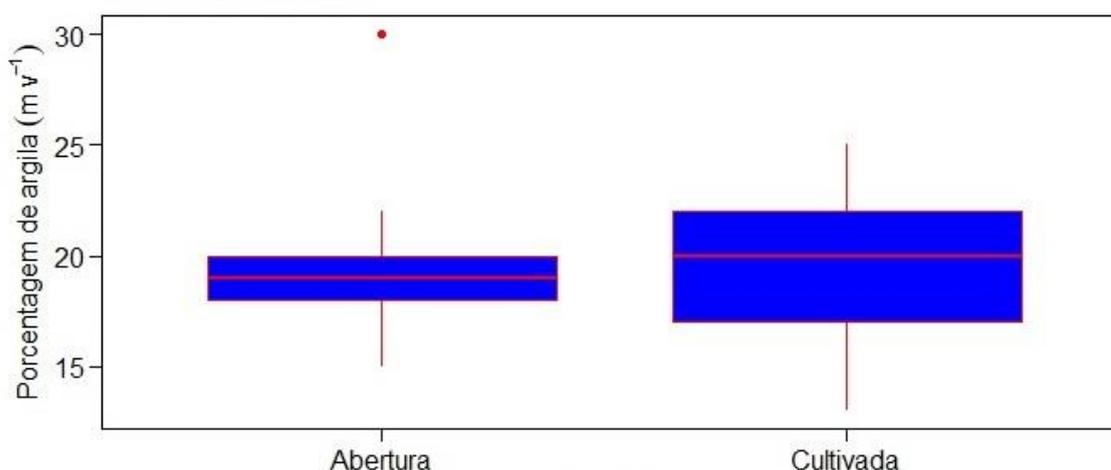
através dessas seriam mapeados os resultados das primeiras reações químicas do solo após a correção dos níveis com aplicação de nutrientes. Esta conclusão também é observada nas demais concentrações avaliadas, expostas a frente.

5.2 FÓSFORO E ARGILA

Fósforo (P) e argila são componentes essenciais para a nutrição das plantas e das áreas de cultivo (HAZELTON; MURPHY, 2007). Defra (2010) afirma que, quanto maior é o teor de argila de uma área, maior tende a ser a adsorção do P e, como sua consequência, é menor a disponibilidade do nutriente para as plantas. Tisdale; Nelson; Beaton (2015) assumem, em concorrência a disponibilidade, que quanto menor é a quantidade de nutrientes, menores são os processos fisiológicos ocorrentes e, como resultado, menor é a produção/disponibilidade de molécula ATP (molécula energética das plantas), resultando em ciclos biológicos mais lentos, que reduzem a produção.

Desta forma, faz-se importante avaliar a relação destes dois componentes nas áreas desta pesquisa, em especial porque um solo mais ácido apresenta mais argila que, conseqüentemente, fixa mais Fósforo (P) no substrato, reduzindo os valores e poder fisiológico das plantas (HAZELTON; MURPHY, 2007). O Gráfico 13, abaixo, tem a apresentação dos resultados do teor de argila na região do Posses/GO, avaliado com auxílio de Embrapa (2014).

Gráfico 13: Resultados de teor de argila para Posses/GO



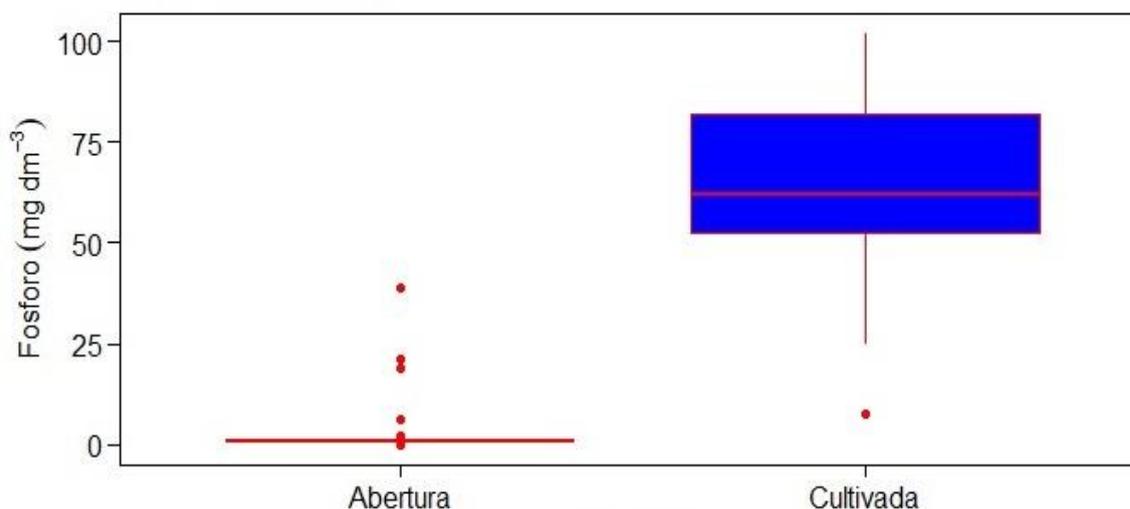
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Tendo em vista o Gráfico 13, a porcentagem de argila (mv^{-1}) para a área de abertura ficou entre 18 a 20% enquanto que, no caso da área cultivada, valores de retorno estiveram entre 17 e 24% (mv^{-1}).

Conforme assumido por Gee; Bauder (2006), ao teor de argila, tem-se como a consideração de um solo argiloso adequado aquele que tem os teores de argila entre 35 e 60%. Já quando os teores de argila estão ou acima ou abaixo destes valores, são considerados, respetivamente, muito argilosos (com uma grande possibilidade de acidificação) e pouco argilosos (que elencam pouca disponibilidade de componentes essenciais, como H_2O e, em consequência, adsorção de nutrientes).

No Gráfico 13, os valores são classificados como baixos – classe 4 (18 a 20%, arenosa) e média – Classe 3 (17 e 24%) para área de abertura e cultivada, em respectivo. Isto requer uma manejo posterior para as ambas as regiões, mas se faz perceptível que a taxa fixa inicial auxiliou para que uma diagnose fosse realizada sob a capacidade da argila, muito embora se deve entender que o teor de argila depende do tipo de plantação que se busca (TEIXEIRA et al., 2017). Nesse caso, não se pode – ainda – realizar análise somente relacionando o teor de argila, mas, especialmente, deve-se avaliar o grupo fóstático, pois os dois são componentes diretamente ligados que implicam na qualificação dos resultados das culturas. O Gráfico 14 apresenta os resultados para a região de GO.

Gráfico 14: Resultados de fósforo (P) para Posses/GO



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Inicialmente, é possível observar que, conforme o resultado do Gráfico 14, a área de abertura não contém índices mínimos de fósforo quando, ao contrário, nas áreas cultivadas avaliadas, os valores estiveram entre 55 e 80 (mg dm^{-3}). Como base no que é mencionado pela

Embrapa (2014), para o teor de 18 a 20% de argila, que entra na escala de 16 até 35%, os valores mínimos necessários seriam de 10,1 a 15 (mg dm^{-3}) de fósforo, o que não ocorre na amostra de abertura. Ao contrário, ao caso da área cultivada, muito embora o teor de argila não esteja alinhado com o teor médio da literatura, o agrupamento fosfático se mostra > 20 (mg dm^{-3}), alto para a classificação da Embrapa (2014).

