

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Eduardo de Lima Sardinha Barreto

**Propriedades químicas e avaliação da fertilidade em cambissolo submetido a diferentes sistemas
de cultivo**

**Montes Claros
2022**

Eduardo de Lima Sardinha Barreto

Propriedades químicas e avaliação da fertilidade em Cambissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo

Versão final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes.

Montes Claros
Fevereiro de 2022

Barreto, Eduardo de Lima Sardinha.

B273p
2022

Propriedades químicas e avaliação da fertilidade em cambissolo submetido a diferentes sistemas de cultivo [manuscrito] / Eduardo de Lima Sardinha Barreto. Montes Claros, 2022.

37 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Luiz Arnaldo Fernandes.

Banca examinadora: Leidivan Almeida Frazão, Rodinei Facco Pegoraro, Maria das Dores Magalhães Veloso, Luiz Arnaldo Fernandes..

Inclui referências: f. 36-37.

I. Solos -- Conservação -- Teses. 2. Solos -- Amostragem -- Teses. 3. Adubação -- Teses. 4. Solos -- Composição -- Teses. 5. Solos -- Análise -- Teses. I. Fernandes, Luiz Arnaldo. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Ciências Agrárias
Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 21 dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 9:00 horas, sob a Presidência do Professor Luiz Arnaldo Fernandes, D. Sc. (Orientador – UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Leidivan Almeida Frazão, D. Sc. (UFMG/ICA), Rodinei Facco Pegoraro, D. Sc. (UFMG/ICA) e Maria das Dores Magalhães Veloso, D. Sc. (Unimontes), reuniu-se, presencialmente, a Banca de Defesa de Dissertação de **EDUARDO DE LIMA SARDINHA BARRETO**, aluno do Curso de Mestrado em Produção Vegetal. Após avaliação da defesa de Dissertação do referido aluno, a Banca Examinadora procedeu à publicação do resultado da defesa de Dissertação intitulada: "**Propriedades químicas do solo de amostras coletadas em diferentes profundidades e sistemas de cultivo**", sendo o aluno considerado **aprovado**. E, para constar, eu, Professor Luiz Arnaldo Fernandes, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: O aluno somente receberá o título após cumprir as exigências do ARTIGO 68 do regulamento do Curso de Mestrado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 68 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, no mínimo 3 (três) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou, 4 (quatro) exemplares impressos e 1 (um) exemplar eletrônico da tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 21 de fevereiro de 2022.

Luiz Arnaldo Fernandes

Orientador

Leidivan Almeida Frazão

Membro

Rodinei Facco Pegoraro

Membro

M^a das Dores Magalhães Veloso

Membro



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Arnaldo Fernandes, Servidor(a)**, em 11/04/2022, às 12:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria das Dores Magalhaes Veloso, Usuário Externo**, em 11/04/2022, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rodinei Facco Pegoraro, Professor do Magistério Superior**, em 11/04/2022, às 17:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leidivan Almeida Frazao, Professora do Magistério Superior**, em 12/04/2022, às 08:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1377931** e o código CRC **BF11982F**.

Dedico este trabalho a todos os integrantes da cadeia produtiva de alimentos da região do Norte do estado de Minas Gerais.

Sigamos sempre confiantes, em qualquer situação!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, *Campus* Montes Claros, pela colaboração técnica e financeira para realização desta experimentação agrícola.

Aos Notáveis Membros (as) de minha Banca Examinadora.

Ao meu Professor Orientador Luiz Arnaldo Fernandes, estendendo à todos os que contribuíram com minha capacitação, registro meu testemunho de intenso aprendizado e agradeço pela motivação ao longo dessa proveitosa jornada que trilhamos.

Reconheço o valor de minha Esposa Fabíola e meus Filhos Bernardo e Otavio, que compreenderam a nobreza do trabalho que escolhi desenvolver e suportaram o tempo em que renunciaram minha companhia quando foi preciso.

Aos meus Pais Valter (em memória, 06/05/1947 a 02/04/2022) e Moema, Irmãos Walter Jr. e Flávio e Irmã Márcia Regina, ofereço minha indelével gratidão, por tudo que já vivenciamos, sempre solidários.

Agradeço a Capes, a Fapemig e ao CNPq pelo apoio financeiro para a realização das análises de solo.

Por fim, realço a oportunidade da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e demais bacias hidrográficas do país – CODEVASF, para que este colaborador da empresa cumprisse este expediente.

Muito obrigado!

“Em momentos desafiadores, pessoas comuns unem-se para superar as dificuldades impostas à humanidade. A inteligência compartilhada transforma-se em sabedoria transmitida. Que sejam lembrados...”

ELSB

RESUMO

A região Norte de Minas Gerais possui condições de solo e de clima que favorecem a mineralização da matéria orgânica do solo, sendo o sistema de plantio direto uma alternativa para a conservação do carbono no solo. Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar as propriedades químicas e a fertilidade do solo em diferentes profundidades de amostragem em área irrigada com água calcária, cultivada em sistema de plantio direto e sistema convencional, no município de Montes Claros / MG. Foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 0 a 20 cm de profundidade de três diferentes áreas – não cultivadas, plantio convencional e plantio direto. De modo geral, verificou-se baixos valores de intervalo de confiança das amostras aleatórias coletadas em cada talhão avaliado, assim como para o enquadramento em classes de interpretação dos valores médios, mínimos e máximos de cada variável. Para o fósforo, não houve diferenças quanto as recomendações de doses de P_2O_5 em função da camada de solo amostrada. Para o potássio, no sistema de cultivo convencional, as quantidades de K_2O a serem recomendadas foram diferentes em função da classe de interpretação dos resultados das camadas 0 a 10 e 0 a 20 cm de profundidade enquanto que, para o sistema de plantio direto, não houve diferenças nas doses a serem recomendadas.

Palavras-chave: Reação do solo. Amostragem do solo. Recomendação de adubação. Alcalinidade do solo.

ABSTRACT

CHEMICAL PROPERTIES AND FERTILITY ASSESSMENT IN CAMBISOL SUBMITTED TO DIFFERENT CULTIVATION SYSTEMS

The Northern region of Minas Gerais has soil and climate conditions that favor the mineralization of soil organic matter, and the no-tillage system is an alternative for the conservation of carbon in the soil. In this context, the objective of this study was to evaluate the soil fertility at different sampling depths in areas irrigated with calcareous water, cultivated in no-tillage and conventional system in Montes Claros/MG. Soil samples were collected in layers from 0 to 10, 10 to 20 and 0 to 20 cm in depth from three different areas – uncultivated, conventional and no-tillage. In general, low confidence interval values were found for the random samples collected in each area evaluated, as well as for classification into classes of interpretation of the average, minimum and maximum values of each variable. For phosphorus, there were no differences in P_2O_5 dose recommendations as a function of the soil layer sampled. For potassium, in the conventional cultivation system, the amounts of K_2O to be recommended were different depending on the interpretation class of the results of the layers 0 to 10 and 0 to 20 cm of depth, while, for the no-tillage system, there were no differences in the doses to be recommended.

Keywords: Soil reaction. Soil sampling. Fertilizer recommendation. Soil alkalinity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Área experimental. (foto: arquivo pessoal do autor, 11/2020).....	16
Figura 2	Área experimental sob plantio convencional irrigado após a colheita e 1ª aração. (foto: arquivo pessoal do autor, 11/2020).....	17
Figura 3	Área experimental sob plantio direto irrigado após a colheita. (foto: arquivo pessoal do autor, 11/2020)	17
Figura 4	Materiais empregados para amostragens de solo. (foto: arquivo pessoal do autor, 11/2020).	18
Figura 5	Marcação de ponto e delimitação de profundidade de amostragem. (foto: arquivo pessoal do autor, 11/2020).	18
Figura 6	Realização da amostragem nas entrelinhas sob SPD. (foto: arquivo pessoal do autor, 11/2020).	19
Figura 7	Área de amostragem no Cambissolo não irrigado e não cultivado. (foto: arquivo pessoal do autor, 11/2020).....	19
Gráfico 1	Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de acidez ativa de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: M = médio; A = alto e; MA = muito alto.	25
Gráfico 2	Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de cálcio (A) e magnésio (B) trocáveis de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....	26
Gráfico 3	Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de potássio trocável de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....	28
Gráfico 4	Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de matéria orgânica do solo - MOS (A) e enxofre (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....	29
Gráfico 5	Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de CTC potencial (A) e saturação por bases (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD).	

Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....31

Gráfico 6 Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de fósforo disponível (A) e remanescente (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....32

Gráfico 7 Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de boro de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....34

Gráfico 8 Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de ferro (A) e manganês (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....35

Gráfico 9 Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de cobre (A) e zinco (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.....36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultado da análise química da água de irrigação.....	20
Tabela 2	Média e intervalo de confiança (máximo e mínimo) dos valores de pH, fósforo (P) disponível, P remanescente, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions potencial (CTC), saturação por bases (V) e matéria orgânica do solo (MOS).....	21
Tabela 3	Média e intervalo de confiança (máximo e mínimo) dos valores de enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn).....	22
Tabela 4	Relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K de amostras de solos coletas em áreas não cultivada, de sistema convencional e plantio direto, em diferentes profundidades de amostragem.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo	16
1.2	Material e métodos	16
2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3	CONCLUSÕES	37
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

A região Norte de Minas Gerais é caracterizada por apresentar temperaturas relativamente elevadas ao longo do ano e distribuição irregular de chuvas (ALVARES *et al.*, 2013). Nessas condições, para maior segurança dos cultivos, a irrigação das lavouras é uma prática regular na região.

A alcalinidade altera as propriedades do solo, principalmente a disponibilidade de nutrientes, por exemplo, pela formação de precipitados, como fosfato de cálcio, alterações nas relações de nutrientes, principalmente na elevação das relações Ca/Mg e Ca/K e, pela precipitação de micronutrientes que se encontram na forma catiônica na solução do solo (NUNES *et al.*, 2013; VALADARES *et al.*, 2014).

