

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
CURSO DE AGRONOMIA

**COMPARAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS DE
CULTIVO COM DIFERENTE HISTÓRICO DE MANEJO E EM
MATA NATIVA**

JOÃO VICTOR SOUZA ALVES

Goiânia
2025

JOÃO VICTOR SOUZA ALVES

**COMPARAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS DE
CULTIVO COM DIFERENTE HISTÓRICO DE MANEJO E EM
MATA NATIVA**

Artigo apresentado como requisito parcial para
composição de média final na disciplina de
Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de
graduação em Agronomia, da Pontifícia
Universidade Católica de Goiás, PUC-Goiás.

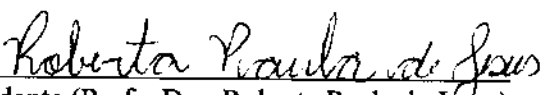
Orientador: Profa. Dra. Roberta Paula de Jesus

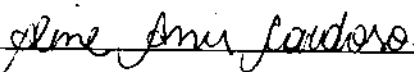
Goiânia
2025

JOÃO VICTOR SOUZA ALVES

**COMPARAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS DE
CULTIVO COM DIFERENTE HISTÓRICO DE MANEJO E EM
MATA NATIVA**

BANCA EXAMINADORA


Presidente (Profa. Dra. Roberta Paula de Jesus)
Pontifícia Universidade Católica de Goiás


Membro I (Profa. Dra. Aline Assis Cardoso)
Pontifícia Universidade Católica de Goiás


Membro II (Prof. Dr. Roberto Toledo de Magalhães)
Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Aprovada em 13/06/2025

COMPARAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS DE CULTIVO COM DIFERENTE HISTÓRICO DE MANEJO E EM MATA NATIVA

COMPARISON OF SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN FARM AREAS WITH DIFFERENT MANAGEMENT HISTORY AND IN NATIVE FORESTS

RESUMO

A fertilidade do solo é influenciada por fatores como uso da terra, práticas de manejo e profundidade do perfil. Este trabalho teve como objetivo comparar atributos químicos do solo em áreas agrícolas com diferentes históricos de manejo e em área de vegetação nativa de Cerrado, no município de Goiânia – GO. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4×2 , com quatro tratamentos (tipos de uso do solo) e duas profundidades (0–20 cm e 20–40 cm), totalizando 40 unidades amostrais. Foram avaliados: pH, matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al^{3+}), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%) e a relação entre cátions e a CTC (Ca/T, Mg/T, K/T, $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}/\text{T}$). Os resultados demonstraram que a área anteriormente utilizada para confinamento de bovinos, atualmente cultivada com soja e milho (T3), apresentou os melhores indicadores de fertilidade, refletindo o acúmulo de matéria orgânica e nutrientes. A área sob vegetação nativa (T4) apresentou maior acidez e teores de Al^{3+} , com baixa saturação por bases, típica de Latossolos sob Cerrado. O fósforo apresentou valores elevados nas áreas cultivadas, com destaque para T2 e T3, o que pode representar risco de contaminação ambiental por excesso de P. De modo geral, as áreas sob plantio direto e com uso de cobertura vegetal apresentaram melhores condições químicas do solo, especialmente na camada superficial.

Palavras-chave: fertilidade do solo, uso e manejo, Latossolo, Cerrado, adubação, profundidade.

ABSTRACT

Soil fertility is influenced by factors such as land use, management practices, and soil profile depth. This study aimed to compare chemical attributes of the soil in agricultural areas with different management histories and in a native Cerrado vegetation area, located in Goiânia – GO, Brazil. The experiment was conducted in a completely randomized design, in a 4×2 factorial scheme, with four treatments (types of land use) and two soil depths (0–20 cm and 20–40 cm), totaling 40 sampling units. The following variables were evaluated: pH, organic matter (OM), phosphorus (P), potassium (K), sulfur (S), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminum (Al^{3+}), potential acidity ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), cation exchange capacity (CEC), base saturation ($\text{V}\%$), and the ratio between cations and CEC (Ca/T , Mg/T , K/T , $\text{H}^+ + \text{Al/T}$). The results showed that the area previously used for cattle confinement and currently cultivated with soybean and millet (T3) presented the best fertility indicators, reflecting the accumulation of organic matter and nutrients. The native vegetation area (T4) showed higher acidity and Al^{3+} levels, with low base saturation, typical of Latosols under Cerrado. Phosphorus levels were high in the cultivated areas, especially in T2 and T3, which may pose a risk of environmental contamination due to P surplus. In general, areas under no-tillage and with cover crops showed better soil chemical conditions, particularly in the surface layer.

Keywords: soil fertility, land use and management, Latosol, Cerrado, fertilization, soil depth.

SUMÁRIO

	LISTA DE TABELAS.....	7
1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVO.....	9
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1	O solo.....	9
3.2	Fertilidade do solo.....	10
3.3	Uso e manejo do solo em sistema agrícola.....	11
3.4	Efeitos do confinamento animal sobre o solo.....	11
3.5	Solo sob mata nativa.....	12
3.6	Influência da profundidade do solo na distribuição e disponibilidade de nutrientes.....	13
3.7	Métodos de avaliação da fertilidade do solo.....	14
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1	Caracterização da área experimental.....	16
4.2	Delineamento experimental.....	16
4.3	Tratamentos.....	17
4.4	Coleta, análise e avaliação estatística.....	17
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5.1	pH.....	19
5.2	Fósforo (P).....	20
5.3	Potássio (K).....	22
5.4	Enxofre (S).....	23
5.5	Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg).....	24
5.6	Alumínio (Al^{3+}) e Acidez Potencial (H+Al).....	25
5.7	Matéria Orgânica (MO).....	27
5.8	Capacidade Troca Catiônica (CTC) e Saturação de Bases (V%).....	28
5.9	Cálcio, Magnésio, Potássio e Hidrogênio + Alumínio na CTC.....	30
6	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Valores de F calculado, quadrado médio do erro (QM Erro) e coeficiente de variação (CV%) para os atributos químicos do solo, avaliados sob diferentes manejos e profundidades, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 2.** Valores médios de pH em CaCl_2 , em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 3.** Valores médios de P, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 4.** Valores médios de K, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 5.** Valores médios de S, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 6.** Valores médios de Ca e Mg, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 7.** Valores médios de Al^{3+} e H^+Al , em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 8.** Valores médios de MO, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 9.** Valores médios de CTC e V em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.
- Tabela 10.** Valores médios de Ca, Mg, K e H^+Al em relação a CTC (pH 7,0), em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

1 INTRODUÇÃO

A fertilidade do solo é um fator determinante para o desenvolvimento das culturas agrícolas e para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Solos férteis são capazes de fornecer os nutrientes essenciais às plantas em quantidades e proporções adequadas, além de manter condições físicas e biológicas favoráveis ao crescimento radicular e à atividade microbiológica. No entanto, o uso intensivo da terra, aliado à adoção de manejos inadequados, pode comprometer seriamente a qualidade e a funcionalidade do solo, reduzindo sua capacidade produtiva ao longo do tempo (Lopes e Guilherme, 2004).

Áreas cultivadas estão sujeitas a práticas que afetam diretamente os atributos químicos do solo, como preparo mecânico, adubação intensiva, calagem e uso de defensivos. Tais intervenções, quando mal conduzidas, podem causar degradação da matéria orgânica, acidificação, desequilíbrios nutricionais e contaminação ambiental. Em contrapartida, áreas sob vegetação nativa geralmente apresentam maior estabilidade nos atributos químicos e físicos do solo, graças à ciclagem eficiente de nutrientes, à presença contínua de cobertura vegetal e à intensa atividade biológica (Doran e Parkin, 1994).

A avaliação da fertilidade do solo exige procedimentos metodológicos criteriosos, desde a amostragem representativa até a interpretação dos resultados analíticos. A coleta deve considerar a profundidade adequada, o número de amostras e o histórico de uso da área. Os métodos laboratoriais baseiam-se em extrações químicas específicas para cada nutriente, e os resultados devem ser interpretados à luz das exigências das culturas, do tipo de solo e do manejo adotado (Raij et al., 1997).