Depois do nitrogênio (N), o P é o segundo macronutriente mais importante como nutriente essencial para as plantas. É elemento essencial a uma produtividade agrícola mais elevada e sustentada, que limita o crescimento das plantas em muitos solos (SKOPURA; MANZATO, 2019).

O fósforo forma um componente importante do composto orgânico trifosfato de adenosina (ATP), que nada mais é do que a moeda energética que impulsiona todos os processos bioquímicos nas plantas (RAMALHO FILHO, 2015). É também um fator-componente integral de ácidos nucleicos, coenzimas, nucleotídeos, fosfoproteínas, fosfolípidios e fosfatos de açúcar, bem como intermediários de eventos de transdução de sinal (MARTINS DA COSTA et al., 2016). Os seus indicadores no solo para todas as platagens são um dos principais fatores relacionados à produtividade.

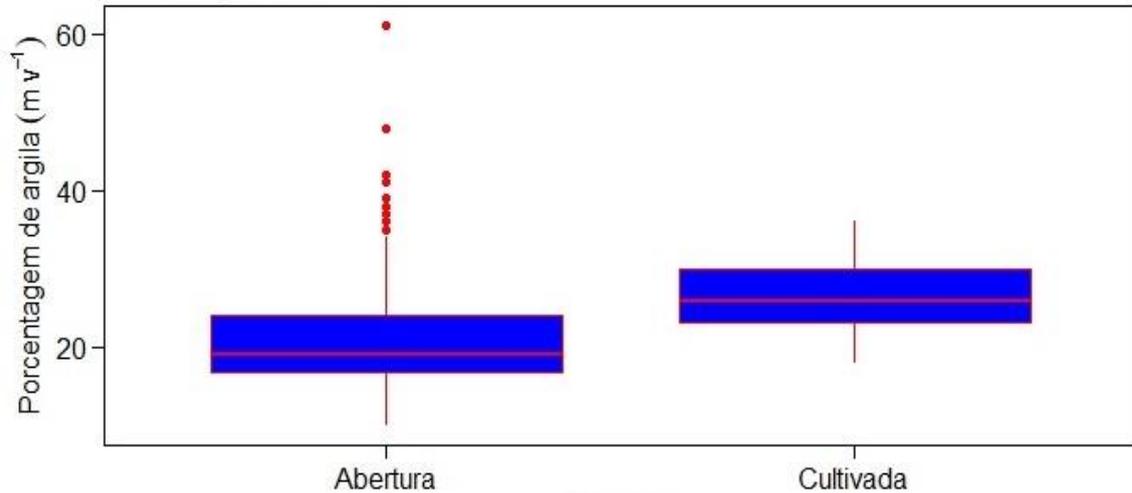
Também está envolvido em série de processos nas plantas, como fotossíntese, respiração, fixação de nitrogênio, floração, frutificação e maturação, e a matéria seca da planta pode conter até 0,5% de fósforo (RAMALHO FILHO; BEEK, 2015). Apesar do importante papel desempenhado pelo P do solo nas plantas, a deficiência de fósforo no solo é o estresse nutricional mais comum em muitas regiões do mundo, afetando 42% das terras cultivadas (SINCLAIR; CROOKS; COULL, 2014; RAMALHO FILHO; BEEK, 2015).

A deficiência de P é causada pelo baixo teor de P nos materiais de origem dos solos ou por transformações do fósforo adicionado aos solos em formas não disponíveis para as plantas, como pode ser o caso do teor de argila (VALLADARES et al., 2004). A deficiência de P resulta em má formação das raízes das plantas, desenvolvimento lento, produção de sementes e formação de frutos ruins, portanto, rendimentos baixos e pobres (VALLADARES et al., 2004). Conforme o que foi observado no resultado para a região de abertura em Posses/GO, dosagens significativamente e demasiadas altas de fósforo são necessárias, onde justifica-se a adoção de taxa fixa para corrigir os níveis de fertilidade. Em casos de aplicações em doses muito altas, pode-se fracionar a correção em até dois cultivos.

A partir destes dados, é possível realizar algumas considerações: (a) existe alta demanda de fósforo no solo avaliado e (b) a aplicação de taxa fixa se mostra mais eficiente para a correção do solo, pois uma máquina de aplicação à taxa variável – partindo da

Agricultura de Precisão – não conseguiria variar as aplicações em doses altas, implicando em ineficiência e, principalmente, custo desnecessário às áreas aqui avaliadas. Cabe aqui adentrar aos resultados para as demais regiões, em que a mesma conclusão foi observada.

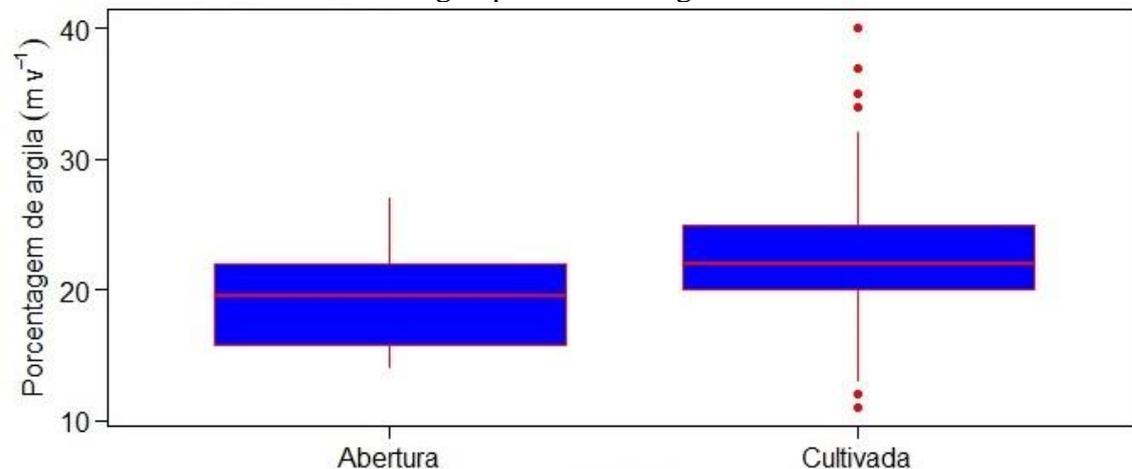
Gráfico 15: Resultados de teor de argila para Dourados/MS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Tendo em vista o Gráfico 15, a porcentagem de argila (mv^{-1}) para a área de abertura ficou entre 18 a 22% enquanto que, no caso da área cultivada, apresentam-se teores entre 25 e 30% (mv^{-1}). Devido ao Boletim 100 (2022) não apresentar classificação quanto ao teor de argila, utilizou-se o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016) como parâmetro, constando que o valor das áreas quimicamente já manejadas aproximaram-se da classe 3 (21 a 30%) e as áreas de abertura da classe 3 e 4 (< 20%). Analisa-se o caso da região de Santo Ângelo/RS a frente.