Em função das condições favoráveis para mineralização da matéria orgânica do solo, a adoção do sistema de plantio direto, sem revolvimento periódico do solo, pode ser uma alternativa para as áreas cultivadas na região do estudo. No Sul do Brasil, em áreas de plantio, tem-se observado alterações nas propriedades do solo, principalmente nas camadas superficiais (SCHERER *et al.*, 2007; ACQUA *et al.*, 2013).

Dessa forma, dependendo do tempo de instalação, diferentes recomendações de amostragem têm sido propostas para áreas de plantio direto, principalmente quanto as profundidades das camadas de solo a serem amostradas (SILVEIRA; STONE, 2002; ACQUA *et al.*, 2013).

No método de amostragem de coleta de amostras simples de solo, aleatoriamente, em áreas homogêneas quanto ao tipo e uso do solo e clima, por exemplo, utiliza-se de valores médios (amostra composta) para interpretação dos resultados e manejo da fertilidade do solo (GUARÇONI *et al.* (2017). A amostragem aleatória é tão eficiente quanto a amostragem sistemática ou em grid, desde que não ocorram macrodependência espacial entre os pontos de coleta da unidade amostral ou área homogênea.

A macrodependência refere-se às diferenças, por exemplo, de material de origem do solo e do clima de uma unidade amostral, enquanto que a mesodependência está relacionada as dependências espaciais que ocorrem no interior da unidade amostral (ANDERSON *et al.*, 2003).

Após a coleta, as amostras de solo são analisadas em laboratório e os resultados são interpretados de acordo com as classes de fertilidade para fins de definição das doses de nutrientes a serem aplicadas.

Na maioria dos manuais ou boletins de recomendação de correção do solo e adubação, as doses de nutrientes a serem aplicadas, são proporcionais ao enquadramento dos resultados quanto as classes de interpretação e a produtividade esperada (NOVAIS *et al.*, 2007).

Por outro lado, nos últimos anos, tem-se aumentado a preocupação com as emissões de gases de efeito estufa para atmosfera, principalmente daqueles provenientes das atividades agrícolas.

Nesse contexto, a adoção de sistemas de cultivos com pouco ou nenhum revolvimento do solo, como o plantio direto, tem se destacado, por proporcionar condições que favorecem o acúmulo de matéria orgânica do solo.

Inicialmente, a adoção de sistemas de plantio direto visava principalmente a conservação dos solos contra os agentes erosivos. Com o passar dos anos, verificou-se o grande potencial desses sistemas em estocar carbono e melhorar o condicionamento do solo.

Nos sistemas convencionais de cultivo, onde há o revolvimento das camadas superficiais do solo pela aração e gradagens entre semeaduras, a camada de solo a ser amostrada para fins de avaliação da fertilidade é a de 0 a 20 cm de profundidade.

Portanto, os métodos de recomendação de correção da acidez do solo e a adubação são calibrados para camadas de 20 cm de espessura.

Com a consolidação do sistema de plantio direto, novos procedimentos de amostragem do solo têm sido propostos, principalmente quanto a profundidade de amostragem, uma vez que em sistemas já implantados, a aplicação de corretivos da acidez e fertilizantes, quando necessários, são aplicados em superfície, sem a incorporação mecânica.

Além disso, em sistemas de plantio direto, o acúmulo e a decomposição de resíduos orgânicos resultantes da colheita sobre a superfície do terreno, altera positivamente as propriedades físicas, químicas biológicas dos solos cultivados.

Na região Norte do estado de Minas Gerais, as áreas sob plantio direto ainda são incipientes quanto comparadas à região sul do Brasil. No entanto, com a preocupação de melhorar atributos de fertilidade do solo na região, áreas sob o plantio direto tem aumentado discretamente nos últimos anos, impulsionado inclusive pelos recentes programas governamentais de incentivo à conservação do carbono do solo.

Nessa região mineira, predomina o clima tropical Aw, com elevadas temperaturas ao longo de todo o ano e distribuição irregular das chuvas, concentradas principalmente nos meses de novembro a março. Em função deste clima, a prática de irrigação das culturas é amplamente utilizada afim de evitar prejuízos decorrentes das estiagens prolongadas e, ou das secas.

Altas temperaturas ao longo de todo ano, associadas a adequada umidade do solo, pH próximo a neutralidade e alta disponibilidade de nutrientes decorrentes da irrigação com água calcária e adubações, favorecem a mineralização matéria orgânica no solo (Moreira; Siqueira, 2006) e, conseqüentemente, redução do estoque de carbono do solo.

No município de Montes Claros/MG, parte dos solos são originados de rochas calcárias e pelíticas do Grupo Bambuí (SAMPAIO; FERNANDES, 2021). Tanto o material de origem quanto o uso de águas calcárias de poços tubulares conferem, aos solos, elevados valores de cálcio, de carbonatos livres e de pH (VALADARES *et al.*, 2014).

Os solos originados dessas rochas possuem naturalmente pH próximo a neutralidade, assim como as águas dos aquíferos são cársticas.

O uso de águas calcárias na irrigação, provenientes de poços artesianos, contribuem para o aumento do pH do solo e de alguns elementos, principalmente de cálcio.

Isto posto, buscou-se avaliar se ocorreriam diferenças na classificação dos níveis dos atributos químicos de Cambissolo para três diferentes profundidades de amostragem e, se haveriam diferentes interpretações, para fins de adubações, na área estudada, entre o manejo convencional e o sistema de plantio direto conduzidos em dois talhões irrigados com água calcária, em uma área homogênea.

1.1 Objetivo

O objetivo desse estudo foi avaliar as propriedades químicas e a fertilidade do solo em diferentes profundidades de amostragem em área irrigada com água calcária, cultivada em sistema de plantio direto e sistema convencional, no município de Montes Claros / MG.

1.2 Material e métodos

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro (FEHAN), do Instituto de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Minas Gerais, *Campus* Regional Montes Claros – MG (16° 41' de latitude S e 43° 50' de longitude W e altitude de 646,29m), (FIGURA 1).

Figura 1 – Área experimental



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Para avaliar as propriedades químicas do solo em diferentes profundidades, foram amostradas três áreas: uma área de 2,1 hectares, irrigada por aspersão (pivot central), subdividida em duas frações idênticas, uma sob o sistema convencional, a outra sob o plantio direto e uma área adjacente, não cultivada (controle).

A área irrigada é homogênea quanto a topografia e tipo de solo e é cultivada com culturas anuais irrigadas desde o ano de 2003, em sistema convencional de cultivo, com arações e gradagens (FIGURA 2).

A partir de 2018, metade dessa área irrigada passou a ser cultivada em sistema de plantio direto (sem revolvimento do solo) (FIGURA 3).

Figura 2 – Área experimental sob plantio convencional irrigado após a colheita e 1ª aração



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Figura 3 – Área experimental sob plantio direto irrigado após a colheita



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

A adubação praticada na área de estudo, para os híbridos de milho comerciais, pode chegar a 330 kg/ha de fertilizante formulado NPK 4-30-10, distribuídos no sulco de semeadura, abaixo e ao lado das sementes, no espaçamento de 0,8 metros entre linhas e 5 sementes por metro linear.

A complementação em cobertura pode chegar a 80 kg/ha de K_2O , na forma de cloreto de potássio, parcelados em duas aplicações, enquanto que a de nitrogênio pode ser de até 120 kg/ha, na forma de sulfato de amônio ou ureia, conforme as conveniências circunstanciais de pesquisas na área exigirem, parcelados em três aplicações. Todas as aplicações de fertilizantes em cobertura são realizadas via fertirrigação (informações do ICA).

Dessa forma, foram coletadas amostras de solo na área não cultivada, na área irrigada em sistema convencional de cultivo e na área irrigada em sistema de plantio direto. Em cada uma das três áreas, foram coletadas amostras simples nas camadas 0 a 10, 10 a 20 e de 0 a 20 cm de profundidade (FIGURAS 4 e 5).

Figura 4 – Materiais empregados para amostragens de solo



Foto: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Figura 5 – Marcação de ponto e delimitação de profundidade de amostragem



Foto: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Na área sob plantio convencional, foram coletadas aleatoriamente (caminhamento em zig-zag) 10 amostras simples de solo nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 0 a 20 cm de profundidade, após o preparo do solo para o próximo plantio, em novembro de 2020, totalizando 30 (trinta) amostras.

Nessa mesma ocasião e na área sob plantio direto, também foram coletadas, aleatoriamente, 10 amostras simples de solo nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 0 a 20 cm de profundidade, antes da implantação de novo cultivo, nas entrelinhas de semeadura, totalizando mais 30 (trinta) amostras (FIGURA 6).

Figura 6 – Realização da amostragem nas entrelinhas sob SPD



Foto: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Da mesma forma, na área não cultivada e sem irrigação, foram coletadas 10 amostras simples de solo, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. Esta área estava localizada no entorno ao pivot central, portanto mesmo topografia e tipo de solo. Na época da amostragem a vegetação era constituída por plantas espontâneas (FIGURA 7).

Figura 7 – Área de amostragem no Cambissolo não irrigado e não cultivado



Foto: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório para a determinação das propriedades químicas relacionadas a fertilidade do solo, conforme Teixeira *et al.* (2017). De acordo com metodologia utilizada, o pH do solo (acidez ativa foi determinado em água; P disponível e K trocável pelo extrato Mehlich 1; P remanescente com solução de cloreto de cálcio com 60 mg L⁻¹ de P; cálcio, magnésio e alumínio trocáveis extraídos com cloreto de potássio; acidez potencial (H+Al) extraída com acetado de cálcio e; matéria orgânica do solo determinada por via úmida com dicromato de potássio (método Walkley e Black).

O resultado da análise química da água de irrigação, captada de poço tubular profundo e utilizada durante o presente estudo é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultado da análise química da água de irrigação (metodologia de Standard Methods, APHA, 1998)

Água de irrigação									
pH	CE	Ca	Mg	Na	Cl	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	
	dS m ⁻¹	----- mmo L ⁻¹ -----							
7,8	1,84	15,3	5,6	33,1	5,2	0,0	19,0	12,7	

Legenda: pH (potencial hidrogeniônico, que é uma escala logarítmica que indica com valores de 0 a 14 se a água é ácida, neutra ou básica), CE (condutividade elétrica utilizado como parâmetro para quantificação da salinidade), RAS (Relação de Adsorção de Sódio que expressa a atividade relativa dos íons de sódio em reações de intercâmbio catiônico com o solo), CO₃²⁻ (carbonatos), HCO₃⁻ (bicarbonatos), Ca, Mg, Na e Cl (demais íons).