Neste contexto, estudos comparativos entre solos sob uso agrícola e solos em áreas preservadas são fundamentais para compreender os efeitos do manejo sobre a fertilidade e orientar práticas conservacionistas. A análise de indicadores como pH, teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e saturação por bases permite avaliar o grau de alteração dos solos cultivados em relação à sua condição natural (Raij et al., 1997). Assim, é possível identificar estratégias para promover uma agricultura mais equilibrada e sustentável, baseada no manejo racional dos recursos edáficos.

2 OBJETIVO

Avaliar e comparar os atributos químicos do solo em áreas agrícolas com diferentes históricos de manejo e em uma área de mata nativa, visando compreender os efeitos do uso e manejo do solo sobre sua fertilidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O solo

O solo é um dos principais recursos naturais utilizados na agricultura, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ele atua como suporte físico e como meio para fornecimento de água, oxigênio e nutrientes minerais indispensáveis ao metabolismo vegetal. Sua formação resulta da interação complexa entre fatores como clima, organismos vivos, material de origem, relevo e tempo geológico (Resende et al., 2016), tornando-se um sistema altamente dinâmico e heterogêneo.

De acordo com Brady e Weil (2013), o solo é uma mistura natural de minerais, matéria orgânica, gases, líquidos e organismos vivos, que juntos sustentam a vida vegetal e animal. Trata-se de um sistema multifásico, com propriedades físicas, químicas e biológicas interligadas, cuja estrutura influencia diretamente sua função ecológica e agrícola.

A fertilidade do solo é um fator crítico para a produtividade agrícola, pois determina a capacidade do solo em disponibilizar nutrientes essenciais às plantas. Solos férteis tendem a permitir maior crescimento radicular, maior absorção de nutrientes e, consequentemente, melhores índices de produtividade (Raij, 2011). A gestão adequada da fertilidade é uma das principais estratégias para garantir sustentabilidade e eficiência na produção agrícola.

O manejo inadequado do solo, como revolvimento excessivo, uso descontrolado de insumos químicos, ausência de rotação de culturas ou cultivos sucessivos sem cobertura, pode levar à degradação dos atributos químicos, como a redução do pH, lixiviação de nutrientes e diminuição da matéria orgânica (Meurer, 2006). Práticas conservacionistas, como adubação verde, integração lavoura-pecuária, rotação de culturas e uso de cobertura vegetal, são essenciais para manter ou melhorar os atributos químicos do solo.

Diversos estudos indicam que solos sob vegetação nativa mantêm melhores níveis de matéria orgânica e estabilidade química em relação às áreas cultivadas (Silva e Mendonça,

2007). Isso ocorre devido à menor perturbação e à contínua adição de resíduos vegetais, que favorecem a atividade microbiana e o equilíbrio nutricional do solo.

3.2 Fertilidade do solo

Fertilidade do solo refere-se à sua capacidade de fornecer, de forma equilibrada e em quantidades adequadas, os nutrientes necessários ao crescimento das plantas. Este conceito está diretamente relacionado à disponibilidade de nutrientes no solo, à ausência de elementos tóxicos e à presença de condições que favoreçam a absorção radicular (Raij et al., 1997).

Entre os principais atributos químicos utilizados para avaliação da fertilidade do solo estão o pH, a saturação por bases (V%), a capacidade de troca catiônica (CTC), o teor de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) (EMBRAPA, 2017). Esses indicadores fornecem subsídios técnicos para decisões quanto à calagem, adubação e práticas corretivas.

A produtividade das culturas está intrinsecamente relacionada à fertilidade do solo. A deficiência ou o desequilíbrio de nutrientes compromete a fotossíntese, a divisão celular, a síntese de proteínas e outros processos fisiológicos essenciais, o que resulta em redução de crescimento e da produção final (Marschner, 2012). Por isso, o manejo nutricional é um dos pilares da agricultura de alta performance.

Além disso, a fertilidade do solo não se limita apenas à disponibilidade de nutrientes essenciais, mas também à capacidade do solo de armazená-los e liberá-los de forma eficiente para as plantas. A dinâmica dos nutrientes no solo, influenciada pela atividade biológica e pelas interações físico-químicas, determina a eficácia da fertilização. Isso implica a importância de práticas de manejo que otimizem a liberação gradual dos nutrientes, como a aplicação de fertilizantes orgânicos ou a utilização de inoculantes biológicos que melhoram a eficiência do uso de nutrientes pelas plantas (Novais e Mello, 2007).

Outro aspecto crucial da fertilidade do solo é a manutenção da sua estrutura. Solos com boa estrutura física têm maior capacidade de retenção de água e facilitam a penetração das raízes, o que favorece a absorção de nutrientes. A compactação do solo, por exemplo, pode limitar a penetração das raízes e reduzir a eficácia da absorção de nutrientes, o que impacta diretamente na fertilidade. O uso de técnicas como o plantio direto, a rotação de culturas e o uso de cobertura do solo são fundamentais para evitar a degradação da estrutura e, conseqüentemente, para preservar a fertilidade (Derpsch, 1997).

Por fim, a fertilidade do solo está também relacionada à capacidade do solo de se recuperar de práticas agrícolas intensivas. O manejo adequado, que inclui a rotação de culturas e a utilização de práticas conservacionistas, pode restaurar e manter os níveis ideais de fertilidade a longo prazo. A busca por sistemas agrícolas sustentáveis depende de uma abordagem holística que considere tanto os aspectos químicos quanto os físicos e biológicos do solo (Silva et al., 2025).

3.3 Uso e manejo do solo em sistemas agrícolas

O preparo convencional, caracterizado pelo revolvimento intenso e frequente do solo, pode provocar compactação, mineralização da matéria orgânica, erosão e degradação da estrutura do solo. Em contrapartida, sistemas de preparo conservacionistas, como o plantio direto e o preparo mínimo, promovem maior conservação da matéria orgânica e estabilidade dos agregados (Derpsch, 2013).

A adubação mineral, quando realizada com base em análises de solo e recomendação técnica, é uma prática eficaz para suprir carências nutricionais e aumentar a produtividade. No entanto, o uso prolongado e excessivo pode levar à salinização, acidificação e desequilíbrios nutricionais, exigindo práticas integradas de manejo (Lopes e Guilherme, 2004).

A rotação e o consórcio de culturas são práticas que contribuem para a diversificação biológica do solo, a interrupção de ciclos de pragas e doenças, a melhoria na ciclagem de nutrientes e a redução da erosão. Culturas como milho, braquiária, feijão- guandu e sorgo têm sido utilizadas com sucesso em sistemas integrados (Pariz et al., 2011).

O efeito residual da adubação é um fator relevante na fertilidade do solo, especialmente para nutrientes de baixa mobilidade, como o fósforo. Esse efeito depende da solubilidade do fertilizante, do tipo de solo e da cultura subsequente, podendo contribuir para a redução de custos com adubação em ciclos posteriores (Raij, 2011).

3.4 Efeitos do confinamento animal sobre o solo

Áreas anteriormente utilizadas como confinamento animal apresentam modificações significativas nos atributos físicos e químicos do solo. O pisoteio intenso dos animais promove a compactação superficial e subsuperficial, reduzindo a porosidade e a infiltração de água, o que

limita o desenvolvimento radicular das plantas. Além disso, a deposição contínua de dejetos resulta em acúmulo de matéria orgânica e de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P), podendo melhorar a fertilidade do solo, mas também representar riscos de contaminação ambiental quando mal manejados (Oliveira et al., 2016; EMBRAPA, 2020).

Ao converter áreas de ex-confinamento para lavoura, é essencial avaliar os desequilíbrios nutricionais e problemas físicos do solo. O excesso de nutrientes, como o fósforo (P), pode resultar em lixiviação, contaminando as águas subterrâneas, e até causar toxicidade nas plantas. Além disso, a compactação do solo, comum em áreas de confinamento, prejudica a infiltração de água e limita o crescimento das raízes. Para mitigar esses impactos, é recomendado realizar uma análise detalhada do solo e adotar práticas corretivas, como escarificação, calagem ou adubação equilibrada, conforme estudos sobre o manejo de solos pós-confinamento (Pelá, 2005).

Solos degradados por uso intensivo, como em sistemas de confinamento, podem ser recuperados por meio de práticas conservacionistas. A adoção do plantio direto, da adubação verde com leguminosas e da aplicação de corretivos e fertilizantes orgânicos ajuda a restabelecer a estrutura, a fertilidade e a atividade biológica do solo. O manejo adequado da pastagem, com controle da lotação animal e períodos de descanso, também é essencial para evitar a reincidência da degradação (Collares et al., 2011).