Gráfico 16: Resultados de teor de argila para Santo Ângelo/RS

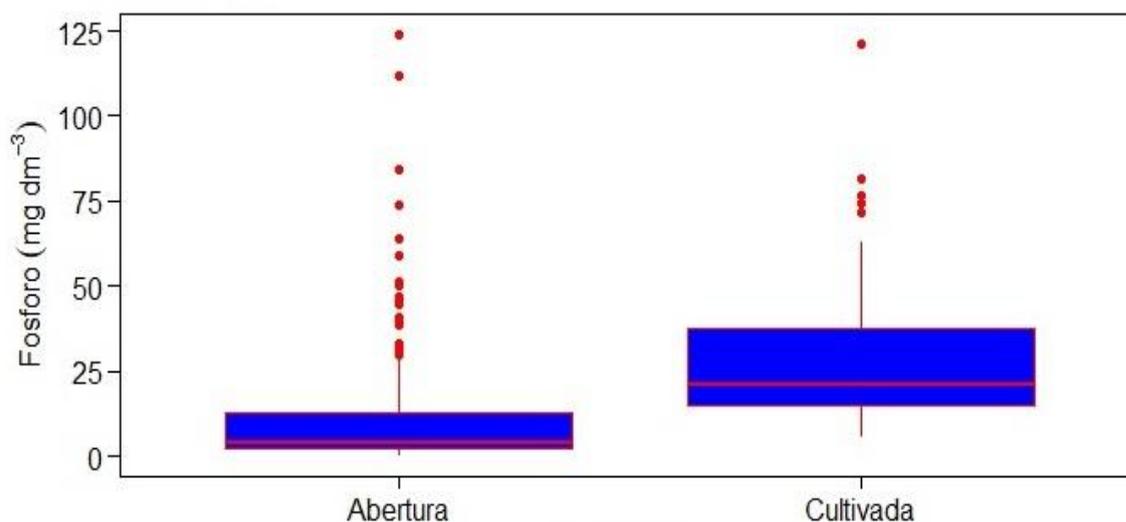


Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Com base no Gráfico 16, a porcentagem de argila (mv^{-1}) para a área de abertura ficou entre 15 a 22% enquanto que, no caso da área cultivada, valores de retorno estiveram entre 20 e 25% (mv^{-1}). O teor de argila da área cultivada se mostrou em maior aproximação com as avaliações do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), muito embora este teor, à luz do que já foi dito, dependa da exclusividade da plantação. Ainda assim, podem ser classificados nas classes 3 e 4, como acima.

No caso avaliado, na área de abertura não houve pontos de heteroneidade significativos, enquanto que, na área cultivada a existência de pontos em 40% foi significativo – assim como os pontos menores próximos de 10%. Este indicador de argila é o único divergente que remonta uma heterogeneidade significativa. Dessa forma, é necessária a avaliação dos teores de P, pois a classe de argila influencia na disponibilidade de fósforo no solo.

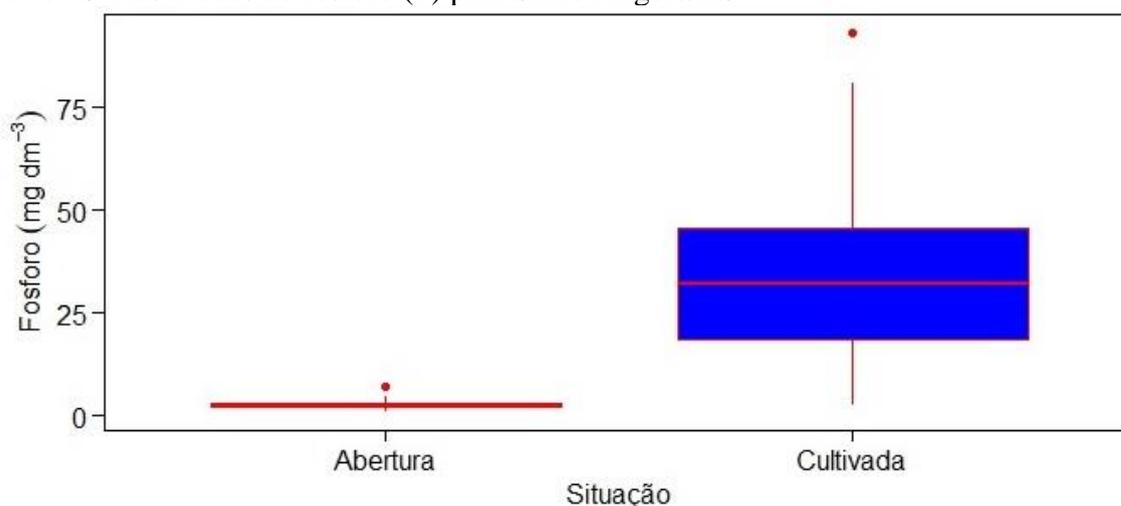
Gráfico 17: Resultados de fósforo (P) para Dourados/MS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Com base no Gráfico 17, a concentração de P está entre 0 e 12 ($mg\ dm^{-3}$), com um grande número de pontos entre 25 e 50 ($mg\ dm^{-3}$), enquanto para a área cultivada foi de 23 e 45 ($mg\ dm^{-3}$). Resultados próximos também foram observados para o caso da região de Santo Ângelo/RS.

Gráfico 18: Resultados de fósforo (P) para Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Em análise ao Gráfico 18, não foram identificados níveis de fósforo significativos à amostra, enquanto na área cultivada variou entre 22 e 48 (mg dm^{-3}). Nesse sentido, conforme o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), considerando os níveis 3 (para área cultivada) e 4 (para a área de abertura), para culturas muito exigentes, os valores mínimos para disponibilidade média, seriam de 20,1 – 30,0 (mg de P/dm^3) e 34,1 – 51,0 (mg de P/dm^3). Com isto, é possível perceber que os valores para a área de abertura se encontram dispersos e necessitam de alta dose de correção para fósforo. Isto se faz com menor diferença para o caso da área já cultivada, onde os valores chegaram próximos aos mínimos exigidos. Nesse sentido, considerando que o uso da Agricultura de Precisão se justificaria pela permissibilidade de realizar as decisões gerenciais rapidamente em pequenas áreas dentro de campos maiores (TAN et al., 2013), não há sentido em sua utilização para as áreas de abertura – pois (a) a quantidade de fósforo observada é muito baixa, o que não implica em especificar ponto a ponto o processo de correção e (b) sua utilização após um manejo inicial teria maior efeito – tendo em vista que áreas de especificidade seriam encontradas, como é o caso dos pontos heterogêneos das áreas cultivadas.