Para cada variável foi calculada a média e o intervalo de confiança estimado pelo teste t de Student a 5% de probabilidade. Os resultados foram enquadrados nas classes de interpretação da fertilidade do solo, de acordo com o proposto em Alvarez *et al.* (1999). Foram calculadas as relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K de amostras de solos e correlações de Pearson entre a matéria orgânica do solo, P remanescente e capacidade de troca de cátions potencial.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os valores médios, mínimos e máximos, de acordo com os respectivos intervalos de confiança, estimados para cada variável analisada.

De modo geral, observa-se que as amplitudes, diferença entre os valores máximo e mínimo de uma variável, foram relativamente baixas. Esses resultados indicam que a coleta aleatória das amostras simples de uma área homogênea é uma alternativa para a avaliação da fertilidade média da mesma.

De acordo com Guarçoni *et al.* (2017), existem basicamente dois modelos de amostragem de solo para fins de avaliação da fertilidade do solo, a amostragem aleatória e a amostragem sistemática. De acordo com esses autores, a amostragem aleatória está fundamentada na distribuição aleatória das variáveis e independência entre pontos de coleta. Nesse caso, a fertilidade média de uma área homogênea, estimada pela análise de uma amostra composta, proveniente de amostras simples, não requer qualquer procedimento estatístico.

Por outro lado, a amostragem sistemática ou em grid considera a dependência espacial entre os pontos de coleta das amostras e, fundamenta-se nos princípios da geoestatística para a construção dos mapas fertilidade do solo de uma área (GUARÇONI *et al.*, 2017). A amostragem sistemática, geralmente utilizada na agricultura de precisão, necessita de um maior investimento financeiro, haja vista o maior tempo a ser dedicado para a coleta e ao número de amostras a serem analisadas no laboratório.

Tabela 2 – Média e intervalo de confiança (máximo e mínimo) dos valores de pH, fósforo (P) disponível, P remanescente, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions potencial (CTC), saturação por bases (V) e matéria orgânica do solo (MOS)

(Continua)

	Controle			Plantio convencional			Plantio direto		
	0 a 10	10 a 20	0 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 20
pH									
Média	6,5A	6,0M	6,3A	7,5MA	7,5MA	7,4MA	7,6MA	7,2MA	7,8MA
Mínimo	6,4A	5,6M	6,0M	7,4MA	7,4MA	7,2MA	7,5MA	7,1MA	7,7MA
Máximo	6,6A	6,4A	6,6A	7,6MA	7,5MA	7,5MA	7,6MA	7,3MA	7,9MA
P disponível (mg dm⁻³)									
Média	1,4MB	1,2MB	1,3MB	39,8MA	57,9MA	66,8MA	43,2MA	35,3MA	45,2MA
Mínimo	1,1MB	1,0MB	1,0MB	24,7A	50,0MA	48,8MA	40,1MA	29,4MA	26,1MA
Máximo	1,7MB	1,4MB	1,5MB	54,9MA	65,7MA	84,8MA	46,3MA	41,3MA	64,2MA
P remanescente(mg L⁻¹)									
	22,1	20,5	21,0	24,5	30,8	30,2	30,4	30,6	29,6
Média	21,2	19,6	20,2	23,3	29,6	28,3	29,2	29,6	27,4
Mínimo	23,0	21,3	21,8	25,6	32,1	32,1	31,6	31,5	31,9
K (mg dm⁻³)									

Tabela 2 – Média e intervalo de confiança (máximo e mínimo) dos valores de pH, fósforo (P) disponível, P remanescente, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca de cátions potencial (CTC), saturação por bases (V) e matéria orgânica do solo (MOS)

(Conclusão)

Média	116A	131MA	121MA	150MA	189MA	101A	105A	67M	92A
Mínimo	112A	128MA	118A	136MA	165MA	80A	97A	56M	77A
Máximo	120MA	134MA	124MA	163MA	212MA	123MA	112A	77A	107A
Ca (cmol_c dm⁻³)									
Média	5,79MA	5,30MA	5,60MA	8,75MA	7,64MA	7,27MA	7,91MA	8,41MA	7,62MA
Mínimo	6,09MA	5,83MA	6,00MA	8,90MA	7,86MA	7,52MA	8,37MA	8,53MA	7,82MA
Máximo	5,49MA	4,77MA	5,20MA	8,60MA	7,42MA	7,02MA	7,44MA	8,29MA	7,41MA
Mg (cmol_c dm⁻³)									
Média	0,65M	0,68M	0,66M	0,77M	0,73M	1,59MA	1,86MA	1,56MA	1,45A
Mínimo	0,61M	0,59M	0,59M	0,63M	0,63M	1,33A	1,38M	1,29A	1,19A
Máximo	0,70M	0,77M	0,73M	0,92M	0,83M	1,84MA	2,35MA	1,82MA	1,71MA
T (cmol_c dm⁻³)									
Média	7,87A	7,73A	7,80A	10,7MA	9,62MA	9,86MA	10,7MA	11,0;MA	9,94MA
Mínimo	7,64A	7,48A	7,56A	10,5MA	9,36MA	9,70MA	10,5MA	10,8MA	9,75MA
Máximo	8,10MA	7,98A	8,04MA	10,9MA	9,89MA	10,0MA	11,0MA	11,2MA	10,1MA
V (%)									
Média	85,5MA	81,3MA	88,0MA	92,9MA	92,0MA	92,5MA	93,5MA	92,2MA	93,6MA
Mínimo	83,7MA	77,4MA	85,8MA	92,8MA	91,6MA	92,0MA	93,2MA	92,0MA	93,2MA
Máximo	87,4MA	85,2MA	90,3MA	93,1MA	92,3MA	93,0MA	93,9MA	92,5MA	94,0MA
MOS (dag dm⁻³)									
Média	1,49B	1,35B	1,42B	1,53B	1,71B	1,51B	2,04A	1,94B	1,50B
Mínimo	1,40B	1,23B	1,32B	1,47B	1,61B	1,40B	1,93B	1,84B	1,40B
Máximo	1,57B	1,46B	1,52B	1,60B	1,80B	1,62B	2,15A	2,04A	1,59B

Classes de interpretação: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.

Tabela 3 – Média e intervalo de confiança (máximo e mínimo) dos valores de enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn)

(Continua)

	Controle			Plantio convencional			Plantio direto		
	0 a 10	10 a 20	0 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 20
S (mg dm⁻³)									
Média	3,7MB	2,7MB	2,0MB	6,0B	5,4B	4,1MB	6,7B	6,1B	5,8B
Mínimo	3,5MB	2,6MB	1,9MB	6,0B	5,3B	4,1MB	6,6B	6,0B	5,7B
Máximo	3,9MB	2,8MB	2,1MB	6,1B	5,5B	4,2MB	6,8B	6,2B	5,9B
B (mg dm⁻³)									

Tabela 3 – Média e intervalo de confiança (máximo e mínimo) dos valores de enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn)

(Conclusão)

Média	0,6M	0,4M	0,5M	0,6M	0,6M	0,4M	0,6M	0,5M	0,5M
Mínimo	0,5M	0,3B	0,4M	0,5M	0,5M	0,3B	0,5M	0,4M	0,4M
Máximo	0,7A	0,5M	0,6M	0,7A	0,7A	0,5M	0,7A	0,6M	0,6M
Cu (mg dm⁻³)									
Média	0,9M	0,8M	0,8M	1,0M	1,0M	0,8M	1,1M	1,0M	0,8M
Mínimo	0,8M	0,7B	0,7B	0,9M	0,9M	0,7B	1,0M	0,9M	0,7B
Máximo	1,0M	0,9M	0,9M	1,1M	1,1M	0,9M	1,2M	1,1M	0,9M
Fe (mg dm⁻³)									
Média	43,5A	61,2MA	50,0MA	42,3A	44,2A	43,2A	46,0MA	46,9MA	52,7MA
Mínimo	42,6A	60,4MA	49,2MA	41,2A	43,4A	42,2A	44,4A	44,4A	51,4MA
Máximo	44,4A	62,1MA	50,9MA	43,3A	45,0A	44,1A	47,6MA	49,4MA	54,1MA
Mn (mg dm⁻³)									
Média	21,7MA	25,0MA	23,0MA	18,8MA	23,4MA	18,9MA	24,2MA	26,0MA	25,6MA
Mínimo	21,1MA	23,8MA	21,9MA	18,4MA	22,4MA	18,2MA	23,1MA	24,2MA	23,9MA
Máximo	22,3MA	26,3MA	24,2MA	19,1MA	24,3MA	19,7MA	25,4MA	27,8MA	27,4MA
Zn (mg dm⁻³)									
Média	1,0M	0,8B	0,8B	1,6A	1,9A	1,1A	2,3MA	1,8A	2,0A
Mínimo	0,9B	0,7B	0,7B	1,5M	1,8A	1,0A	2,2MA	1,7A	1,7A
Máximo	1,1M	0,9B	0,9B	1,7A	2,0A	1,2A	2,4MA	1,9A	2,3MA

Classes de interpretação: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto.

No presente estudo, a homogeneidade das áreas amostradas foi fundamental para os baixos valores de intervalo de confiança. Em áreas muito grandes pode ocorrer a macrodependência espacial entre os pontos de coleta, devido as diferenças, por exemplo de material de origem do solo e do clima (ANDERSON *et al.*, 2003). Já a mesodependência, de acordo com esses autores, se referem as dependências espaciais que ocorrem no interior da área considerada homogênea.

Para cada variável, os valores médios, mínimos e máximos foram enquadrados nas classes de interpretação (Alvarez V. *et al.*, 1999), podendo ser classificados como muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto (TABELAS 2 e 3).

De acordo com Novais *et al.* (2007), a interpretação dos resultados da análise de solo e recomendações de correção do solo e de adubações, presentes nos manuais ou boletins, apresentam basicamente três fases: correlação, calibração e curvas de respostas das culturas às doses de nutrientes.