3.5 Solo sob mata nativa

Solos sob vegetação nativa, como matas e florestas, geralmente apresentam pH mais ácido, baixos teores de bases trocáveis e alta concentração de alumínio. No entanto, são ricos em matéria orgânica, especialmente na camada superficial, o que favorece a retenção de água e nutrientes e sustenta uma microbiota edáfica diversificada (Silva e Mendonça, 2007).

Comparações entre solos sob vegetação nativa e áreas cultivadas mostram que o uso agrícola intensivo tende a reduzir o teor de matéria orgânica, acidificar o solo e diminuir a CTC e a biodiversidade do solo. A vegetação natural, por outro lado, contribui para a manutenção de atributos químicos mais estáveis e para a ciclagem eficiente de nutrientes, mesmo em solos naturalmente pobres (Resende et al., 2016).

A vegetação nativa tem papel fundamental na conservação do solo, atuando na proteção contra a erosão, na regulação do microclima e na manutenção da atividade biológica. As

raízes das plantas promovem a formação e estabilização dos agregados do solo, enquanto a serrapilheira contribui com matéria orgânica e nutrientes. Além disso, a diversidade vegetal favorece a diversidade microbiana, essencial para os processos biogeoquímicos que mantêm a fertilidade e a resiliência do solo (FAO, 2005).

A cobertura vegetal contínua proporcionada pela vegetação nativa desempenha um papel crucial na proteção do solo contra a erosão hídrica. As copas das árvores e arbustos interceptam as gotas de chuva, reduzindo seu impacto direto sobre o solo, enquanto a serrapilheira e a vegetação rasteira amortecem o escoamento superficial, diminuindo a velocidade da água e prevenindo o arraste de partículas. Além disso, as raízes das plantas aumentam a porosidade do solo, facilitando a infiltração da água e reduzindo o risco de erosão. A vegetação possui grande participação na redução da erosão hídrica, auxiliando na interceptação das gotas de chuva que impactariam diretamente o solo, sendo que as perdas de solo são reduzidas após o fechamento das copas (Cardoso et al., 2012).

Segundo Brady e Weil (2013), a vegetação nativa também contribui significativamente para a melhoria da estrutura do solo por meio do acúmulo de matéria orgânica. A decomposição da serrapilheira e das raízes mortas enriquece o solo com húmus, que atua como agente cimentante na formação de agregados estáveis. Esses agregados favorecem a aeração, a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes, além de aumentar a capacidade de troca catiônica do solo, essencial para a fertilidade. A matéria orgânica é fundamental na construção da estrutura do solo e no aumento da sua capacidade produtiva.

Além dos benefícios físicos e químicos, a vegetação nativa desempenha um papel vital na manutenção da biodiversidade do solo. A diversidade de espécies vegetais sustenta uma ampla gama de organismos do solo, como bactérias, fungos, protozoários e invertebrados, essenciais para os processos de decomposição, ciclagem de nutrientes e formação do solo. A perda dessa biodiversidade compromete a funcionalidade do ecossistema, reduzindo sua capacidade de resiliência (Bardgett e van der Putten, 2014).

3.6 Influência da profundidade do solo na distribuição e disponibilidade de nutrientes

A profundidade do solo influencia diretamente a distribuição, a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Em camadas superficiais, observa-se maior concentração de matéria orgânica e, conseqüentemente, de nutrientes como fósforo e potássio,

especialmente em áreas manejadas com plantio direto ou com adubações superficiais. Essa acumulação superficial pode restringir o desenvolvimento radicular em profundidade e comprometer o suprimento de nutrientes em períodos de déficit hídrico ou para culturas com sistemas radiculares mais profundos (Moreti et al., 2007).

Os nutrientes não se distribuem uniformemente no perfil do solo. A maior parte está concentrada na camada superficial (0–20 cm), onde se acumula matéria orgânica, ocorre maior atividade biológica e se aplicam fertilizantes. No entanto, a mobilidade de certos nutrientes, como nitrato, enxofre e boro, permite que estes se desloquem para camadas mais profundas (Marschner, 2012).

A mobilidade dos nutrientes no perfil do solo é determinada pelas características físico-químicas do solo e pelas formas químicas dos próprios nutrientes. O nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^-), por exemplo, é altamente móvel e pode atingir maiores profundidades, especialmente em solos arenosos e sob irrigação ou chuvas intensas. Por outro lado, o fósforo apresenta baixa mobilidade e tende a se acumular nas camadas superficiais, o que pode levar à deficiência em profundidade, mesmo em solos fertilizados (Raij, 2011; Novais e Mello, 2007).

Análises químicas estratificadas, especialmente nas camadas de 0–20 cm e 20–40 cm, permitem detectar variações na disponibilidade de nutrientes e avaliar processos como lixiviação, acúmulo superficial ou restrições químicas em profundidade. Esse diagnóstico é essencial para definir estratégias de calagem e adubação adequadas (EMBRAPA, 2017).

Práticas como o revolvimento ocasional do solo, a aplicação de fertilizantes em profundidade e o uso de plantas de cobertura com sistema radicular vigoroso podem auxiliar na redistribuição de nutrientes no perfil do solo. Estudos apontam que a adoção dessas estratégias favorece a ciclagem de nutrientes, melhora o aproveitamento pelas culturas e reduz riscos ambientais associados à acumulação superficial de nutrientes, como a eutrofização de corpos d'água (Cantarella, 2007).

3.7 Métodos de avaliação da fertilidade do solo

A representatividade da amostragem é essencial para garantir a confiabilidade dos resultados. A coleta deve considerar profundidade adequada, número de amostras, homogeneização e histórico da área. As análises químicas seguem metodologias padronizadas

para cada nutriente, com extrações químicas específicas (Raij et al., 1997).

Os dados laboratoriais devem ser interpretados com base em tabelas específicas para cada cultura, considerando o tipo de solo, exigência nutricional da planta e o histórico da área. Essa interpretação orienta as práticas de calagem e adubação, visando a correção das deficiências e o equilíbrio dos nutrientes (Lopes e Guilherme, 2004).

Além dos parâmetros químicos, indicadores como densidade do solo, porosidade, atividade microbiana, estabilidade de agregados e teor de matéria orgânica são amplamente utilizados em estudos comparativos para avaliar a qualidade do solo. Esses indicadores fornecem uma visão integrada da saúde do solo e dos efeitos do uso e manejo (Doran e Parkin, 1994).

A análise da fertilidade não se restringe apenas à quantificação de nutrientes disponíveis. A dinâmica entre os elementos químicos também deve ser considerada, especialmente quanto ao equilíbrio entre bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) e o alumínio trocável (Al^{3+}), que influencia diretamente a acidez do solo e a disponibilidade de nutrientes. A saturação por bases (V%) e a capacidade de troca catiônica (CTC) são parâmetros fundamentais para a caracterização da fertilidade, influenciando as decisões de calagem e manejo corretivo (Raij et al., 1997; Malavolta, 2006).

A matéria orgânica do solo (MOS) também é um indicador-chave, não apenas por sua contribuição direta ao fornecimento de nutrientes via mineralização, mas também por seu papel na formação de agregados, retenção de água, atividade microbiana e complexação de metais tóxicos. Sua quantificação é feita por métodos como a oxidação via dicromato de potássio, com interpretações específicas de acordo com o tipo de solo e sistema de cultivo. A manutenção ou incremento da MOS está diretamente relacionada à adoção de práticas conservacionistas, como adubação verde, rotação de culturas e uso de resíduos orgânicos (Stevenson, 1994).

Com o avanço das pesquisas em ciência do solo, tem-se ampliado o uso de indicadores biológicos como complemento às análises químicas e físicas. A biomassa microbiana, a respiração basal e a atividade enzimática (como a desidrogenase e a fosfatase) são parâmetros cada vez mais utilizados para inferir sobre o estado funcional do solo. Esses indicadores são especialmente relevantes em estudos de impacto ambiental, comparação de manejos agrícolas e avaliação da recuperação de áreas degradadas (Mendes e Reis Júnior, 2004).