Conforme Batista (2018, p. 135):

A retenção de P no solo (P-lábil + P-não lábil) aumenta com o teor de argila, com o grau de intemperismo do solo, por exemplo. Para mesmo teor de argila, o solo mais intemperizado apresenta maior retenção de P, maior fração de P-lábil e de P-não lábil. Essa capacidade de retenção de P no solo pode ser estimada pela capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) (BATISTA, 2018, p. 135)

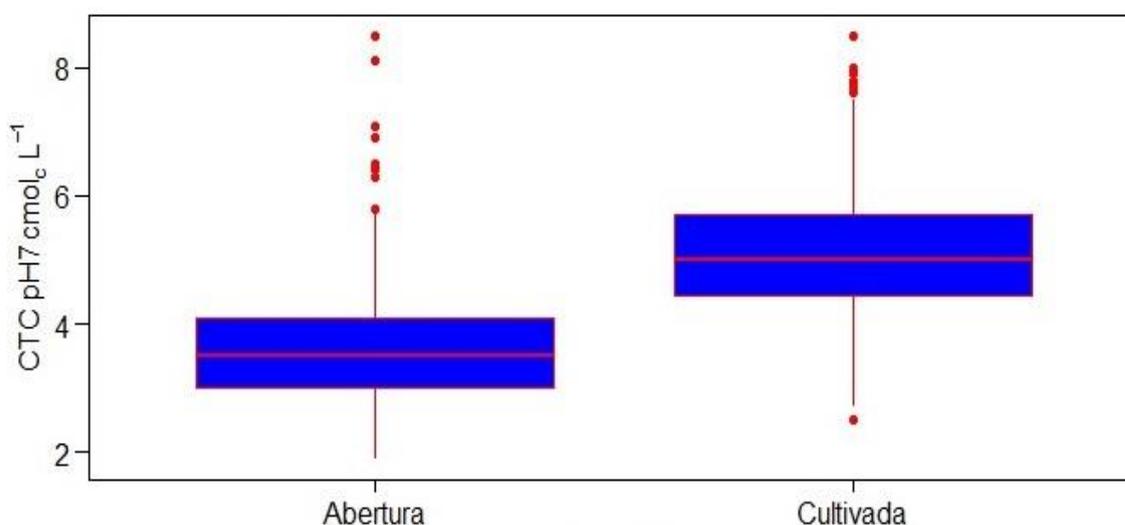
Com isto, a disponibilidade de fósforo e o teor de argila são componentes, tal como os demais avaliados na seção 5.1, essenciais para que ocorra transferência de energia entre as plantas. Contudo, como apresentado ainda por Batista (2018) em sua pesquisa, os “solos de regiões tropicais apresentam baixos níveis de P, devido ao elevado intemperismo sofrido ao longo dos anos” (BATISTA, 2018, p. 135), faz com que não seja essencial o uso da Agricultura de Precisão para aumento de produtividades, tendo em vista que grande amostra de áreas de abertura já contam, historicamente, com baixos índices de P.

5.3 POTÁSSIO E CTC_{pH7}

O potássio está associado ao movimento de água, nutrientes e carboidratos no tecido vegetal. Está envolvido com a ativação enzimática dentro da planta, que afeta a produção de proteína, amido e trifosfato de adenosina (ATP). A produção de ATP pode regular a taxa de fotossíntese e, assim, o potássio (K) é componente de nível fundamental para que o resultado do cultivo seja efetivo (OLIVEIRA, 2003).

A capacidade de troca catiônica (CTC) é medida das cargas negativas totais dentro do solo que adsorvem os cátions nutrientes das plantas, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+). Como tal, o CTC é uma propriedade do solo que descreve a sua capacidade de fornecer cátions nutrientes à solução do solo para absorção pelas plantas. Quanto maior é a CTC, maior deverá ser as disponibilidades de cátions nutrientes para as plantas. Considerando isto, o Gráfico 19 apresenta a relação diretamente com a CTC_{pH7} .

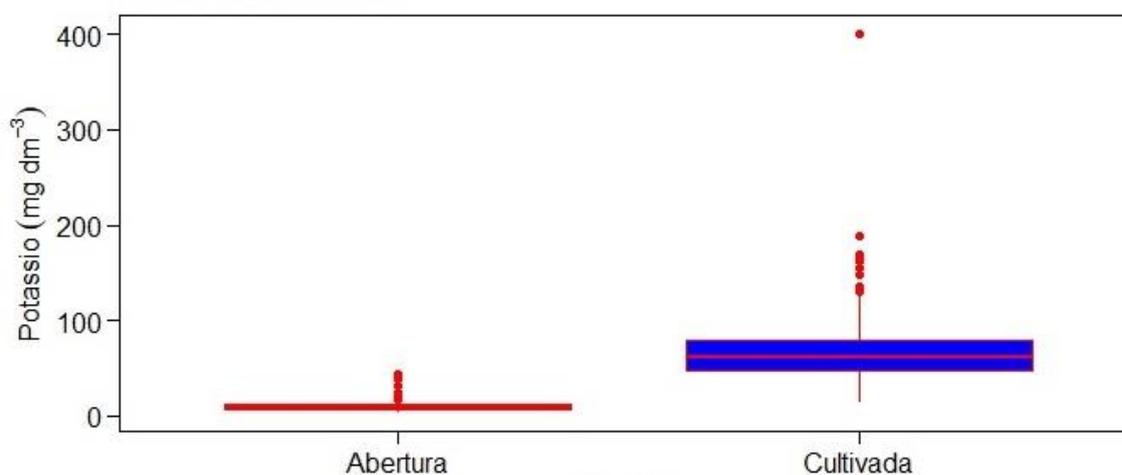
Gráfico 19: Resultados de CTC_{pH7} para Posses/GO



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

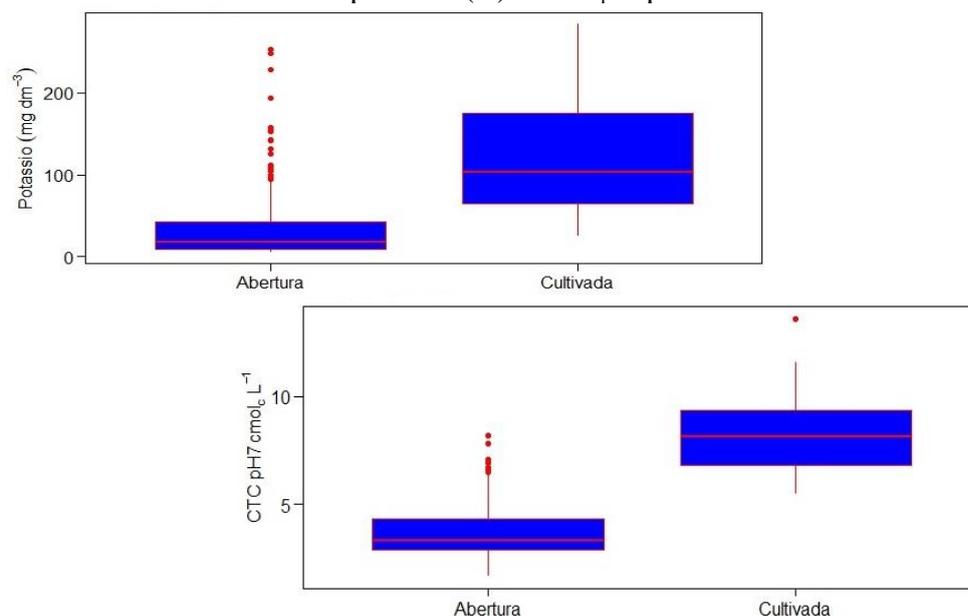
Conforme dados do Gráfico 19, o nível de $CTC_{pH7} \text{ cmol}_c \text{ L}^{-1}$ para a área de abertura escalona-se em 3,0 e 4,0. Já para o caso da área cultivada, o valor se estabelece entre 4,5 e 5,8 $\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$. Conforme o manual da Embrapa (2014), deve-se avaliar a classificação a partir do teor de argila que, a este caso, foi classificado na região de Posses/GO, como arenosa, a concentração mínima estaria entre 4,1 e 6,0 $\text{cmol}_c \text{ L}^{-1}$. Já para o caso da área cultivada, de teor de argila média, o valor estaria entre 6,1 e 9,0. Muito embora exista heterogeneidade nas áreas, não justificam utilização inicial de técnicas de AP. E isso fica mais evidente quando se avaliam os resultados de K, que na área de abertura tenderam a zero, conforme pode ser observado no Gráfico 20.