Na fase de correlação são definidos os extratores e, na fase de calibração são definidos os níveis críticos para o enquadramento dos resultados em amplitudes de valores (faixas), conforme a probabilidade de resposta das culturas. Na terceira fase, curva de resposta específica para cada cultura,

são definidas as doses de nutrientes a serem aplicadas em função do enquadramento dos resultados quanto as classes de interpretação e produtividade esperada. A maioria dos manuais ou boletins de recomendação de correção e adubação utilizam tabelas para a definição das doses.

No presente trabalho, verificou-se, de modo geral, que os valores médios, mínimos e máximos foram enquadrados na mesma classe de interpretação (TABELAS 2 e 3), exceto para o boro e para o cobre que apresentaram um maior número de valores mínimos e máximos com diferenças de interpretação (TABELA 3). Esses resultados se justificam em função das classes de interpretação (ALVARES *et al.*, 1999), uma que diferenças de 0,1 unidade para o boro e, 0,01 unidade para o cobre, já são suficientes para a mudança de classe de interpretação.

De acordo com o manual ou boletim de recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (ALVARES *et al.*, 1999), para maioria das culturas, as recomendações de fósforo e de potássio são realizadas de acordo com as classes de interpretação da disponibilidade desses nutrientes. Para o fósforo, considerando os valores médios das camadas de 0 a 10 e 0 a 20, que são as camadas de referência para as recomendações de adubação, não haveria diferença entre as doses de P_2O_5 a serem aplicadas, independentemente da camada a ser utilizada (TABELA 2).

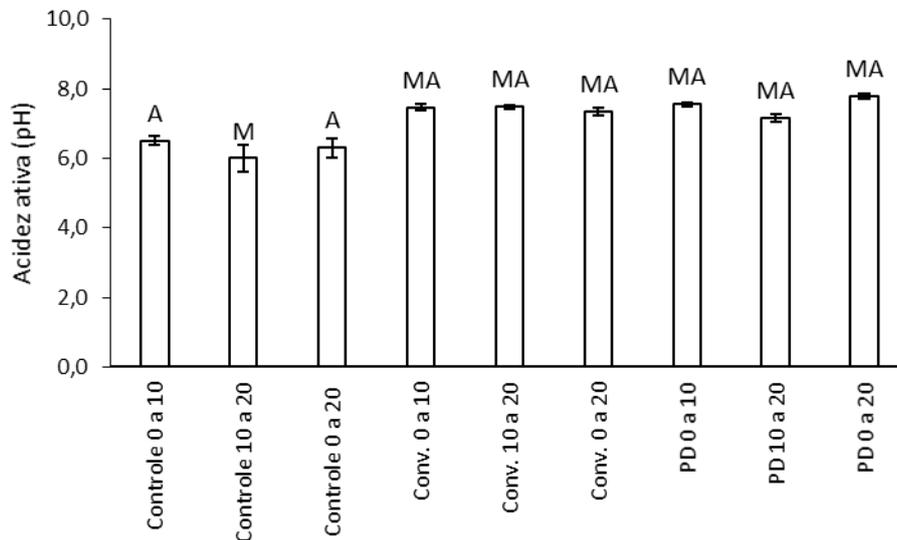
Para o potássio, na área não cultivada (controle), a interpretação dos resultados das camadas 0 a 10 e 0 a 20 cm de profundidade foram alto (119 mg dm^{-3} de K) e muito alto (121 mg dm^{-3}), respectivamente e, portando, as doses de K_2O a serem aplicadas serão diferentes. Nesse caso, o valor para a mudança de classe é 120 mg dm^{-3} de K (ALVARES *et al.*, 1999), ou seja, uma pequena diferença nos teores de K do solo ocasiona uma diferença significativa na dose a ser aplicada do nutriente, o que pode ser considerada uma deficiência do método de recomendação de adubação.

Para o sistema de cultivo convencional, a interpretação dos resultados das camadas 0 a 10 e 0 a 20 cm de profundidade foram muito alto (150 mg dm^{-3} de K) e alto (101 mg dm^{-3}), respectivamente e, portando, as doses de K_2O a serem aplicadas serão diferentes.

Por outro lado, para o sistema de plantio direto, embora os valores numéricos sejam diferentes, as doses de K_2O a serem aplicadas serão as mesmas, independentemente se utilizar a análise da camada de 0 a 10 (105 mg dm^{-3} K) ou de 0 a 20 cm (92 mg dm^{-3} K) de profundidade.

Em relação as variáveis determinadas, verificou-se que os valores médios de pH do solo (acidez ativa - íons hidrogênio na solução solo), independentemente da área e da profundidade de amostragem, variaram de alto (pH entre 6,1 a 7,0) a muito alto (pH maior que 7,0), de acordo com as classes de interpretação para a acidez ativa do solo (ALVAREZ, 1989), (GRÁFICO 1). De acordo com o intervalo de confiança das médias, os menores valores foram obtidos na área não cultivada, independentemente da camada de solo amostrada.

Gráfico 1 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de acidez ativa de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Nas três áreas amostradas, controle, sistema convencional e plantio direto, os valores de acidez potencial trocável (Al^{+3}) foram iguais a zero. Em solos com pH acima de 6,0 as formas de Al^{+3} são convertidas para $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_2^+$ e $Al(OH)_3$, que são formas de alumínio menos tóxicas para as plantas (NOVAIS *et al.*, 2007).

Os elevados valores de pH do solo podem ser atribuídos ao material de origem - rochas calcárias (SAMPAIO; FERNANDES, 2021) e ao uso de água de poço tubular rica em carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-) (TABELA 1).

Fernandes *et al.* (2008) estudando as propriedades do solo de bananais irrigados com água calcária ao longo de 10 anos, verificaram elevados valores de pH do solo e cálcio trocável, ausência de formas de alumínio tóxicas para as plantas, demonstrando a influência da irrigação nos fatores de acidez do solo.

Na área em estudo, o uso do fertilizante ureia como fonte de nitrogênio para as plantas pode ter sua eficiência reduzido devido as perdas de $N-NH_3$ por volatilização (VALADARES *et al.*, 2014).

De acordo com esses autores, trabalhando na mesma área do presente estudo, a utilização do adubo sulfato de amônio nas adubações de cobertura do milho contribuiu para a redução do pH, uma vez que, durante o processo nitrificação, ocorre a formação de íons hidrogênio, responsáveis pela acidificação do solo.

Os valores médios de cálcio trocável, independentemente da camada de solo amostrada, variaram de 5 a 6 $cmol_c\ dm^{-3}$, na área não cultivada (controle) a 7 a 9 $cmol_c\ dm^{-3}$ nas áreas cultivadas (GRÁFICO 2A).

Embora os menores valores tenham sido observados na área não cultivada, os teores de cálcio foram classificados como muito alto, de acordo com as classes de interpretação de disponibilidade (ALVARES *et al.*, 1999).

Os elevados valores de cálcio certamente relacionados ao material de origem do solo (SAMPAIO; FERNANDES, 2021).

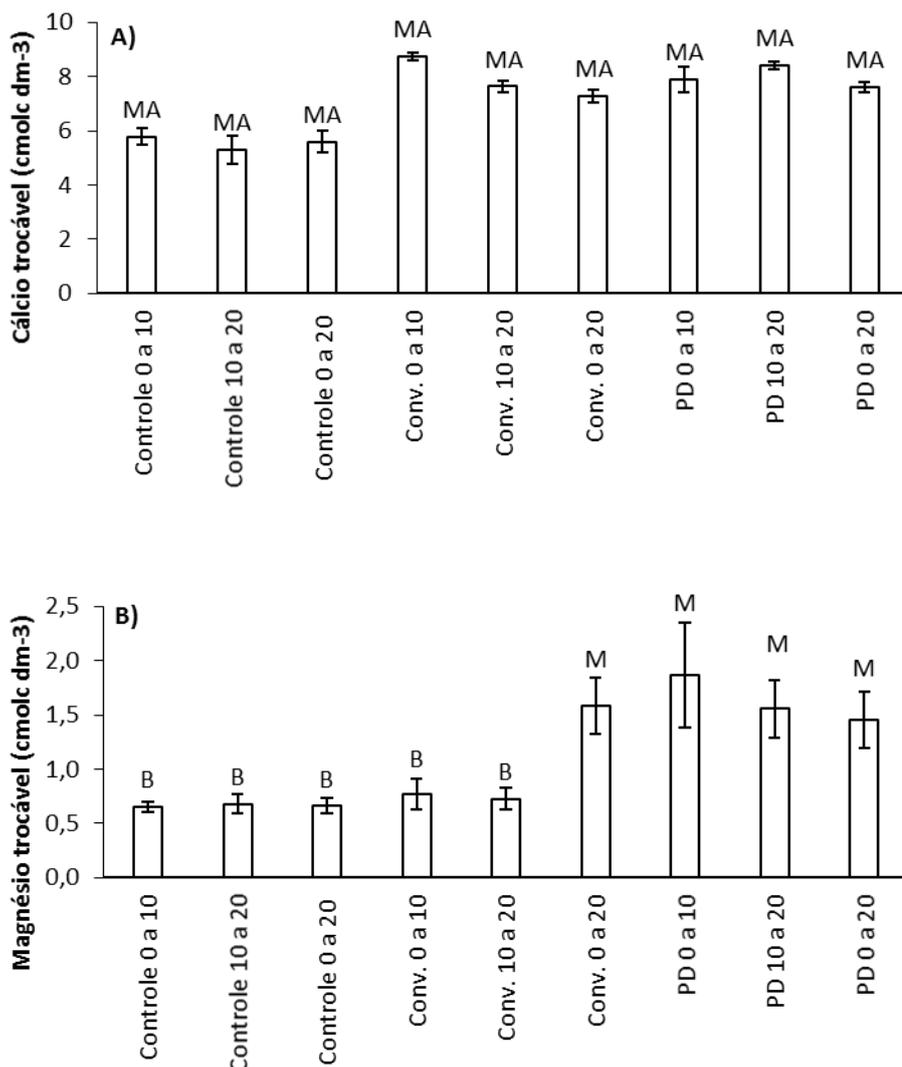
Nas áreas cultivadas, os valores mais elevados em relação a área não cultivada podem ser atribuídos a água de irrigação, rica nesse elemento (TABELA 1).

