

BACIAS HIDROGRAFICAS DA SERRINHA: UMA ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO SOB SISTEMA DE USO DA TERRA DE PASTAGEM, CANA-DE-AÇÚCAR E MATA CILIAR

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.I-028>

Jhansley Ferreira da Mata (*), João Henrique Medeiros, Gabriel Gomes Mendes, Gabriela de Sousa Barbosa, Alessandra Cristina de Campos

* Universidade do Estado de Minas Gerais, jhansley.mata@uemg.br.

RESUMO

A busca por técnicas de cultivo mais sustentáveis que melhoram a qualidade do solo, vem sendo estudadas visando o aumento na produtividade das culturas. Esse aumento está ligado diretamente à capacidade de retenção e infiltração de água, matéria orgânica, redução da densidade do solo e nutrientes. Sendo de grande importância monitorar estas mudanças para intervenção na melhoria da qualidade do solo. Assim, tem por objetivo avaliar as características físicas e químicas do solo em sub-bacias sob os cultivos de pastagem, cana-de-açúcar e mata ciliar. O delineamento utilizado foi o bloco casualizado, sendo 15x3 com quatro repetições. Onde, tem-se 15 sub-bacias, três de cada bacia (Ribeirão São Mateus, Ribeirão do Marimbondo, Córrego São José do Bebedouro, Ribeirão Frutal e São Francisco) e três sistemas de uso da terra – SUTs (pastagem, cana-de-açúcar e mata ciliar). Totalizando 45 tratamentos, nos quais foram levantados dados físicos e químicos. As amostras indeformadas e deformadas dos solos foram coletadas em cada repetição do SUT. As variáveis analisadas do solo foram: coloração; densidade do solo e de partículas (g cm^{-3}); umidade (%); condutividade elétrica (mV); porosidade (%); pH; Matéria orgânica (g kg^{-1}); classe e textura do solo. Maiores densidade de partícula e do solo foram verificadas nos sistemas de cultivos cana-de-açúcar e pastagem, ao contrário para porosidade, umidade, condutividade elétrica e MOS que foram observados para mata ciliar. Concluiu-se que a classe do solo, predominante, para as áreas de cultivo foi Latossolo e para o sistema de mata ciliar foi solos hidromórficos. O sistema mata nativa apresentou melhores valores para as propriedades físicas do solo, sendo para condutividade elétrica, umidade, densidade de partícula e do solo e porosidade total do solo em relação aos SUTs cana-de-açúcar e pasto. Na análise química do solo, o SUT a mata nativa apresenta maior acidez e matéria orgânica no solo. O cultivo convencional, mal manejado e independente do tipo de solo, afeta negativamente as propriedades físicas e químicas do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do solo, manejo e uso do solo, *Urochloa spp.*, *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

The search for more sustainable cultivation techniques that improve soil quality has been studied with a view to increasing crop productivity. This increase is directly linked to the capacity to retain and infiltrate water, organic matter, and reduce soil density and nutrients. It is of great importance to monitor these changes in order to intervene in improving soil quality. Thus, it aims to evaluate the physical and chemical characteristics of the soil in sub-basins under pasture, sugar cane and riparian forest crops. The design used was a randomized block, 15x3 with four replications. There are 15 sub-basins, three from each basin (Ribeirão São Mateus, Ribeirão do Marimbondo, Córrego São José do Bebedouro, Ribeirão Frutal and São Francisco) and three land use systems - SUTs (pasture, sugarcane and riparian forest). Totaling 45 treatments, in which physical and chemical data were collected. Undisturbed and disturbed soil samples were collected in each SUT replicate. The soil variables analyzed were: color; soil and particle density (g cm^{-3}); moisture (%); electrical conductivity (mV); porosity (%); pH; organic matter (g kg^{-1}); soil class and texture. Higher particle and soil density were observed in the sugarcane and pasture cropping systems, unlike porosity, moisture, electrical conductivity and MOS, which were observed for riparian forest. It was concluded that the predominant soil class for the cropping areas was Latosol and for the riparian forest system it was hydromorphic soils. The native forest system presented better values for soil physical properties, such as electrical conductivity, moisture, particle and soil density and total soil porosity, in relation to the sugarcane and pasture SUTs. In the chemical analysis of the soil, the SUT of the native forest presents greater acidity and organic matter in the soil. Conventional cultivation, poorly managed and regardless of the type of soil, negatively affects the physical and chemical properties of the soil.

KEY WORDS: Soil quality, land management and use, *Urochloa spp.*, *Saccharum officinarum*.

INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural fundamental para as plantas, onde se encontra fontes de nutrientes que garante a sustentação do vegetal. Sendo um sistema complexo que resulta da interação de fatores geológicos, topográficos e climáticos que conferem ao solo suas propriedades e químicas e físicas específicas. Se tornando o recurso de enorme valor, com grande importância ambiental, pois nele se estabelece o escoamento da água para o lençol freático, ciclam nutrientes e microorganismos para o desenvolvimento na produção de plantas.

Avaliar as mudanças das propriedades do solo que resulta do manejo e do uso, tem grande importância prática para a compreensão das mudanças de propriedades físicas e químicas, com efeito do manejo do solo, pode fornecer nutrientes para uma produção sustentável (CARNEIRO et al., 2009).