Gráfico 20: Resultados de potássio (K) para Posses/GO



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

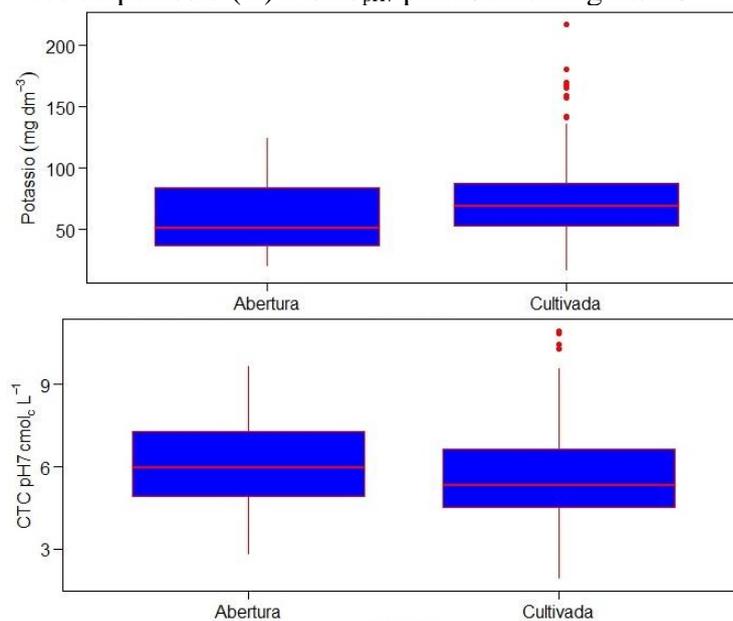
Conforme Gee; Bauder (2006), quanto maior a CTC, maior a fertilidade de solo e maior capacidade de cátions que o solo pode ter, sendo o K um cátion. Dentro dessa perspectiva, um menor valor de CTC implicaria em alto risco de perder potássio através de escoamento superficial (ampliado pelo baixo teor de argila). Com isto, é normal que os dados apresentados no Gráfico 19 demonstrem o resultado nulo visto no Gráfico 10, onde não foram observados pontos de encontros médios de K, com algumas áreas – muito pouco – heterogeneas abaixo de 50 mg dm^{-3} . Comparando com os dados da Embrapa (2014), o mínimo adequado seria de 30 a 40 mg dm^{-3} , classificando a semanda como alta. Este foi o mesmo caso para a análise dos dados da região de MS, como visto no Gráfico 21.

Gráfico 21: Resultados de potássio (K) e CTC_{pH7} para Dourados/MS

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Conforme afirma Defra (2010), todos os nutrientes ligados pelas partículas do solo podem ficar disponíveis para as plantas e também não são facilmente carregados pela água das chuvas (escoamento superficial). Por isto, é importante manter a CTC e a concentração de K adequados, fator que não se viu também no Gráfico 21, onde o resultado para a área de abertura foi menor de 5. Conforme os dados do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), em culturas exigentes, os resultados de CTC < 7,5 são impróprios e muito baixos, o que implica em ineficiência de nutrientes às plantas.

Veja-se que, em conformidade, a disponibilidade de K também é reduzida para talhões analisados na cidade de Santo Ângelo/RS, não se adequando ao determinado no Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (2016), diferentemente do que se observa nas áreas já manejadas quimicamente. Assim, com exclusividade, apenas a CTC_{pH7} para o caso do RS apresentou uma correlação de 40% entre áreas já manejada e a área de abertura, contrariando todas as demais observações desta análise. O Gráfico 22 exibe os valores.

Gráfico 22: Resultados de potássio (K) e CTC_{pH7} para Santo Ângelo/RS

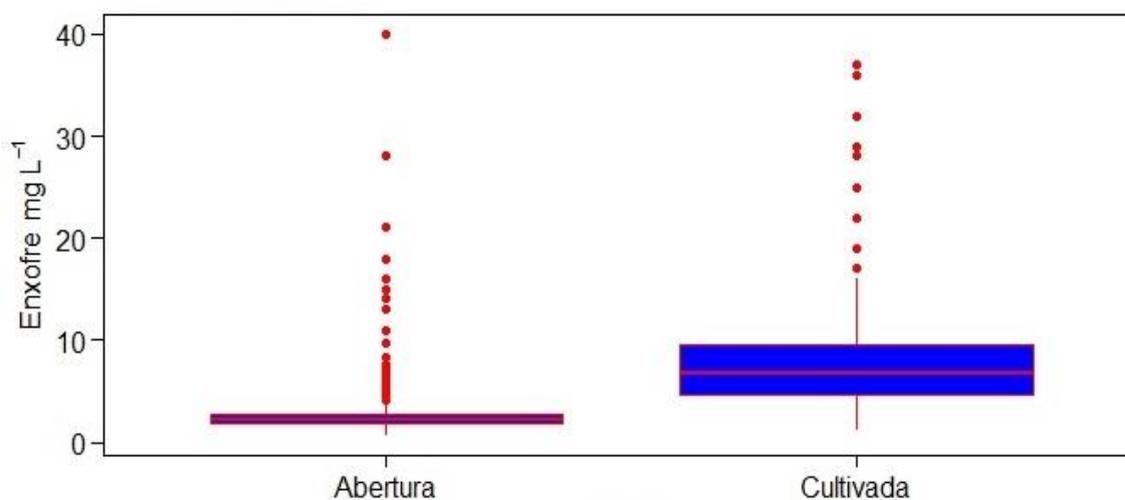
Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Mesmo evidenciada uma correlação de 40%, é importante salientar que, de todas as análises realizadas, apenas este indicador se forneceu diferenciado, o que representa apenas 1/9 (n=11,11%) dos dados avaliados, não implicando em mudanças significativas em face dos recursos dos demais instrumentos (Ca, Mg, Al, pH, K, Argila, entre outros) que aqui foram avaliados.

5.4 ENXOFRE

O enxofre (S) é nutriente essencial para as plantas (SANTOS, 2010). É necessário, estrutura e biologicamente, para toda a produção de aminoácidos que compõem as proteínas essenciais para crescimento das culturas (MALAVOLTA, 2016). Dessa forma, “a deficiência de enxofre pode reduzir significativamente o rendimento em solos em anos úmidos, quando a forma de sulfato do enxofre lixivia abaixo da zona radicular das plantas” (QUAGGIO, 2010, p. 18). Para o caso de Posses/GO, os valores vistos nas amostras são apresentados no Gráfico 23.