Teores muito elevados de cálcio trocável podem causar problemas nutricionais para as plantas.

Em áreas cársticas, a irrigação com água de poços tubulares, ricas em Ca e de carbonato livre, elevam o pH do solo e podem alterar as relações Ca^{2+}/K^+ e Ca^{2+}/Mg^{2+} , por exemplo (GERENDÁS; RATCLIFFE, 2000; BRITO *et al.*, 2014; NUNES *et al.*, 2013).

Relções muito elevadas podem causar problemas nutricionais de Mg e K, decorrentes da menor absorção desses elementos nessas condições (Malavolta *et al.*, 1987).

Gráfico 2 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de cálcio (A) e magnésio (B) trocáveis de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Para o magnésio trocável, os valores variaram de baixo ($0,7$ a $0,8$ $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) a médio ($1,5$ a $1,9$ $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), sendo os maiores teores obtidos nas amostras coletadas na camada de 0 a 20 cm do sistema convencional e nas amostras coletadas no sistema de plantio direto, independentemente da camada de solo amostrada (GRÁFICO 2B).

Na Tabela 4 são apresentadas as relações Ca/Mg para as diferentes áreas e camadas de solo amostradas. As relações Ca/Mg variaram de $4/1$ (PD 0 a 10 cm) a $11,4/1$ (Conv. 0 a 10 cm). Para a maioria das plantas cultivadas, recomenda-se, de modo geral, que a relação Ca/Mg do solo seja de aproximadamente $4/1$ (NOVAIS *et al.*, 2007).

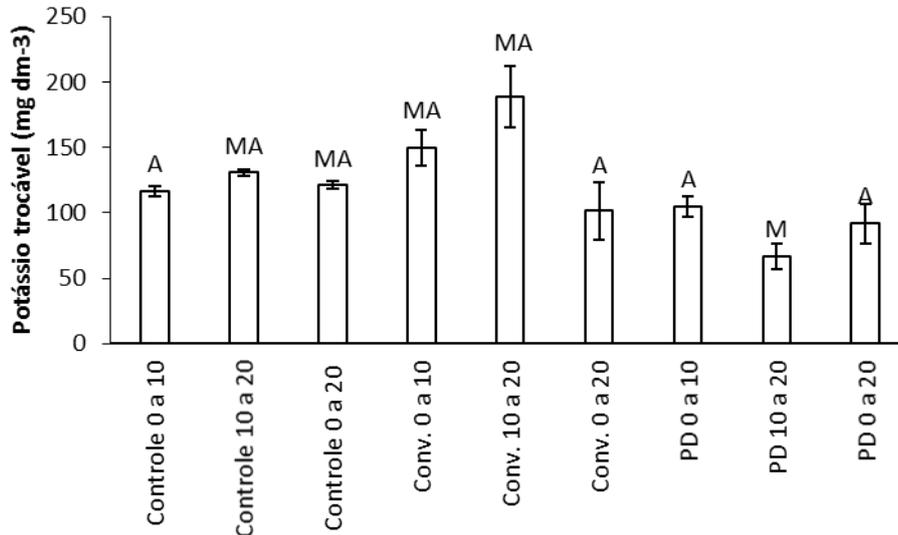
Em solos com relação Ca/Mg muito elevadas podem ocorrer deficiência de Mg induzida pelo excesso de Ca, uma vez que esses elementos competem pelo mesmo sítio da proteína responsável pelo processo de absorção iônica (MALAVOLTA *et al.*, 1997). Nessas condições de inibição competitiva, deve-se aumentar as doses do elemento em menor disponibilidade. Em solos com elevada relação Ca/Mg, uma alternativa para adequar essa relação é a utilização de corretivos da acidez com teores mais elevados de Mg. No presente estudo, em que o pH do solo já está elevado, uma alternativa seria o uso de fertilizantes contendo magnésio, como o sulfato de magnésio.

Tabela 4 – Relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K de amostras de solos coletas em áreas não cultivada, de sistema convencional e plantio direto, em diferentes profundidades de amostragem

Relação	Controle			Convencional			Plantio direto		
	0 a 10	10 a 20	0 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 20	0 a 10	10 a 20	0 a 20
Ca/Mg	8,9/1	7,8/1	8,5/1	11,4/1	10,5/1	4,6/1	4,2/1	5,4/1	5,2/1
Ca/K	19,4/1	15,8/1	18,0/1	22,8/1	15,8/1	28,0/1	29,5/1	49,3/1	32,4/1
Mg/K	2,2/1	2,0/1	2,1/1	2,0/1	1,5/1	6,1/1	6,9/1	9,1/1	6,2/1

Os valores médios de potássio trocável (GRÁFICO 3) variaram de alto ($70,1$ a 120 mg dm^{-3}) a muito alto (maior que 120 mg dm^{-3}) de acordo com as classes de interpretação de disponibilidade (ALVAREZ *et al.*, 1999), exceto para a camada de 10 a 20 cm de profundidade, no sistema plantio direto, que o valor médio foi classificado como médio (40 a 70 mg dm^{-3}). Os valores elevados de potássio provavelmente estão relacionados a presença de moscovita no solo das áreas amostradas (SAMPAIO; FERNANDES, 2021).

Gráfico 3 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de potássio trocável de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Em relação a adubação potássica em função da disponibilidade de potássio no solo, a camada amostrada, de acordo com os resultados obtidos, influenciará na dose a ser aplicada desse nutriente. No sistema convencional, caso se utilizar amostras coletadas na camada de 0 a 10 cm de profundidade, a dose a ser aplicada será equivalente a reposição de potássio exportado pela cultura. No entanto, se usar a camada de 0 a 20 cm de profundidade, a dose de potássio será equivalente a manutenção vinculada a extração do nutriente pela planta. Para o sistema de plantio direto, caso se utilize K disponível na camada de 0 a 10 cm de profundidade ou a camada de 0 a 20 cm de profundidade, a dose a ser aplicada equivale a adubação de manutenção, enquanto que na camada de 10 a 20 cm de profundidade, a adubação deve ser equivalente a adubação de correção para elevar o teor de potássio no solo para acima de 70 mg dm⁻³ (nível crítico), mais a adubação de manutenção (ALVAREZ *et al.*, 1999).

A adubação de manutenção, realizada quando o teor de nutriente está adequado (faixa alta) considera a quantidade de nutriente exportada pelas colheitas e a quantidade de perda de eficiência dos fertilizantes no solo.

Quando o teor de nutriente está muito alto, pode-se omitir a aplicação do nutriente ou aplicar apenas a quantidade exportada pelas colheitas.

Em relação as relações Ca/K e Mg/K, de modo geral, recomenda-se relações Ca/K de aproximadamente 8/1 e Mg/K de 2/1. No presente estudo, verificou relações Ca/K bastante elevadas quando comparadas ao valor de referência (8/1) enquanto que as relações Mg/K estavam mais equilibradas.

Nesse caso, para equilibrar as relações Ca/K, recomenda-se a aplicação de fertilizantes contendo potássio.

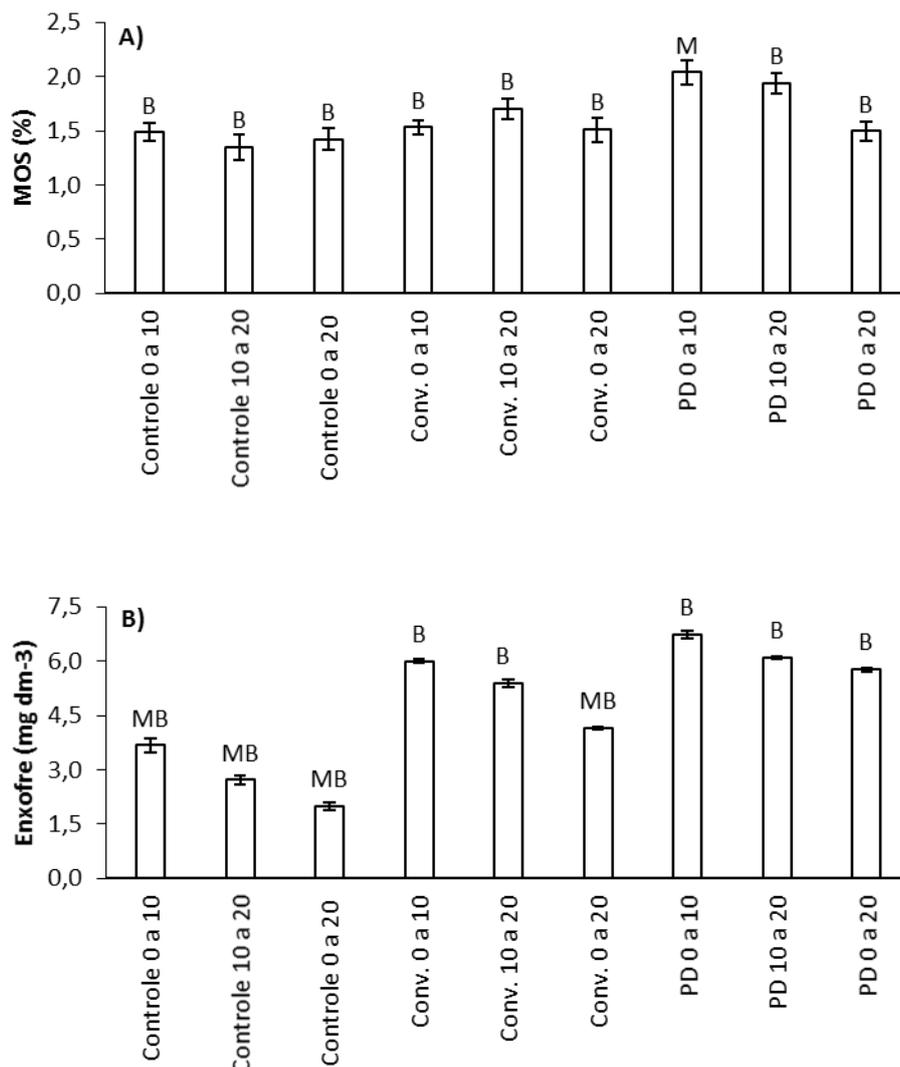
Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) foram baixos, exceto no sistema de plantio direto, na camada superficial de 0 a 10 cm de profundidade, em que o teor foi médio (GRÁFICO 4A).