Por fim, para uma avaliação mais integrada e comparativa da qualidade do solo,

alguns autores propõem o uso de índices compostos, como o Índice de Qualidade do Solo (IQS), que combinam múltiplos indicadores físicos, químicos e biológicos. Tais abordagens auxiliam na tomada de decisão por parte dos técnicos e produtores, permitindo a identificação de limitações específicas e a proposição de estratégias de manejo mais sustentáveis e eficientes (Andrews et al., 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido na Fazenda Praia do Sol 3, no município de Goiânia, GO (16°32'48" S; 49°17'42" O), em uma região com predominância de Latossolo Roxo, textura variando de argilo-arenosa a argilosa, relevo plano e vegetação típica do bioma Cerrado. O clima da região é tropical, com duas estações bem definidas: uma chuvosa no verão e outra seca no inverno.

Foram avaliadas quatro áreas distintas, cada uma com aproximadamente 1 hectare, totalizando 4 hectares amostrados. Três áreas estão sob uso agrícola, com histórico superior a oito anos, conduzidas em sistema de plantio direto e cultivadas em sucessão com soja (*Glycine max*) e sorgo (*Sorghum bicolor*) ou milheto (*Pennisetum glaucum*). Entre as safras, o solo é mantido coberto com palhada, obtida principalmente por semeadura de milheto e do sorgo na entressafra.

As práticas de manejo nessas áreas incluem adubação mineral, calagem, controle químico de plantas daninhas e ausência de irrigação (sistema de sequeiro). Uma das áreas possui histórico de uso como confinamento bovino, seguida de incorporação ao sistema agrícola. A quarta área, utilizada como referência, é composta por vegetação nativa de Cerrado, sem histórico recente de uso antrópico, representando condições naturais do solo.

4.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 4×2 , com quatro tipos de uso e manejo do solo (tratamentos) e duas profundidades de amostragem (0–20 cm e 20–40 cm), totalizando oito combinações fatoriais. Cada combinação foi repetida cinco vezes, resultando em um total de 40 unidades amostrais.

A escolha pelo DIC deve-se à natureza independente das unidades experimentais, localizadas em áreas distintas, o que inviabiliza o controle de variáveis ambientais por blocagem. Cada unidade amostral foi constituída por uma área de 50 m², em que se realizaram cinco coletas simples por profundidade, formando uma amostra composta por profundidade e por repetição.

4.3 Tratamentos

Os tratamentos consistiram em quatro diferentes situações de uso e manejo do solo:

T1 – Lavoura com adubação na soja e no sorgo: Área cultivada com soja na safra e sorgo na segunda safra, ambas adubadas com fertilizantes minerais.

T2 – Lavoura com adubação apenas na soja: Área cultivada com soja na safra e milho na entressafra, com adubação realizada somente na cultura da soja.

T3 – Antigo confinamento convertido em lavoura com adubação apenas na soja: Área anteriormente utilizada para confinamento de bovinos, atualmente conduzida com soja e milho, com adubação apenas na soja.

T4 – Mata nativa (referência): Área de Cerrado preservado, sem uso agrícola, utilizada como referência para comparação dos atributos químicos naturais do solo.

Em todas as áreas agrícolas, a semeadura foi realizada em sistema de plantio direto. Na entressafra, foi estabelecida cobertura vegetal com milho (15 kg ha⁻¹), a fim de formar palhada para proteção do solo. A adubação foi feita em sulco, no momento da semeadura. Nas áreas adubadas, foram utilizados os seguintes fertilizantes:

Soja: 500 kg ha⁻¹ de fórmula 02-20-18 + micronutrientes.

Sorgo: 400 kg ha⁻¹ da fórmula 12-15-15.

Além disso, foi realizada calagem com 2,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em abril de 2024, conforme recomendação baseada em análise de solo.

4.4 Coleta, análise e avaliação estatística

A coleta de solo foi realizada em abril de 2025, em dois estratos de profundidade: 0–20 cm e 20–40 cm. Em cada parcela experimental (50 m²), foram coletadas cinco subamostras simples por profundidade, utilizando trado do tipo motorizado, para formação de

uma amostra composta por profundidade e por repetição.

As amostras foram corretamente identificadas, acondicionadas em recipientes apropriados e enviadas a um laboratório especializado para a realização das análises químicas de rotina. As variáveis avaliadas incluíram: pH em CaCl_2 , Matéria Orgânica, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Alumínio (Al^{3+}), Hidrogênio + Alumínio (H+Al), Saturação de Bases (V), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V%), Ca/CTC, Mg/CTC, K/CTC e H+Al/CTC.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em esquema fatorial 4×2 , considerando os efeitos dos diferentes usos e manejos do solo (quatro tratamentos) e das profundidades de amostragem (duas camadas). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott Knott (Scott e Knott, 1974), ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 1) revelou que os diferentes manejos do solo influenciaram significativamente a maioria dos atributos químicos avaliados. O fator “tratamento” apresentou efeito altamente significativo ($p < 0,01$) sobre o pH, alumínio (Al^{3+}), hidrogênio + alumínio (H+Al), saturação por bases (V%), e as relações Ca/CTC, Mg/CTC e H+Al/CTC, indicando forte impacto do histórico de uso do solo na acidez e na disponibilidade de nutrientes. A profundidade do solo teve influência significativa ou altamente significativa sobre variáveis como fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), evidenciando alterações no perfil vertical dos atributos químicos. A interação entre tratamento e profundidade foi significativa para fósforo, enxofre, magnésio, CTC, V%, Mg/CTC e H+Al/CTC, o que aponta para respostas diferenciadas entre os manejos ao longo do perfil do solo. O coeficiente de variação (CV%) foi aceitável para a maioria das variáveis, demonstrando boa precisão experimental, com exceção do fósforo, que apresentou elevada variabilidade (CV de 106,08%), o que é comum para esse nutriente em solos tropicais. Esses resultados reforçam a importância de considerar o uso e manejo do solo, bem como a profundidade, na avaliação da fertilidade de Latossolos sob Cerrado.

Tabela 1. Valores de F calculado, quadrado médio do erro (QM Erro) e coeficiente de variação (CV%) para os atributos químicos do solo, avaliados sob diferentes manejos e profundidades, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

	Tratamento	Profundidade	Trat x Prof	QM Erro	CV%
F					
GL	3	1	3		
Atributos avaliados					
pH CaCl ₂	21,27843*	5,12057 ns	2,24787 ns	0,05379	4,3
P mg.dm ⁻³	3,39 ns	21,86**	3,84*	367,16	106,08
K mg.dm ⁻³	19,21*	10,6*	0,79 ns	151,55	35,99
S mg.dm ⁻³	1,89 ns	10,22*	11,45**	26,8	34,8
Ca cmolc.dm ⁻³	13,08*	25,91**	2,95 ns	0,55	34,04
Mg cmolc.dm ⁻³	14,08*	15,31**	3,84*	0,08	29,91
Al cmolc.dm ⁻³	89**	0,53ns	1,39ns	0,02	54,59
H+Al cmolc.dm ⁻³	31,52**	1,68 ns	2,82 ns	0,09	14,3
MO dag.kg ⁻¹	2,66 ns	14,71**	1,53 ns	0,08	14,54
T cmolc.dm ⁻³	7,49 ns	33,66**	3,12*	0,94	18,24
V %	36,21**	20,63**	3,22*	60,41	14,19
Ca/CTC %	45,88**	28,4**	2,03 ns	34,2	15,65
Mg/CTC %	25,04*	8,02*	3,71*	8,13	18,03
K/CTC %	1,74 ns	0,82 ns	1,89 ns	0,25	31,49
H+Al/CTC %	36,29**	20,6**	3,21*	60,46	17,2

*: Efeito significativo pelo teste F em nível de 5% de probabilidade de erro;

** : Efeito significativo pelo teste F em nível de 1% de probabilidade de erro

ns: não significativo.

5.1 pH

Os valores de pH do solo variaram significativamente entre os tratamentos e entre as profundidades (0–20 cm e 20–40 cm), com interação significativa entre os fatores Tabela 1). O pH variou de 4,54 a 5,80, com os maiores valores observados nas áreas arícolas, especialmente naquelas que receberam calagem recente.

A maior média de pH foi registrada no tratamento T3 (antigo confinamento), com 5,80 na camada de 0–20 cm e 5,72 na de 20–40 cm (Tabela 2). Esse resultado pode estar relacionado ao acúmulo prévio de matéria orgânica e nutrientes via esterco bovino, somado à aplicação de calcário dolomítico (2,5 t ha⁻¹) em abril de 2024, conforme descrito em seus materiais e métodos.