Gráfico 23: Resultados de enxofre (S) para Posses/GO

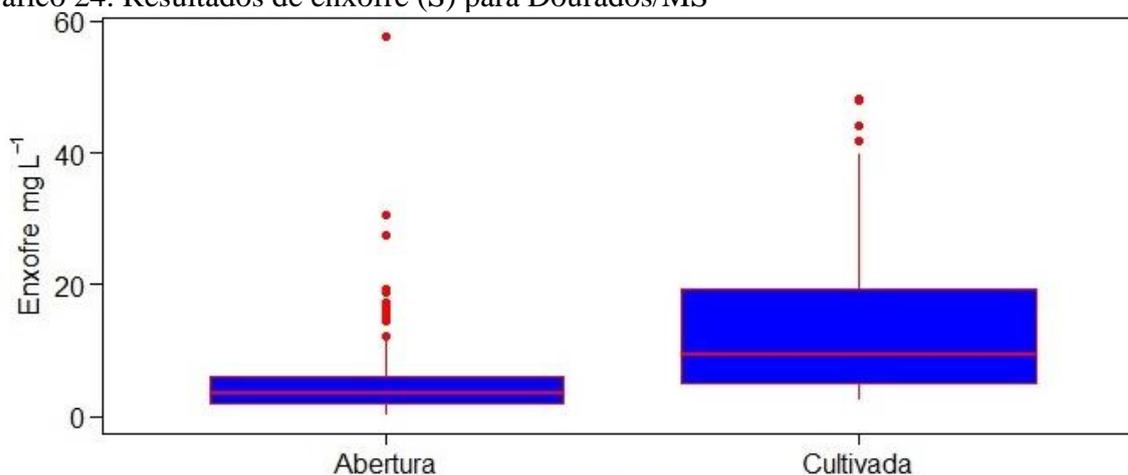


Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Os níveis observados no Gráfico 23 só apresentam significância quando se fala na área cultivada, com concentração de 5,0 e 10 mgL⁻¹. Ao caso da área de abertura, a displicência média tendeu a 1,0 mgL⁻¹, valor bastante divergente do estipulado pela Embrapa (2014): valores mínimos médios de 5 a 9 mgL⁻¹. Assim, os dados da área de abertura são escalonados sobre baixa disponibilidade (<4) enquanto que, na área cultivada, os valores assumem posições mínimas médias.

Conforme Dias-Filho (2014), S é um constituinte de aminoácidos, cloroplastos, sulfatídeos, vitaminas, coenzimas e grupos prostéticos (aglomerados ferro-S, ácido lipóico e coenzima A). Logo, o enxofre desempenha papel importante na fotossíntese, na respiração e na formação de estruturas de membrana celular nas plantas, respando que, quando em doses baixas, reduz o resultado de culturas, com maior especialdiade para as culturas mais exigentes. Os dados do Gráfico 23 afirmam que há necessidade de mais de o dobro, a depender da exigência da cultura, e o mesmo também é perceptível quando se analisam resultados auferidos na avaliação geral realizada em Dourados/MS, cujo Gráfico 24 apresenta o comparativo entre as hipóteses.

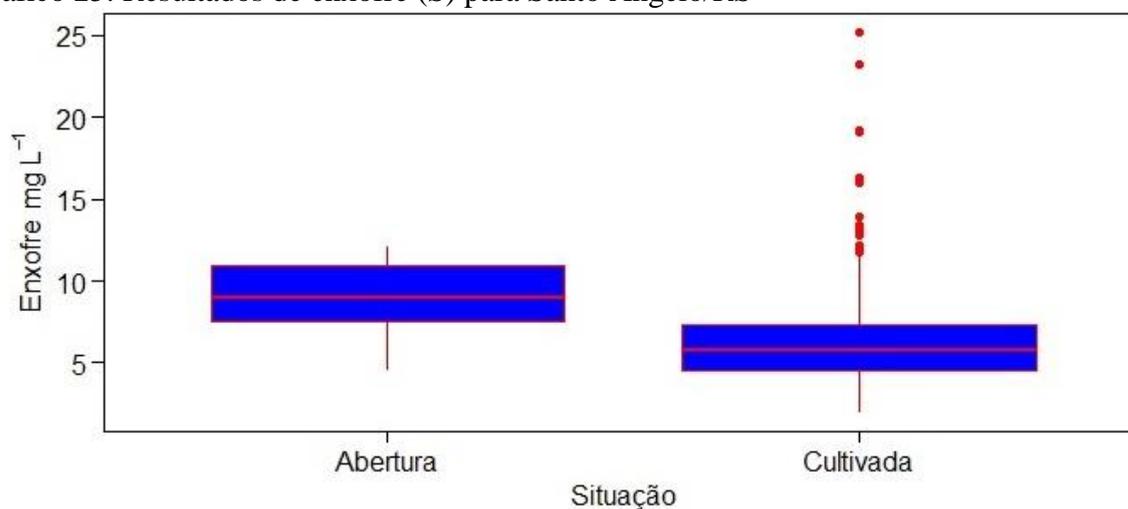
Gráfico 24: Resultados de enxofre (S) para Dourados/MS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Tendo em vista as principais perspectivas Boletim 100 (2022), os valores mínimos para S estão na faixa de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$. Na área de abertura, tal como no Gráfico 23, não se observa teores acima disto. Diferente ocorre na área cultivada, comparando as colunas do mesmo gráfico, em que esta apresenta maior taxa de concentração. Diferentemente, é o resultado para Santo Ângelo/RS.

Gráfico 25: Resultados de enxofre (S) para Santo Ângelo/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

No Gráfico 25 pode-se constatar que ocorre menor recomendação de dose de S, mas essa não é inexistente. Dito isto, dependendo da cultura, há recomendações de até o dobro de dose, ao passo que S é indicado de modo preventivo para culturas mais exigentes. Assim, não se justificativa o uso de AP em face destes indicadores, o que fundamenta as considerações finais, apresentadas em frente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em quase todos os indicadores, exceto CTC_{ph7}/RS , as exigências nutricionais das áreas de abertura eram demasiadas grandes, com poucos pontos de heterogeneidade, isto é, de dispersão de necessidade para todas as áreas que foram avaliadas. Dessa forma, compreende-se que o uso da Agricultura de Precisão não é eficiente para as áreas de abertura (das regiões avaliadas).

Com doses altas para correção de fertilidade do solo em praticamente todos os pontos, o custo-benefício com maquinário específico e aporte inicial torna inviável o emprego dessa metodologia já de início. Assim, fica como recomendação um manejo anterior com uma cultura com boa capacidade de ciclagem de nutrientes e com aplicação de correção à taxa fixa, para diminuir a distância do nível crítico da fertilidade, podendo, posteriormente, para correção de pontos divergentes – de heterogeneidade – o uso da Agricultura de Precisão.