Mesmo no sistema de plantio direto, onde há palhada proveniente das colheitas, apesar de mudar de classe de classificação (ALVAREZ *et al.*, 1999), não foi estatisticamente diferente da camada de 10 a 20 cm de profundidade.

Esses resultados podem ser explicados pelo pequeno tempo de adoção do sistema de plantio direto – apenas três anos – às condições climáticas da região e ao manejo das áreas, valendo-se de fertilizantes e irrigação.

No Norte de Minas Gerais, as elevadas temperaturas ao longo do ano, associadas aos demais fatores que afetam a mineralização, como a umidade do solo, decorrente da irrigação, pH próximo a 7 e alta disponibilidade de nutrientes adubações podem comprometer o acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Gráfico 4 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de matéria orgânica do solo - MOS (A) e enxofre (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Nas áreas sob plantio direto do sul do Brasil, onde as temperaturas são mais amenas, verifica-se um aumento dos teores de MOS do solo nos sistemas de plantio direto, e conseqüentemente aumento os estoques de carbono no solo contribuindo para a mitigação das emissões de gás carbônico para a atmosfera. Verificou-se aumentos significativos nos teores de carbono do solo ao longo de 21 anos de plantio direto no município de Guarapuava – PR, cuja temperatura, ao longo do ano, varia de 8 °C a 25 °C, sendo raramente inferior a 2 °C ou superior a 28 °C (COSTA *et al.*, 2004). Comparadas com as condições do presente estudo, além da idade do sistema de plantio direto, o clima influencia grandemente no acúmulo de matéria orgânica do solo.

Santana *et al.* (2018), ao avaliarem os impactos causados por diferentes sistemas de cultivo, plantio direto e convencional, nas propriedades físicas e químicas do solo no município de Açailândia-MA, não verificaram diferenças significativas entre os sistemas de cultivos. De acordo com os autores, em função que o sistema de plantio direto possuía apenas dois de implantação, portanto, ainda não consolidado.

Os valores médios de enxofre (GRÁFICO 4B) variam de muito baixo a baixo, de acordo com as classes de disponibilidade (ALVAREZ *et al.*, 1999). Os menores valores foram observados na área não cultivada e na camada de 0 a 20 cm de profundidade no sistema convencional. Além da utilização de fertilizantes contendo enxofre, como o sulfato de amônio.

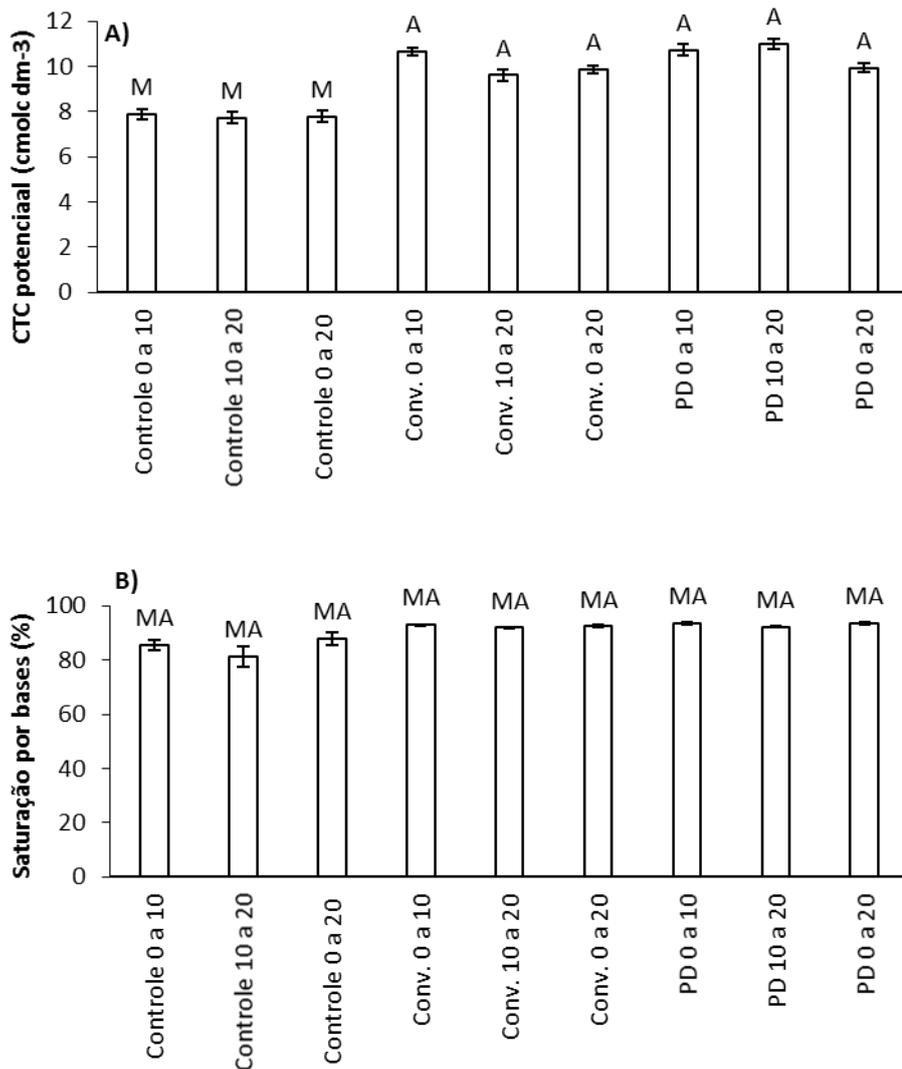
O enxofre apresenta uma forte correlação com os teores de matéria orgânica do solo (NOVAIS *et al.*, 2007). No presente estudo, os teores de matéria orgânica e enxofre apresentaram coeficiente de correlação de Pearson de 0,75 ($p < 0,05$).

A capacidade de troca de cátions potencial (CTC), estimada pela soma dos teores de Ca, Mg e K trocáveis e acidez potencial (H+Al), variou de média (8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) a alta (10 a 11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) (GRÁFICO 5A), conforme as classes de interpretação (ALVAREZ *et al.*, 1999).

Os maiores valores de CTC foram obtidos nas áreas cultivadas, sistema convencional e plantio direto, certamente em função dos maiores valores de pH, teores de cálcio, decorrentes da água de irrigação e da matéria orgânica do solo.

No presente estudo, os teores de matéria orgânica e CTC apresentaram coeficiente de correlação de Pearson de 0,74 ($p < 0,05$).

Gráfico 5 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de CTC potencial (A) e saturação por bases (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto

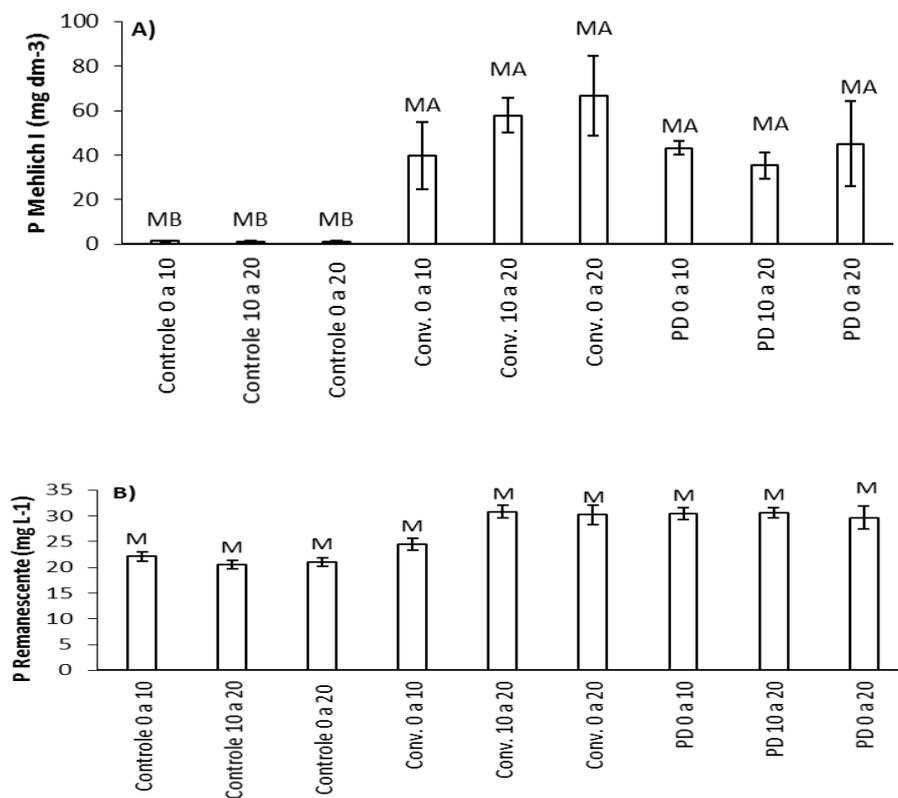


A saturação por bases, estimada pela relação entre a soma de bases trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}) e a CTC potencial, independentemente da área e da camada de solo amostrada foi classificada como muito alta (GRÁFICO 5B), de acordo com as classes de interpretação (ALVAREZ *et al.*, 1999). Esses resultados se justificam, uma vez que a saturação por bases é estimada por uma relação matemática, de forma que, solos com baixas soma de bases trocáveis e baixa CTC podem apresentar valores de saturação por bases semelhante ao de solos com alta soma de bases e alta CTC.

No presente estudo, caso seja utilizado o método da saturação por bases para recomendação de corretivos da acidez do solo, não haveria necessidade de calagem. Essa constatação é corroborada pelos altos valores de pH e de cálcio trocável. No entanto, para equilibrar as relações Ca/Mg, como discutido anteriormente, poder-se-ia utilizar um fertilizante contendo magnésio.