O tratamento T4 (mata nativa) apresentou os menores valores de pH, com 4,54 e 4,74, o que é esperado em áreas sob Cerrado não cultivadas, onde a ausência de calagem contribui para uma maior acidez do solo (Sousa e Lobato, 2004). Nos Tratamentos T1 e T2, cujas áreas foram adubadas e cultivadas em sistema de plantio direto, apresentaram valores intermediários de pH, refletindo os efeitos da calagem recente.

O pH do solo afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e o desenvolvimento radicular das plantas. Valores entre 5,5 e 6,5 são ideais para a maioria das culturas agrícolas, pois favorecem a solubilidade de nutrientes como fósforo, cálcio e magnésio e reduzem a toxicidade de alumínio (Al³⁺) (Caires et al., 2006).

Tabela 2. Valores médios de pH em CaCl₂, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta	
	0–20 cm	20–40 cm
	pH CaCl ₂	
T1 – Soja + Sorgo	5,62 Aa	5,44 Aa
T2 – Soja + Milheto	5,78 Aa	5,46 Ba
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	5,80 Aa	5,72 Aa
T4 – Mata nativa	4,54 Aa	4,74 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

5.2 Fósforo (P)

Os teores de fósforo (P) no solo foram significativamente influenciados pela profundidade de amostragem e pela interação entre tratamento e profundidade, conforme indicado na análise de variância (Tabela 1). Apesar de não ter sido significativo isoladamente para o fator tratamento, o desdobramento da interação revelou diferenças importantes entre os sistemas de manejo e entre as camadas analisadas.

A camada superficial (0–20 cm) apresentou valores muito superiores de P em

comparação à camada subsuperficial (20–40 cm), o que era esperado devido à baixa mobilidade do fósforo no perfil do solo. Essa tendência é amplamente documentada na literatura, especialmente em solos tropicais com alto teor de óxidos de ferro e alumínio, onde o P é rapidamente adsorvido (Novais et al., 2007; Alvarez et al., 2000) (Tabela 3).

O tratamento T3, que corresponde à área anteriormente usada como confinamento bovino e, posteriormente, incorporada à agricultura, apresentou teores de P extremamente elevados, de 77,5 mg dm⁻³ na camada de 0–20 cm, e 22,72 mg dm⁻³ em 20–40 cm. Esses valores foram significativamente superiores aos demais tratamentos em ambas as profundidades. Essa alta disponibilidade pode estar relacionada ao acúmulo residual de esterco e outros resíduos orgânicos no período de confinamento e a adubação fosfatada mineral subsequente à incorporação da área ao cultivo (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de P, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta	
	0–20 cm	20–40 cm
	P mg dm ⁻³	
T1 – Soja + Sorgo	17,16 Ab	6,10 Ab
T2 – Soja + Milheto	17,30 Ab	1,86 Ab
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	77,50 Aa	22,72 Ba
T4 – Mata nativa	1,14 Ab	0,72 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Segundo Withers et al. (2001), resíduos orgânicos oriundos de sistemas de pecuária intensiva podem acumular fósforo em níveis que ultrapassam as necessidades das culturas, resultando em acúmulo no solo e potencial risco de perdas por escoamento. Nos tratamentos T1 e T2, os valores de fósforo foram semelhantes e bem inferiores a T3, com médias em torno de 17 mg dm⁻³ na camada superficial e redução acentuada na camada subsuperficial — especialmente em T2, com apenas 1,86 mg dm⁻³ aos 20–40 cm. Isso reflete a eficiência da adubação apenas na superfície, sem movimentação para camadas mais profundas, o que é comum em sistemas de plantio direto.

A área de mata nativa (T4) apresentou os menores teores de P em ambas as profundidades (1,14 e 0,72 mg dm⁻³), o que é compatível com a baixa disponibilidade natural

desse nutriente em solos do Cerrado, devido à forte fixação do fósforo por minerais do solo (Sousa e Lobato, 2004; Novais et al., 2007).

5.3 Potássio (K)

Os teores de potássio (K) apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e entre as profundidades, com interação significativa (Tabela 1). A maior concentração de K foi observada na camada de 0–20 cm na área de antigo confinamento (T3), com valor de 63,60 cmolc dm⁻³, significativamente superiores aos demais tratamentos, indicando possível acúmulo residual desse nutriente devido à atividade pecuária anterior (Tabela 4).

O confinamento de bovinos promove intensa deposição de esterco, que é rico em potássio. Mesmo após a conversão da área para lavoura, esse resíduo pode permanecer disponível por anos, especialmente em sistemas com pouca lixiviação, como solos argilosos sob plantio direto (Cavalli et al., 2013). Os demais tratamentos apresentaram teores adequados para culturas como soja e sorgo, especialmente nas camadas superficiais, o que indica efeito da adubação e da manutenção da palhada.

Tabela 4. Valores médios de K, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta	
	0–20 cm	20–40 cm
	K mg dm ⁻³	
T1 – Soja + Sorgo	38,20 Ab	21,80 Bb
T2 – Soja + Milheto	29,40 Ab	17,00 Ab
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	63,60 Aa	49,60 Aa
T4 – Mata nativa	27,40 Ab	26,60 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Em profundidade (20–40 cm), os teores de potássio foram inferiores em comparação à camada superficial na maioria dos tratamentos. Embora o potássio seja relativamente móvel no solo, sua movimentação vertical é limitada em Latossolos argilosos com alta capacidade de troca catiônica (CTC), nos quais o nutriente tende a ser retido nos colóides de argila e matéria orgânica.

Segundo Malavolta (2006), a lixiviação do potássio pode ocorrer em solos arenosos com baixa CTC, mas em solos mais argilosos, o K^+ permanece preferencialmente na superfície, onde há maior absorção radicular e fixação por cargas negativas dos argilominerais.

5.4 Enxofre (S)

Os teores de enxofre (S) variaram entre 7,36 e 35,44 mg dm⁻³, com diferença significativa entre os tratamentos e as profundidades analisadas (Tabela 1). De modo geral, observou-se maior acúmulo de S na camada de 20–40 cm nas áreas agrícolas, especialmente nos tratamentos T1 e T2. O tratamento T2, adubado apenas na soja, apresentou o maior valor de S na profundidade de 20–40 cm (35,44 mg dm⁻³) (Tabela 5), estatisticamente superior aos demais, o que pode estar relacionado à mobilidade do íon sulfato (SO_4^{2-}) no perfil do solo. Por ser um nutriente móvel, o enxofre tende a ser lixiviado para camadas mais profundas, principalmente quando não é incorporado e quando há alta precipitação, como ocorre em regiões tropicais (Malavolta, 2006).

Tabela 5. Valores médios de S, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta	
	0–20 cm	20–40 cm
	S mg dm ⁻³	
T1 – Soja + Sorgo	13,30 Ba	22,70 Ab
T2 – Soja + Milheto	12,68 Ba	35,44 Aa
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	10,68 Aa	9,48 Ac
T4 – Mata nativa	7,36 Aa	7,36 Ac

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

No tratamento T1, que recebeu adubação tanto na soja quanto no sorgo, também se verificou acúmulo significativo de S na camada de 20–40 cm (22,70 mg dm⁻³), superior ao valor da camada superficial (13,30 mg dm⁻³) (Tabela 5), reforçando a tendência de redistribuição vertical do nutriente. Em contrapartida, os tratamentos T3 (área de antigo confinamento) e T4 (mata nativa) apresentaram os menores teores de enxofre e não mostraram diferenças significativas entre as profundidades, indicando ausência de adubação

recente ou reposição significativa do nutriente.

É importante destacar que, segundo a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), teores superiores a 10 mg/dm³ são considerados adequados para o desenvolvimento da maioria das culturas. Assim, os resultados observados nos tratamentos agrícolas demonstram níveis satisfatórios de enxofre, enquanto a área de mata nativa apresentou valores abaixo desse limite, o que reflete as condições naturais de fertilidade do solo sob Cerrado, com menor aporte de nutrientes.