Exposto isto, cabe salientar que houve limitações aos resultados auferidos: estes são expressos apenas para as três regiões observadas, não foram avaliadas as amostras com maior profundidade (>20cm) e limitou-se a quantidade de pontos que foram avaliados pela análise.

Sugere-se, para próximos estudos, a pesquisa quanto cultivares condicionantes de solo e seu desempenho especificamente em áreas de abertura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: a ocupação do Cerrado piauiense. *Ambiente & Sociedade*. v.08, n.02, 2005.
- ALBUQUERQUE, L. C., DE SOUZA, D. G., MATOS, M. A., & PARACAMPO, C. C. P. Análise dos efeitos de histórias experimentais sobre o seguimento subsequente de regras. *Acta Comportamental*, 11, 87-126. 2003.
- ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminum in wheat (*Triticum aestivum* L. Thell). *Plant and Soil*, Netherlands, v.123, p.223-227, 1990.
- ARANTES, V. M.; THOMAZ, M. C. ; KRONKA, R. N. MALHEIROS, E. B.; BARROS, V. M.; PINTO, E. S.; BUDIÑO, F. E. L.; PRAGA, A. L.; RUIZ, U. S.; HUAYNATE, R. A. R. Níveis de Zinco na Dieta de Leitões Recém-desmamados: Desempenho, Incidência de Diarréia, Isolamento de E. Coli e Análise Econômica. **Boletim da Indústria Animal**, v. 62, n. 3, p. 189-201, 2007.
- BARICELO, Luis Gustavo; BACHA, Carlos José Caetano. **Oferta e demanda de máquinas agrícolas no Brasil**. Revista de política agrícola. v. 22, n. 4, p. 67-83, 2013.
- BATISTA, M. A. et al. **Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. Hortaliças-fruto [online]**. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 113-162.
- BENNET, R.J., BREEN, C.M. The aluminium signal: new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. *Plant and Soil*, Netherlands, v.134, p.153-166, 1991.
- BIDWELL, R. G. S. *Plant physiology*. Nova lorque: MacMillan, 1974. 643 p.
- BONGIOVANNI, R.; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision agriculture**, 2000, v. 5, p. 359 - 387.
- BONGIOVANNI, R. et al. Precision Agriculture and Sustainability. **Precision Agriculture**, Amsterdam, v. 5, p. 359–387, 2004.
- CECCON, G.; STAUT, L.A.; SAGRILO, E.; MACHADO, L.A.Z.; NUNES, D.P.; ALVES, V.B. Legumes and forage species sole or intercropped with corn in soybean-corn succession in Midwestern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.37, n.1, p.204-212, 2013.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. **PIB do agronegócio. Departamento de Economia, Administração e Sociologia**. Piracicaba: USALQ/USP, abr. 2018. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/releases/pib-agrocepa-pib-volume-do-agronegocio-cresce-7-6-em-2017-eleva-pib-nacional-e-ajuda-no%20controle-da-inflacao.aspx>. Acesso em: 10 dez. 2022.
- CONNOR, D.J., LOOMIS, R.J. & CASSMAN, K.G. **Crop Ecology: productivity and Management in Agricultural Systems**, Cambridge University Press, Cambridge, 2011.

COSTA et. al, Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.2, p.587-589, 2004.

DA SILVA, Roseana Pereira; BARICELO, Luis Gustavo; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. **Estoque brasileiro de tratores agrícolas: evolução e estimativas de 1960 a 2016**. *Revista de Economia Agrícola*, São Paulo, v. 62, n. 2, p. 21-34, 2015.

DEFRA, C. **The Fertiliser Manual (RB209)**. TSO, London, 2010.

DEWES, I.S.L.; MAZZOCATO, A.C.; MARQUES, J.B.B., **Manejo de campo nativo e levantamento de espécies em área experimental**. Disponível em: <<https://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211165/1/AnaisXXVReunia771oGrupoCampos-6.pdf>>. Acessado em: 03 jan. 2023.

DHALIWAL et. al, Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1-2, 2019.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Embrapa Amazônia Oriental, 2014

EMBRAPA. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. 26 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8). ISSN1806-3322, 2010.

EMBRAPA. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/507674/agricultura-tropical--quatro-decadas-de-inovacoes-tecnologicas-institucionais-e-politicas>. Acesso em: 11 dez. 2022.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. *Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas*. 2. ed. Londrina: Planta, 2006.

ERNANI PR; FIGUEIREDO ORA; BECEGATO V; ALMEIDA JA. 1996. Decréscimo na retenção de fósforo no solo pelo aumento do pH. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 20: 159-162.

FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza; FELIPE, Fábio Isaias. **Crescimento da produção agrícola e o consumo de tratores de rodas no Brasil entre 1996 – 2005**. 2007. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/88756.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2022.

FOY, C.D., CHANEL, R.L., WRITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review Plant Physiology*, Bethesda, v.29, p.511-566, 1978.

FOY, C.D., FLEMING, A.L. Crop tolerance to sub-optimal land conditions. *Madison : ASA Meet., Houston*, 1976. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils: p.301-328.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade total dos fatores e transformações da agricultura brasileira: análise dos dados dos censos agropecuários. In: GASQUES, J. G.; VIEIRA FILHO, J. E. R.;

NAVARRO, Z. (Org.). **A agricultura brasileira: desempenho, desafios e perspectivas**. Brasília: Ipea, 2010. p. 19-44.

GEE, G.W.; J.W. BAUDER. **Particle Size Analysis**. In: *Methods of Soil Analysis, Part A*. Klute (ed.). United States: America Society of Agronomy, 2006

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008

GOEDERT, W.J.; SYER, J.K.; COREY, R.B. Relações quantidade-intensidade de potássio em solos do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia*, Rio de Janeiro, v.10, n.11, p.3135, 1975.

GRISSE, R.B.; ALLEY, M.; THOMASON, W.; HOLSHOUSER, D.; ROBERSON, G.T. **Precision farming tools: variable-rate application**. Virginia Polytechnic Institute and State University, Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences, 2011. (Publication, 442-505). Disponível em: <https://pubs.ext.vt.edu/442/442-505/442-505_PDF.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2022.

HAZELTON, P.; MURPHY, B. **Interpreting soil test results. What do all the numbers mean?** CSIRO Publishing, Collingwood, Australia, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**. 2006. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=CA&z=t&o=11>>. Acesso em: 09 dez. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação, mesorregiões, microrregiões geográficas e municípios: segunda apuração**. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/pt/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=261914>. Acesso em: 09 dez. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário: resultados definitivos 2017. Rio de Janeiro**. 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=73096>. Acesso em: 09 dez. 2022.

JIANG, P.; ThELEN, K. d. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn-soybean cropping system. *Agronomy Journal*, Madison, v. 96, p. 252-258, 2004.

KLAUS, Blankenau. Yara International, Alemanha, email: klaus.blankenau@yara.com (apresentado por João Eduardo S. Maças, Yara Brasil, Porto Alegre, RS, 2007).

LAMBERT, D.; LOWENBERG-DEBOER, J. **Precision agriculture profitability review**. Purdue University, School of Agriculture, Site-specific Management Center, 2000. Disponível em

<<https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=4547687828410462670&btnI=1&hl=es>>. Acesso em: 17 dez. 2022.