Os teores médios de fósforo disponível, extraído pelo Mehlich 1, independentemente da camada de solo amostrada, apresentou valores muito baixos na área não cultivada e valores muito altos nas áreas cultivadas (GRÁFICO 6A). Os maiores valores de fósforo disponível nas áreas cultivadas podem ser atribuídos as adubações fosfatadas realizadas ao longo dos últimos 17 anos. Além disso, a manutenção do pH do solo em valores próximos a 7,0 evita a fixação dos íons fosfatos ($H_2PO_4^-$, forma predominante em pH menor que 7,0 e; HPO_4^{2-} , forma predominante em pH maior que 7,0), tanto por precipitação com íons ferro e alumínio presentes na solução solo, quanto pela adsorção as cargas elétricas positivas das argilas (óxidos de ferro e óxidos de alumínio). Por outro lado, os elevados teores de cálcio trocável, provenientes do material de origem do solo (SAMPAIO; FERNANDES, 2021) e da água de irrigação (TABELA 1), podem precipitar com os íons fosfatos e diminuir a disponibilidade para as plantas. No entanto, no presente estudo, o extrator utilizado para a determinação do P disponível foi o Mehlich 1, que é um extrator ácido, formado pela mistura de ácido clorídrico e ácido sulfúrico, que solubiliza fosfatos de cálcio, podendo superestimar a disponibilidade de P para as plantas. Nessa situação, o método da resina de troca iônica é o mais recomendado para a determinação do P disponível (SILVA; RAIJ, 1996).

Gráfico 6 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de fósforo disponível (A) e remanescente (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Nas áreas cultivadas, sistema convencional e plantio direto, os valores de P disponível variaram de 35 mg dm⁻³ (PD 10 a 20) a 67 mg dm⁻³ (Conv. 0 a 20). Embora tenha-se uma variação de significativa, os valores de fósforo disponível foram enquadrados na mesma classe de interpretação, muita alta (ALVAREZ, 1999). Para fins de recomendação de fósforo, utilizando-se das tabelas presentes nos boletins ou manuais de recomendação, a dose a ser aplicada desse nutriente seria a mesma, independentemente do sistema de cultivo e da camada de solo amostrada.

Para os P remanescente, independentemente da área e da camada de solo amostrada, os valores foram classificados como médios (20 a 30 mg L⁻¹) (GRÁFICO 6B). O P remanescente é um teste rápido e simples para a determinação da capacidade de fixação de P pelo solo, proposto por Alvarez *et al.* (2000) e, representa a concentração de P da solução de equilíbrio de um ponto das isotermas utilizadas nos estudos de fixação de fósforo (ROGERI *et al.*, 2017). Dessa forma, no presente estudo, as amostras de solo apresentam média capacidade de fixação de fósforo, possivelmente atribuída a mineralogia do solo, baixos teores de óxidos de ferro e alumínio (SAMPAIO; FERNANDES, 2021) e aos elevados valores de pH (FIGURA 8).

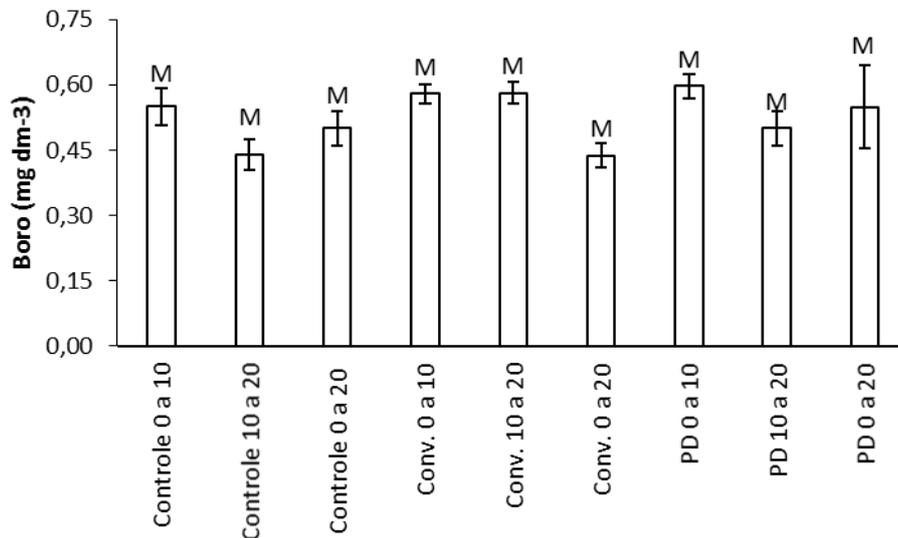
Além da mineralogia e da acidez do solo, a matéria orgânica do solo aumenta os valores de P remanescente, reduzindo a capacidade do solo em fixar fósforo (ANDRADE *et al.*, 2002). Em sistemas de plantio direto, o aumento dos teores de matéria orgânica do solo ao longo dos anos contribui para a menor fixação de fósforo, ou aumento da eficiência das adubações fosfatadas, uma vez que os ligantes orgânicos dos compostos orgânicos podem complexar íons alumínio da solução solo, bloquear os sítios de adsorção das argilas e ainda formar pontes de cátions com os íons fosfatos (SANTOS *et al.*, 2008).

Para os teores de boro no solo não houve efeito das áreas e das camadas de amostragem do solo (GRÁFICO 7), sendo classificados como médio, de acordo com as classes de interpretação de disponibilidade (ALVAREZ *et al.*, 1999).

A disponibilidade de boro no solo, além do material de origem, é afetada pelo pH e pela matéria orgânica do solo.

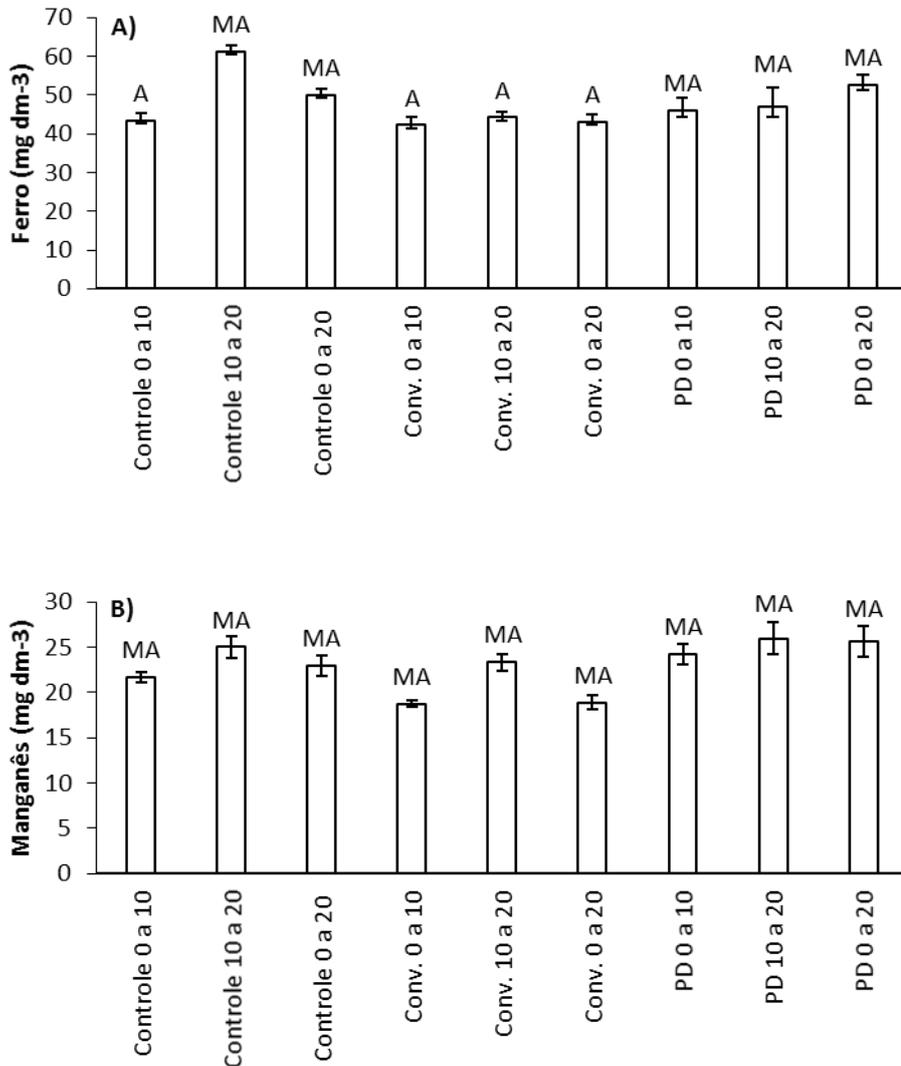
A maior disponibilidade de boro ocorre na faixa de pH de 5,0 a 7,0 e, de modo geral, quanto maior o teor de MOS, maior a disponibilidade desse elemento (SOARES *et al.*, (2005). Na faixa de pH do solo próxima ao neutro o boro está na forma de ácido bórico (H₃BO₄) e as menores disponibilidade desse nutriente ocorre em solos mais arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, como alguns solos da região dos Cerrados (SANTOS *et al.*, 2021).

Gráfico 7 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de boro de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Para os micronutrientes ferro (GRÁFICO 8A) e manganês (GRÁFICO 8B), os teores foram classificados como alto a muito alto, de acordo com Alvarez *et al.* (1999). Embora tenham ocorridas diferenças significativas, os teores de ferro variam de 43 a 61 mg dm⁻³ e os de manganês de 19 a 26 mg dm⁻³, não observando uma relação direta com o pH do solo, que é um dos fatores que mais afeta a disponibilidade desses elementos. Os elevados teores podem estar associados ao material de origem do solo do presente estudo, que naturalmente apresentam teores altos desses elementos (SAMPAIO; FERNANDES, 2021).