5.5 Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg)

Os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo foram significativamente influenciados pelos fatores tratamento, profundidade e pela interação entre eles, conforme evidenciado na Tabela 1. O maior teor de Ca foi observado no Tratamento T3 (soja e milho com histórico de confinamento), tanto na profundidade de 0–20 cm (4,94 cmolc dm⁻³) quanto de 20–40 cm (3,18 cmolc dm⁻³), com diferença significativa em relação aos demais tratamentos. Esse resultado reflete o efeito residual do confinamento bovino, com maior aporte de matéria orgânica e resíduos, além da calagem realizada para neutralização da acidez do solo. Os tratamentos T1 e T2 também apresentaram teores intermediários, mas inferiores aos de T3, enquanto a mata nativa (T4) mostrou os menores valores de Ca, com 0,54 e 0,44 cmolc dm⁻³, respectivamente, nas camadas de 0–20 e 20–40 cm. Esses valores estão de acordo com a baixa fertilidade natural dos solos de Cerrado não cultivados (Sousa e Lobato, 2004) (Tabela 6).

Os teores mais elevados nas camadas superficiais nas áreas cultivadas são coerentes com a aplicação superficial de corretivos em sistema de plantio direto. A redução dos valores com a profundidade em T2 e T3 (com letras distintas na vertical) indica movimentação limitada do Ca, típico de sua baixa mobilidade no solo (Raij et al., 2001). O comportamento do magnésio foi semelhante ao do cálcio, com os maiores teores em T3 (2,02 e 1,40 cmolc dm⁻³ nas duas camadas), seguido por T2 e T1, e os menores em T4 (0,14 e 0,12 cmolc dm⁻³). A diferença estatística entre todas as profundidades e tratamentos reforça a influência do manejo na disponibilidade de Mg, especialmente em áreas com correção da acidez e adubação (Malavolta et al., 1997) (Tabela 6). Em T2, observa-se uma redução acentuada do Mg na profundidade de 20–40 cm (0,54 cmolc dm⁻³), significativamente inferior

ao valor da camada superficial (1,30 cmolc dm⁻³), sugerindo baixa mobilidade vertical, além da ausência de calagem recente ou em profundidade.

Os resultados indicam que o manejo do solo, especialmente a calagem e o histórico de uso (como confinamento animal), influencia diretamente os teores de Ca e Mg no solo. As áreas cultivadas mostraram maior disponibilidade desses nutrientes em comparação à mata nativa, com destaque para T3, demonstrando a importância da calagem na melhoria da fertilidade dos solos tropicais.

Tabela 6. Valores médios de Ca e Mg, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta			
	0–20 cm	20–40 cm	0–20 cm	20–40 cm
	Ca cmolc dm ⁻³		Mg cmolc dm ⁻³	
T1 – Soja + Sorgo	2,42 Ab	1,98 Ab	1,06 Ab	0,84 Ab
T2 – Soja + Milheto	2,76 Ab	1,24 Bc	1,30 Ab	0,54 Bc
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	4,94 Aa	3,18 Ba	2,02 Aa	1,40 Ba
T4 – Mata nativa	0,54 Ac	0,44 Ac	0,14 Ac	0,12 Ad

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

5.6 Alumínio Al³⁺ e Acidez Potencial (H⁺+Al)

Os teores de alumínio trocável (Al³⁺) e de acidez potencial (H⁺+Al) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, refletindo o impacto do uso agrícola e do manejo do solo sobre a acidez e a toxicidade potencial para as plantas (Tabela 1). Os valores de Al³⁺ foram praticamente nulos nas áreas agrícolas (T1, T2 e T3), independentemente da profundidade avaliada (Tabela 7). Esse resultado é indicativo de ambientes agrícolas com manejo correto da acidez, especialmente pela aplicação de calcário. A calagem eleva o pH do solo e promove a precipitação do Al³⁺ na forma de compostos insolúveis e não tóxicos para as plantas, como Al(OH)₃, conforme descrito por Caires et al. (2006). Esses dados também reforçam a eficiência da calagem realizada nas áreas agrícolas em abril de 2024.

Por outro lado, a área de mata nativa (T4) apresentou os maiores teores de alumínio, com valores de 1,08 e 0,90 cmolc dm⁻³ nas camadas de 0–20 cm e 20–40 cm, respectivamente. Embora estatisticamente semelhantes entre si, esses teores indicam a presença natural de alumínio em Latossolos ácidos sob vegetação de Cerrado, o que pode ser

limitante para culturas sensíveis quando essas áreas são convertidas ao uso agrícola (Sousa e Lobato, 2004).

A acidez potencial ($H^+ + Al$) seguiu tendência semelhante. A T4 apresentou os maiores valores, com 3,60 cmolc dm⁻³ na camada superficial e 3,28 cmolc dm⁻³ na subsuperfície. Tais valores são típicos de solos ácidos e altamente intemperizados, nos quais há acúmulo de íons H^+ e Al^{3+} na CTC do solo. Esses ambientes possuem alta acidez e baixa saturação por bases, o que pode restringir a absorção de nutrientes pelas plantas (Raij et al., 2001) (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios de Al^{3+} e $H + Al$, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta			
	0–20 cm	20–40 cm	0–20 cm	20–40 cm
	Al cmolc dm ⁻³		H+Al cmolc dm ⁻³	
T1 – Soja + Sorgo	0,00 Ab	0,06 Ab	1,62 Bb	2,06 Ab
T2 – Soja + Milheto	0,00 Ab	0,00 Ab	1,50 Ab	1,72 Ac
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	0,00 Ab	0,00 Ab	1,50 Ab	1,58 Ac
T4 – Mata nativa	1,08 Aa	0,90 Aa	3,60 Aa	3,28 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

Nos tratamentos agrícolas (T1, T2 e T3), a acidez potencial foi significativamente menor. No tratamento T1, houve aumento com a profundidade (1,62 para 2,06 cmolc dm⁻³), enquanto T2 e T3 apresentaram valores mais uniformes entre as camadas. A menor acidez nessas áreas está diretamente relacionada ao efeito residual da calagem, que além de neutralizar o Al^{3+} , eleva o pH e contribui para a melhoria do ambiente radicular. Os valores encontrados (entre 1,5 e 2,0 cmolc dm⁻³) são compatíveis com a manutenção de níveis adequados de saturação por bases e indicam um ambiente químico mais favorável ao desenvolvimento das culturas.

De maneira geral, os resultados mostram que o manejo agrícola adotado nas áreas cultivadas tem sido eficaz na correção da acidez do solo, tanto pela neutralização do alumínio como pela redução da acidez potencial, contribuindo para a melhoria da fertilidade química do solo. Já a área de mata nativa representa um sistema natural com elevada acidez e presença de alumínio trocável, características típicas de solos sob Cerrado, ainda não alterados por práticas agrícolas corretivas.

5.7 Matéria Orgânica (MO)

Os teores de matéria orgânica (MO) no solo variaram de 1,48 a 2,46 dag kg⁻¹ entre os tratamentos e profundidades analisadas, com diferenças significativas em algumas comparações (Tabela 1). De maneira geral, os maiores teores foram encontrados na camada superficial (0–20 cm), como era esperado, uma vez que essa porção do solo é mais diretamente influenciada pela deposição de resíduos vegetais, raízes, exsudatos e práticas de manejo.

Entre os tratamentos, o T3 (antigo confinamento convertido em lavoura) apresentou o maior valor na camada superficial (2,46 dag kg⁻¹), seguido do T4 (mata nativa) com 2,24 dag kg⁻¹ (Tabela 8). O histórico de deposição intensa de resíduos orgânicos durante o uso como área de confinamento pode ter contribuído para o acúmulo de MO em T3, mesmo após sua conversão para uso agrícola. Esse dado está de acordo com os resultados de Loss et al. (2011), que apontam que áreas com histórico de uso pecuário tendem a apresentar maior acúmulo de carbono orgânico no solo, devido ao esterco e à urina dos animais.

Tabela 8. Valores médios de MO, em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta	
	0–20 cm	20–40 cm
MO dag kg ⁻¹		
T1 – Soja + Sorgo	2,10 Aa	1,84 Aa
T2 – Soja + Milheto	2,02 Aa	1,48 Bb
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	2,46 Aa	1,80 Ba
T4 – Mata nativa	2,24 Aa	2,06 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

A área de mata nativa (T4) também manteve valores elevados de MO, tanto na camada de 0–20 cm (2,24 dag kg⁻¹) quanto em 20–40 cm (2,06 dag kg⁻¹), sem diferença significativa entre as profundidades. Isso demonstra a estabilidade do sistema natural de Cerrado, em que a deposição contínua de resíduos orgânicos é equilibrada com sua mineralização, promovendo a manutenção de um estoque estável de matéria orgânica, como também indicado por Benites et al. (2003) (Tabela 8).