LI, Chang-chun et al. Quick image-processing method of UAV without control points data in earthquake disaster área. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 21, Suppl. 3, p. 523-528, Dec. 2011.

LOPES, F.A. **Adubação em doses variadas em citros**. 2010. 79p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

LUIZ, Cristiane Rodrigues. **A tecnologia no Agronegócio**. 2013. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1011260661.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2022.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba, Ceres, 2016.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Agricultura de precisão**: boletim técnico . Brasília : MAPA/ACS , 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, M. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2014

MARTINS DA COSTA, C. Et al. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-tillsoybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties. **Eur. J. Agron**,v. 74, p. 119–132, 2016

MELO, G.W.B. Nutrientes das importantes para as plantas. Agência Embrapa de Informação Tecnológico, 2010.

MENGEL, K.; RAHMATULLAH, R. Exploitation of potassium by various crop species from primary minerals in soils rich in micas. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v.17, p.75-79, 1994.

MEYER, B. S.; ANDERSON, D. B.; BOHNING, R. H.; FRATIANNE, D. C. *Introduction to plant physiology*. 2. ed. Nova lorque: D.Van Nostrand, 1973.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para a agricultura de precisão. In: BOREM et. al. **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2015. p.237-258.

MOLIN, J.P. **Agricultura de precisão**: o gerenciamento da variabilidade. Piracicaba: o autor,2001. 83p.

NACHTIGAL, G.R.; VAHL, L.C. Formas de potássio em solos da região sul do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, p.7-12, 1989.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais Universidade Federa de Viçosa, Viçosa, MG. 399p. 1999.

OLIVEIRA, L. A. M. de. Potássio. **Sumário Mineral**, v. 23, p. 104-105, 2003

PAULINO, V. T. et al. **Morfogênese e análise de crescimento de Panicum maximum cv. Centenário nos cerrados de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2015

PENA, R. F. A. **Evolução da agricultura e suas técnicas**. 2015. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/evolucao-agricultura-suas-tecnicas.htm>. Acesso em: 17 dez. 2022.

PIERCE, F.J.; NOWAK, P. **Aspects of precision agriculture**. Adv. Agronomy, v. 67, p.1-85, 1999.

QUAGGIO, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2010

RAI, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Ed. Ceres/Potafos, Piracicaba, São Paulo, 2011

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; ZULLO, M.A.T. O método tampão SMP para a determinação de necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*. Campinas. v.38, n.7, p.57-69, 1979.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2015

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C, Biomassa de Cana de Açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Ed. Dos Autores, 2006. 309 p.

ROBERTSON, M. J.; LYLE, G.; BOWDEN, J. W. Within-field variability of wheat yield and economic implications for spatially variable nutrient management. **Field Crops Research, Amsterdam**, v. 105, p. 211-220, 2008.

SANTOS, M. E. R. **Adubação de pastagens**: possibilidades de utilização. *Enciclopédia Biosfera*, v. 6, p. 1-15, 2010

SANTOS, Milton. **Brasil Território e Sociedade no início do Século XXI**. 11ª Ed. Rio de Janeiro: Editora Record, 2000.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAMA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. In: BOREM, A. et al. (Ed.). **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 109-145.

SILVA, C.B.; LEITE, R.S.M.; PINTO, F.A.C.; MÜLLER, C.A.S.; MOURA, A.D. The economic feasibility of precision agriculture in Mato Grosso do Sul State, Brazil: a case study. **Precision Agriculture**, Viçosa, v. 8, p. 255–265, 2007.

SILVEIRA, José Maria da. **Das teorias de inovação induzida às teorias de crescimento endógeno**. 2014. 225p. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Unicamp, Campinas, 2014.

SINCLAIR, A., CROOKS, B. & COULL, M. **Soils information, texture and liming recommendations**. Technical Note TN656, SRUC Aberdeen, 2014.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 80-89, 2014.

SIQUEIRA, d. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. *Geoderma*, Amsterdam, v. 155, p. 55-66, 2010.

SÍNTESE OCUPAÇÃO E SITUAÇÃO DAS TERRAS NO BRASIL. Embrapa, 2018. Disponível em <https://www.embrapa.br/car/sintese#:~:text=As%20%C3%A1reas%20de%20pastagens%20nativas,representam%208%25%20do%20territ%C3%B3rio%20nacional>. Acesso em: 11 dez. de 2022.

SKOPURA, L.A.; MANZATO, C.V. **Sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019.

SOUSA, D. M. G. De LOBATO, E. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUZA, G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em um Argissolo sob pastagem. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 30, n. 4, p. 589-596, 2008.

SWINTON, S.M.; LOWENBERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. *Journal of Production Agriculture*, Michigan, v. 11, n. 4, p. 439-446, 1998.

TAN, R. et al. Aluminum toxicity in sorghum genotypes as influenced by solution acidity. *Soil Sci*, v. 28, n. 36, 2013.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos e análise de solos**. Brasília: Embrapa, 2017.

TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS*, v. 108, n. 50, p. 20.260-20.264, 2011.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4th. Ed Macmillan, New York, USA, 2015

VALLADARES, G. S. et al. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia [online]**, 2003, v. 62, n. 1, 2004.

VIAN, Carlos Eduardo de Freitas; ANDRADE JÚNIOR, Adilson Martins. **Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48., 2010, Campo Grande. Anais... Campo Grande: Sober, 2010.

VITTI, Godofredo César; QUEIROZ, Fábio Eduardo de Campos; OTTO, Rafael; QUINTINO, Thiago Aristides. **Nutrição e Adubação de Cana-de-Açúcar**. Piracicaba – SP: ESALQ/USP, 2002.

VITTI, G. **Utilização agrônômica de corretivos agrícolas**. Piracicaba: FEALQ/. gAPE, 2000.

XIANG, Y.; JI-YUN, J.; PING, H.; MING-ZAO, L. Recent advances on the technologies to increase fertilizer use efficiency. **Agricultural Sciences in China**, Oxford, v. 7, n. 4, p. 469-479, 2008.

YAMADA, M. et al. Origin of climbing fiber neurons and their developmental dependence on Ptf1a. *J. Neurosci.* 27, 10924–10934. 2004.

YANG, C.; EVERITT, J.H.; BRADFORD, J.M. Comparisons of uniform and variable rate nitrogen and phosphorus fertilizer applications for grain sorghum. **Transactions of the ASABE**, St Joseph, v. 44, n. 2, p. 201-209, 2001.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. C.; HILLESHEIM, J. Adubação fosfatada e potássica da soja no Cerrado. Piracicaba, Potafos, 2002. p.1-5. (Informações Agronômicas, 28).

APÊNDICE

APÊNDICE A - Tabela resultante de *Teste T de Student*, demonstração de resultados após análise ao nível de 5% de probabilidade.

Elemento	RS	MS	GO
pH	0	0	0
Cálcio	0	0	0
Magnésio	0	0	0
Argila	0.0025	0	0.0046
Fósforo	0	0	0
CTC ph7	0.417	0	0
Potássio	0.028	0	0
Enxofre	0.0003	0	0
Al	0	0	0