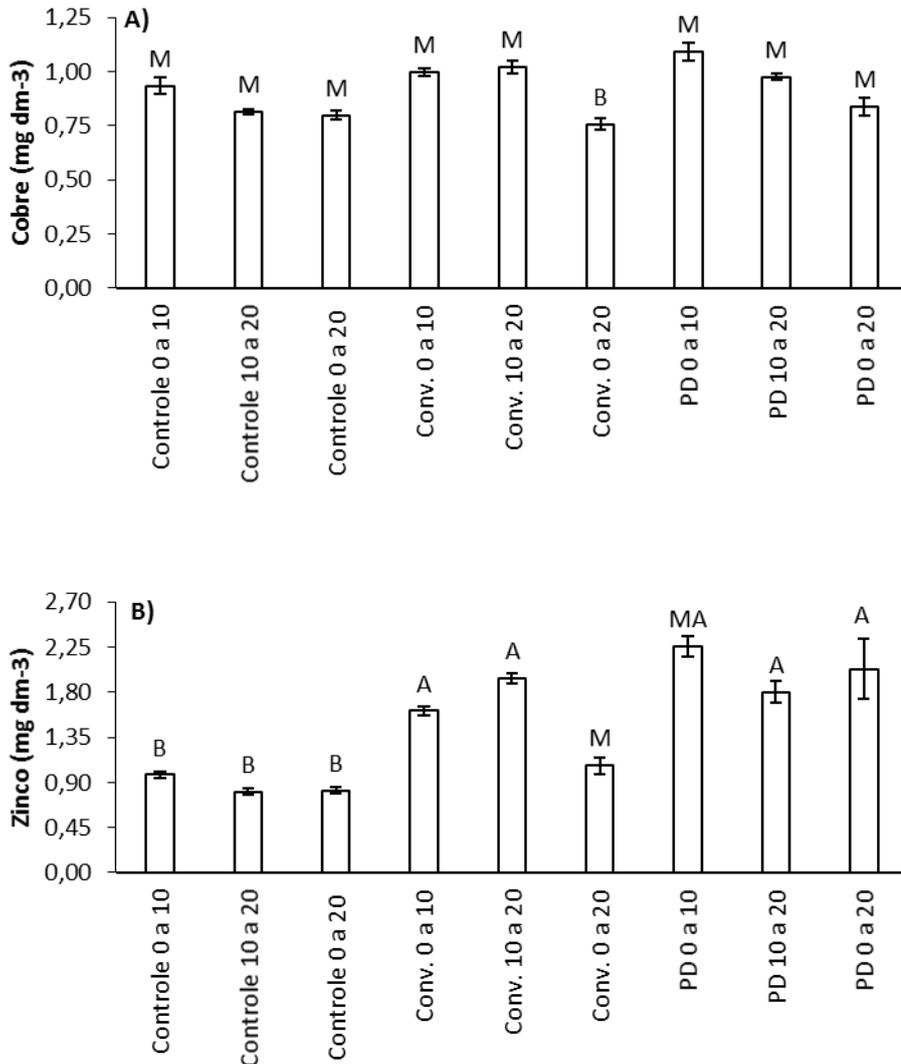
Gráfico 8 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de ferro (A) e manganês (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Os teores de cobre (GRÁFICO 9A), independentemente da área e da camada de solo amostrada, apresentou teores classificados como médio (ALVARES *et al.*, 1999), enquanto que os teores de zinco variaram de baixo a muito alto (GRÁFICO 9B).

Em função das baixas exigências das culturas, a matéria orgânica é uma importante fonte de micronutrientes para as plantas. No entanto, em solos com teores muito elevados de MOS, diferentemente da área estudada, pode ocorrer uma diminuição da disponibilidade dos micronutrientes que estão na forma de cátions na solução do solo (Fe^{+3} , $\text{Fe}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Fe}(\text{OH})_2^{+}$, Fe^{+2} , Mn^{+4} , Mn^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} , Ni^{+2}) devido as reações de complexação (SANTOS *et al.*, 2021). Da mesma forma, segundo ainda esses autores, as formas catiônicas de micronutrientes podem tornarem-se indisponíveis para as plantas em valores de pH próxima a 7,0, devido as reações de precipitação com OH⁻.

Gráfico 9 – Média e intervalo de confiança (linhas verticais no interior das barras) dos valores de cobre (A) e zinco (B) de amostras de solo coletadas nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a cm de profundidade em área não cultivada (controle), sistema de cultivo convencional (Conv.) e de plantio direto (PD). Interpretação dos valores médios: MB = muito baixo; B = baixo; M = médio; A = alto e; MA = muito alto



Os micronutrientes podem apresentar interações com outros elementos do solo, alterando a absorção dos mesmos pelas plantas. Para o manganês, elevados teores na solução reduziu a absorção P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn por plantas de pimenta do reino (VELOSO *et al.*, 1995). Para o ferro, altos teores de fósforo podem ocasionar menor fluxo difusivo desse elemento, causando deficiências nutricionais, assim como o excesso de absorção de P diminui a concentração ativa de ferro na planta (NUNES *et al.*, 2004). Da mesma forma, teores elevados de fósforo insolubiliza o Zn na superfície das raízes das plantas, diminuindo a absorção desse micronutriente (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

No caso específico da interação P e Zn, por ser um processo de inibição não competitiva, não adianta aumentar as doses de zinco via solo. Uma alternativa, nesses casos de altos teores de P é a aplicação de zinco via foliar (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

3 CONCLUSÕES

De acordo com as classes de interpretação dos resultados de análises de solo, a coleta aleatória de amostras simples, em três profundidades do Cambissolo estudado, em uma mesma área homogênea, irrigada com água calcária e sob os sistemas convencional e de plantio direto, permitiu avaliar satisfatoriamente os atributos químicos de fertilidade.

Caso seja utilizado o método da saturação por bases para recomendação de corretivos da acidez do solo, não haverá necessidade de calagem no momento.

Os teores de matéria orgânica do solo (MOS) foram baixos, exceto no sistema de plantio direto, na camada superficial de 0 a 10 cm de profundidade, em que o teor foi médio, constatada a mudança de nível de classificação (ALVAREZ *et al.*, 1999), apesar de não ter sido estatisticamente diferente da camada de 10 a 20 cm de profundidade, em função do pequeno tempo de adoção do sistema de plantio direto – apenas três anos – às condições climáticas da região e ao manejo das áreas, valendo-se de fertilizantes e irrigação.

Para fins de recomendação de adubação fosfatada, não houve diferenças nas doses de P_2O_5 a serem recomendadas em função da camada de solo amostrada nos dois sistemas.

Para o potássio, no sistema de cultivo convencional, as quantidades de K_2O a serem recomendadas foram diferentes em função da classe de interpretação dos resultados das camadas 0 a 10 e 0 a 20 cm de profundidade, enquanto que, para o sistema de plantio direto, não houve diferenças nas doses a serem recomendadas.

A programação de adubações, nas duas áreas sob diferentes sistemas de cultivo, deve considerar as relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K mais adequadas, a melhor escolha de fertilizantes formulados comerciais, o potencial produtivo de cada cultura e a amostragem do solo para análise dos atributos químicos de fertilidade, previamente às sementeiras.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACQUA, N. H. D. *et al.* Métodos de amostragem de solos em áreas sob plantio direto no Sudoeste Goiano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 117–122, 2013.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo da irrigação**, 2. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 528 p.
- ALVAREZ, V. V. H. *et al.* Uso de gesso agrícola. *In*: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.67-78.
- ANDERSON, M. C., W. P. KUSTAS, J. M. Norman. **Upscaling and downscaling**: A regional view of the soil-plant-atmosphere continuum. *Agron. J.* 95: 1408-1423, 2003.
- ANDRADE, A. T.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Organic residue, limestone, gypsum, and phosphorus adsorption by lowland soils. **Scientia Agrícola (USP)**, Piracicaba, v. 59, p. 349-355, 2002.
- COLOMBO, G. A. *et al.* Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Campo Digital**, v. 12, n. 1, 2017.
- COSTA, F. S. *et al.* Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p.587-589, mar. / abr. 2004.
- FERNANDES, L. A. *et al.* Fertilidade do solo, nutrição mineral e produtividade da bananeira irrigada por dez anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1575-1581, 2008.
- GUARÇONI, A., ALVAREZ, V. V. H., SOBREIRA, F. M. Fundamentação teórica dos sistemas de amostragem de solo de acordo com a variabilidade de características químicas. **Terra Latinoamericana**, v. 35, p. 343-352, 2017.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.
- MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola**: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- NUNES, F. N. *et al.* Fluxo difusivo de ferro em solos sob influência de doses de fósforo e de níveis de acidez e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 423-429, 2004.
- OLIVEIRA, P. *et al.* **Sistema Santa Brígida – Tecnologia Embrapa**: Consorciação de Milho com Leguminosas. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa, 2010. (Circular Técnica, 88).
- ROS, C. O. da *et al.* Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. UNICRUZ. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, set. / out. 2003.
- SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Aspectos geológicos e pedológicos dos solos do município de Montes Claros - MG. **Agrarian Sciences Journal**, v. 13, p. 1-18, 2021.
- SANTANA, J. S. *et al.* Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 15 n. 27; p. 22, 2018.
- SCHERER, E. E; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 123-131, 2007.
- SILVA, F. C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 34, p. 267-288, 1999.

SILVA, G. J. C. da; SOUZA, E. C.; MARTINS, H. E. de P. **RESR**, Piracicaba, SP, v. 50, n. 2, p. 333-350, Abr. / Jun. 2012.

SANTOS, D. R.; GATIBONIII, L. C.; KAMINSKII, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, mar. / abr. 2008.

SOARES, M. R.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. Parâmetros termodinâmicos da reação de adsorção de boro em solos tropicais altamente intemperizados. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1014-1022, 2005.

SANTOS, F. D. *et al.* Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 25, n. 2, p. 272-278, jul. / dez. 2021.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017.

VALADARES, R. V. *et al.* Teores de nutrientes no solo e nutrição mineral do milho em áreas irrigadas com água calcária. **Revista Caatinga**, v. 27, p. 169-176, 2014.

VELOSO, C. A. C. *et al.* Influência do manganês sobre a nutrição mineral e crescimento da pimenteira do reino (*Piper nigrum*, L.). **Scientia Agricola**, v. 52, n. 2, p. 376-383, 1995.