Nas áreas agrícolas T1 e T2, os teores de MO na superfície foram semelhantes aos dos demais tratamentos (2,10 e 2,02 dag kg⁻¹, respectivamente), mas com reduções expressivas em profundidade, especialmente em T2 (1,48 dag kg⁻¹), o único tratamento com diferença significativa entre as camadas. Esse resultado sugere que o manejo agrícola, mesmo sob plantio direto e com cobertura vegetal, ainda pode não ser suficiente para manter os estoques de matéria orgânica no perfil mais profundo, principalmente quando o aporte de resíduos é sazonal ou reduzido. A menor adição de palhada e a ausência de adubação na segunda safra em T2 podem ter contribuído para a menor estabilidade da matéria orgânica nesse tratamento, como também observado por Diekow et al. (2005).

A preservação e o incremento dos teores de matéria orgânica no solo são essenciais para a manutenção da fertilidade, uma vez que a MO influencia positivamente a capacidade de troca catiônica (CTC), a retenção de água, a estrutura do solo e a disponibilidade de nutrientes (Roscoe e Buurman, 2003). Portanto, estratégias de manejo que favoreçam a adição contínua de resíduos, como a diversificação de culturas e o uso de plantas de cobertura na entressafra, são recomendadas para manter ou elevar os níveis de MO, especialmente nas camadas subsuperficiais.

5.8 Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Saturação de Bases (V)

A Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo, variou entre 3,54 e 8,62 cmolc dm⁻³ nas áreas avaliadas, sendo significativamente influenciada pelo tipo de uso do solo e, em menor grau, pela profundidade (Tabela 1). O tratamento T3 (área de antigo confinamento) apresentou os maiores valores de CTC tanto na camada superficial (0–20 cm, com 8,62 cmolc dm⁻³) quanto na subsuperficial (20–40 cm, com 6,29 cmolc dm⁻³), destacando-se dos demais tratamentos (Tabela 9). Isso pode estar relacionado ao acúmulo de matéria orgânica residual do período de confinamento e à maior presença de cátions trocáveis oriundos de excretas, como também relatado por Loss et al. (2011) e Benites et al. (2003).

Os menores valores de CTC foram observados no tratamento T4 (mata nativa), principalmente em 20–40 cm (3,91 cmolc dm⁻³), o que é típico de solos sob vegetação natural do Cerrado, que geralmente apresentam baixa fertilidade natural e alta acidez, conforme descrito por Embrapa (2018). A CTC, especialmente nas camadas mais profundas, também foi menor nos tratamentos T1 e T2, com destaque para T2 (3,54 cmolc dm⁻³ em 20–40 cm), possivelmente devido à menor adição de resíduos vegetais na entressafra e à ausência de adubação na segunda safra (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios de CTC e V em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Tratamento	Profundidade de coleta			
	0–20 cm	20–40 cm	0–20 cm	20–40 cm
	CTC cmolc dm ⁻³		V%	
T1 – Soja + Sorgo	5,20 Ab	4,93 Ab	68,12 Ab	57,30 Bb
T2 – Soja + Milheto	5,63 Ab	3,54 Bc	72,98 Ab	50,80 Bb
T3 – Soja + Milheto (Confinamento)	8,62 Aa	6,29 Ba	81,32 Aa	74,64 Aa
T4 – Mata nativa	4,35 Ab	3,91 Bc	17,22 Ac	15,82 Ac

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

A saturação por bases (V%) apresentou variação ainda mais expressiva entre os tratamentos. O maior valor foi verificado em T3 na camada superficial (81,32%), com manutenção de alta saturação também em 20–40 cm (74,64%), evidenciando um ambiente favorável ao crescimento radicular e à disponibilidade de nutrientes. A elevada V% indica predominância de cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) no complexo de troca, resultado esperado para solos com histórico de calagem e acúmulo de nutrientes, como apontado por Novais et al. (2007).

Em contraste, o tratamento T4 apresentou os menores valores de saturação por bases, com apenas 17,22% na superfície e 15,82% em profundidade, sem diferenças significativas entre as camadas. Esse padrão é típico de Latossolos álicos do Cerrado, em que o complexo de troca é dominado por H^{+} e Al^{3+} , conferindo alta acidez e baixa fertilidade ao solo in natura (EMBRAPA, 2018). Os tratamentos T1 e T2 apresentaram valores intermediários de V%, oscilando entre 50,80% e 72,98%, com maior saturação na superfície, o que reforça a importância da calagem e do manejo correto na superfície do solo (Tabela 9).

Vale destacar que, segundo Rajj et al. (2001), valores de saturação por bases acima de 50% são considerados adequados para a maioria das culturas, especialmente em sistemas agrícolas intensivos. Assim, apenas o tratamento T4 encontra-se abaixo desse limiar, enquanto os demais demonstram boa condição química para o cultivo, especialmente T3, que alia alta CTC a elevada saturação por bases.

Esses resultados reforçam que práticas adequadas de manejo, incluindo calagem,

adubação balanceada e manutenção de cobertura vegetal, são fundamentais para melhorar e manter os atributos químicos do solo, especialmente em áreas originalmente ácidas e de baixa fertilidade como os Latossolos do Cerrado.

5.9 Cálcio, Magnésio, Potássio e Hidrogênio + Alumínio na CTC

A avaliação da participação relativa dos cátions no complexo de troca é fundamental para diagnosticar o equilíbrio nutricional do solo e o seu grau de acidez. As proporções de $\text{Ca}^{2+}/\text{CTC}$, $\text{Mg}^{2+}/\text{CTC}$, K^{+}/CTC e $\text{H}^{+}+\text{Al}^{3+}/\text{CTC}$ revelam as condições de fertilidade e a necessidade de correção do solo para diferentes usos agrícolas.

A relação $\text{Ca}^{2+}/\text{CTC}$ variou entre 11,08% e 56,14%, sendo o tratamento T3 (antigo confinamento) o que apresentou os maiores valores, tanto na superfície (56,14%) quanto na subsuperfície (50,28%) (Tabela 10), refletindo a elevada disponibilidade de cálcio nesse ambiente. Esses resultados confirmam a influência do histórico de adição de resíduos orgânicos e calcários em áreas de confinamento, como relatado por Caires et al. (2006) e Rosolem et al. (2010).

Os tratamentos agrícolas T1 e T2 também apresentaram proporções adequadas, superiores a 34%, com redução na camada de 20–40 cm em T2 (34,60%). Já o tratamento T4 (mata nativa) apresentou os menores valores (11,08% a 12,46%) (Tabela 10), típicos de Latossolos álicos sob Cerrado, com baixa saturação por bases e predomínio de acidez.

As proporções de Mg^{2+} em relação à CTC total oscilaram entre 3,00% e 23,32%. O tratamento T3 novamente se destacou, com valores equilibrados nas duas profundidades (23,32% e 22,32%), indicando um perfil químico mais homogêneo. Os tratamentos T1 e T2 mostraram maiores teores na camada superficial, mas com reduções significativas em profundidade (até 15% em T2). O tratamento T4 apresentou os menores valores, com destaque para a camada superficial (3,22%), confirmando a baixa fertilidade natural do solo sob vegetação nativa (Tabela 10).

Segundo Malavolta (2006), proporções adequadas de $\text{Mg}^{2+}/\text{CTC}$ devem situar-se entre 10% e 20% para culturas de alto desempenho, e os dados observados indicam que apenas T3 atende plenamente essa exigência em todo o perfil.

Tabela 10. Valores médios de Ca, Mg, K e H+Al em relação a CTC (pH 7,0), em função do uso e manejo do solo e da profundidade, em Latossolo sob Cerrado, em Goiânia – GO.

Trat.	Profundidade de coleta cm							
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
	Ca/CTC		Mg/CTC		K/CTC		H+Al /CTC	
T1	46,12 Ab	39,58 Ab	20,08 Aa	16,62 Bb	1,92 Aa	1,10 Bb	31,88 Bb	42,70 Ab
T2	48,68 Ab	34,60 Bb	22,94 Aa	15,00 Bb	1,34 Aa	1,20 Bb	27,02 Bb	49,20 Ab
T3	56,14 Aa	50,28 Aa	23,32 Aa	22,32 Aa	1,92 Aa	2,00 Aa	18,68 Cc	25,36 Bc
T4	12,46 Ac	11,08 Ac	3,22 Bb	3,00 Ac	1,56 Aa	1,68 Aa	82,74 Aa	84,18 Aa

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre profundidades dentro do mesmo tratamento pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre tratamentos dentro da mesma profundidade pelo teste de Scott & Knott em nível de 5% de probabilidade de erro.

A participação do potássio no complexo de troca variou de 1,10% a 2,00%, sem grandes diferenças entre tratamentos e profundidades, com exceção de T1 e T2 na camada de 20–40 cm, que apresentaram valores significativamente menores (1,10% e 1,20%, respectivamente). O tratamento T3 manteve proporções estáveis e adequadas entre as camadas (1,92% e 2,00%), alinhado com a presença de K disponível observada anteriormente. Já o T4 apresentou valores intermediários, entre 1,56% e 1,68% (Tabela 10).

Esses valores estão dentro da faixa recomendada de 2% a 3% para solos bem equilibrados, segundo Raij et al. (2001), embora as áreas agrícolas (T1 e T2) indiquem uma leve deficiência na subsuperfície, o que pode impactar culturas mais exigentes em potássio.

A maior proporção de $H^+ + Al^{3+}$ em relação à CTC total foi observada no tratamento T4, tanto na camada de 0–20 cm (82,74%) quanto em 20–40 cm (84,18%), o que confirma a elevada acidez do solo sob Cerrado nativo, com dominância de cargas ácidas no complexo de troca. Valores tão elevados refletem uma baixa saturação por bases (V%) e são incompatíveis com a maioria das culturas, exigindo calagem intensa para correção.

Os tratamentos agrícolas apresentaram proporções mais equilibradas, com destaque para T3, que registrou os menores valores de $H^+ + Al^{3+}/CTC$: 18,68% na superfície e 25,36% em profundidade, evidenciando um solo bem corrigido. T1 e T2 mostraram valores intermediários, mas com aumento expressivo da acidez em profundidade (42,70% e 49,20%, respectivamente), o que pode limitar o desenvolvimento radicular em profundidade

se não houver calagem em camadas mais profundas.

6 CONCLUSÃO

- Os atributos químicos do solo variaram significativamente em função do tipo de uso e manejo e da profundidade de amostragem.
- A área de antigo confinamento (T3), convertida para lavoura, apresentou os melhores resultados em fertilidade do solo, com maiores valores de pH, matéria orgânica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC e saturação por bases (V%), e ausência de Al^{3+} .
- A área sob vegetação nativa (T4) apresentou elevada acidez potencial ($\text{H}^{++}\text{Al}^{3+}$), altos teores de Al^{3+} e baixa saturação por bases, refletindo características naturais de Latossolos álicos sob Cerrado.
- Os teores de fósforo foram significativamente maiores nas áreas cultivadas, especialmente em T2 e T3, com destaque para o potencial risco ambiental devido à possível saturação do solo por P.
- Os teores de potássio foram mais elevados nas camadas superficiais, refletindo sua baixa mobilidade e retenção em solos argilosos. Já os teores de enxofre apresentaram maiores valores em profundidade nas áreas cultivadas, possivelmente devido à mobilidade do íon sulfato e à lixiviação em ambientes com maior fertilização.
- A profundidade influenciou negativamente os teores de matéria orgânica, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e V %, com decréscimos evidentes de 0–20 para 20–40 cm.
- O sistema de plantio direto, aliado à cobertura com milho ou sorgo e à adubação mineral, contribuiu para a melhoria da qualidade química do solo, especialmente quando manejado de forma contínua e com histórico de aporte orgânico, como na área de antigo confinamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, V. H. et al. (2000). Interpretação dos resultados de análises de solos. In: RIBEIRO, A. C. et al. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. UFV/CFSEMG.

ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L.; CAMBARDELLA, C. A. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 4–10, 2004.

BENITES, V. M.; MACHADO, P. L. O. A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E. (2003). Propriedades químicas, físicas e biológicas de solos sob sistemas orgânico e convencional de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38(12), 1359–1365.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. São Paulo: Bookman, 2013.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S.; CORÁ, J. E. (2006). Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30(3), 497–509.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ VENEGAS, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. p. 375–470.

CANTARELLA, H. et al. (1997). Enxofre. In: RAIJ, B. van et al. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, Boletim Técnico 100.

CARDOSO, D. P.; SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J.; FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Plantas de cobertura no controle das perdas de solo, água e nutrientes por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.6, p.632– 638, 2012.

CAVALLI, E.; CASSOL, P. C.; PAULETTI, V.; PAULETTO, E. A. (2013). Disponibilidade de potássio em Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37(4), 987–996.

CFSEMG – COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. (1999). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação. Viçosa: UFV.

COLLARES, G. L.; REINER, D. J.; REICHER, J. M.; KAISER, D. R. Compactação superficial de Latossolos sob integração lavoura-pecuária de leite no noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 5, p. 857-863, 2011.

CORRÊA, R. M.; NUNES, R. S.; CAMARGO, F. A. O.; FINK, J. R.; BAYER, C. (2010). Índices de saturação por fósforo em solos do Sul do Brasil: limites ambientais e comparação entre métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(6), 2175–2183.

DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. (ed.). **O meio ambiente e o plantio direto**. Goiânia: APDC, 1997. Cap. 2, p.29-48.

DERPSCH, R. Sistemas conservacionistas de produção: como assegurar a sua sustentabilidade? In: III Reunião Paranaense de Ciência do Solo, Londrina, 2013. **Resumos...** Londrina-PR: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Estadual do Paraná, 2013. p. 383-391.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. (2005). Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a southern Brazilian Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil & Tillage Research**, 81(1), 87–95.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, 1994.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.

EMBRAPA. Pode o solo involuntariamente ingerido junto com o pasto ser porta de entrada para substâncias contaminantes em lácteos e carnes de ruminantes? **Documentos / Embrapa Gado de Leite**, 210. Juiz de Fora: Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1128540>.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (2018). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA SOLOS.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The importance of soil organic matter**, 2005. Disponível em: <https://www.fao.org/4/a0100e/a0100e.pdf>.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. dos S.; BRUNETTO, G.; BISSANI, C. A. (2008). Reatividade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(3), 1511–1520.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Interpretação de análises de solo**. São Paulo: ANDA, 2004.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R.; ANJOS, L. H. C. (2011). Atributos químicos e estoques de carbono em Argissolo sob diferentes sistemas de uso no sul do Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35(3), 1037–1048.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. London: Academic Press, 2012.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 5.ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285 p.

MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B. **Uso de parâmetros microbiológicos como indicadores para avaliar a Qualidade do Solo e a sustentabilidade dos agroecossistemas**. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF (documentos, 112), 2004.

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p.276-374

OLIVEIRA, J. G. R.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. **Geographia Opportuno Tempore**, Londrina, v. 2, n. 2, Edição Especial, p. 66-80, 2016.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, 41:875-882, 2011.

PELÁ, A. **Efeito de adubos orgânicos provenientes de dejetos de bovinos confinados nos atributos físicos e químicos do solo e na produtividade do milho**. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas. Disponível em: <http://hdl.handle.net/>.

RAIJ, B. Van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônômico. 2001, 285p.

RAIJ, B. Van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RESENDE, A. V. et al. Fertilidade do solo. In: PEREIRA FILHO, I. A. (ed.). **Cultivo do milho**. 5. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. (2003). Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil & Tillage Research*, 70(2), 107–119.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. (2010). Soil acidity and fertility related to the distance from the trunks of trees in a silvopastoral system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34(2), 555–564.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SILVA, W. L. C.; SANTOS, L. O.; SOUSA, K. R. Manejo e fertilidade do solo: abordando a temática através de uma revisão de literatura. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 02. 2025.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (2004). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Embrapa.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, **Raleigh**, v.30, n.3, p.507-512, 1974.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: Wiley, 1994.

WITHERS, P. J. A. et al. (2001). Managing phosphorus transfer from agriculture: options for reducing the risk. **Soil Use and Management**, 17(3), 132–140.