A qualidade do solo é um estudo que vem tendo grande avanço em pesquisas na atualidade, por conta da diversificação de origens que esta promovendo a perda de produtividade nas áreas de cultivos, trazendo assim a degradação do solo e perda das funções ambientais.

A qualidade física do solo tem atributos no armazenamento de água, nutrientes, microorganismos, troca de gases e desenvolvimento e sustentabilidade de plantas, e as principais características físicas recomendadas são a condutividade hidrica, resistência de penetração, capacidade de retenção de água, horizonte A, porosidade e textura (ARAÚJO et al., 2012). Segundo os mesmos autores, a qualidade química do solo geralmente são agregados por variáveis que foram relacionadas com a acidez, teor de humus do solo, nutrientes, saturação de bases, elementos fitotóxicos e alumínio.

Os territórios do Brasil que são ocupados por pastagens, além de proporcionar grande recurso de principal interesse agropecuário, como a alimentação de bovinos, também auxiliam na redução de gases causados pelo efeito estufa, que ultimamente vem tendo grande avanço atrapalhando todo o ecossistema. Sendo que 20% das áreas de pastagem no país, tendo como importância a maior parte dos bovinos continuam sendo criados a pastos, mesmo com a crescentes construções de confinamentos no território brasileiro (MALAQUIAS et al., 2017)

A cana-de-açúcar "*Saccharum officinarum*" é uma espécie de gramínea perene de porte alto, que se tornou a cultura mais importante no Brasil com aproximadamente 8 mil hectares plantados, sendo consideravelmente um dos maiores produtor e exportador de açúcar e etanol do mundo (SILVA; FREIRE, 2024). Visto que por conta da sua grande versatilidade e interesses econômicos com um desenvolvimento mais sustentável e além de ser usada para a produção de açúcar e etanol, o país é referência global na produção de bioenergia por conta do seu bagaço e utilizado em silagem para alimentação animal.

O Cerrado faz parte dos cinco biomas do Brasil, ocupando em média 23% da área do país, sendo eles espalhados por diversos estados do território brasileiro, porém a importância pouco valorizada, contribuem para o ecossistema, como bacias hidrográficas, a fauna e flora de suas regiões (MMA, 2022).

As técnicas de cultivo foram modificadas para melhorar este sistema, entre elas o revolvimento é o principal método a ser utilizado. Com isso, a falta de revolver o solo após vários anos de agricultura convencional, altera os elementos minerais e orgânicos do solo. Isto resulta em condições prejudiciais nos sistemas tradicionais (TORMENA et al., 1995). Portanto, sendo usado métodos que melhoram a qualidade do solo, dessa maneira ao passar dos anos poderá ver diferença e aumento na produtividade das culturas.

Os resultados a serem observados incluem: capacidade de retenção de água, resistência à penetração, resistência a infiltração, redução da densidade do solo, pH e matéria orgânica. Portanto, é importante monitorar continuamente estas mudanças para gerar informações para intervir nos sistemas e melhorar a qualidade do solo, aumentando assim a produtividade das culturas de cultivo na área e verificar se o sistema de uso do solo está adequado.

OBJETIVOS

Avaliar as características físicas e químicas do solo em sub-bacias sob os cultivos de pastagem, cana-de-açúcar e mata ciliar.

METODOLOGIA

Descrição da Área de Estudo

O trabalho foi realizado na região denominada Serrinha, no município de Frutal, MG, e localizada entre as latitudes 19°46'52"; 20°01'28" S e Longitude: 48°49'29"; 49°08'53" O. O município está inserido na região noroeste do Estado de

Minas Gerais e possui uma área de 2.426 km² com 58.588 habitantes e densidade demográfica de 24,14 habitantes por km² (IBGE, 2022).

O clima da região é definido como Aw, segundo a classificação Köppen-Geiger, tropical com a estação seca e fria ocorrendo no inverno, e o verão apresenta a estação com maiores índices pluviométricos (DUBREUIL et al., 2018), apresentando temperatura e precipitação média anual de 23,8°C e 1626,9 mm, respectivamente, sendo a precipitação concentrada entre os meses de novembro a abril.

O município está inserido no domínio fitogeográfico do Cerrado e apresenta uma matriz fragmentada formada por pastagens, áreas de cultivos perenes, semiperenes e anuais, com poucos fragmentos florestais (IBGE, 2022). O setor agropecuário movimenta grandes recursos na região.

A Serrinha compõe o divisor de bacias entre o rio Paranaíba e o rio Grande, composta por rochas areníticas da Formação Uberaba (Grupo Bauru), seguida ao sul por uma faixa da Formação Vale do Rio do Peixe (CPRM, 2012), onde se encontram nascentes de cinco bacias dos principais rios do município: Ribeirão São Mateus, Ribeirão Frutal, Córrego Bebedouro, Ribeirão Marimbondo e Rio São Francisco. A Serrinha e suas bordas compõem área de recarga importante para a manutenção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas e seus adornamentos.

Mapeamento da Área de Estudo

O mapa de altimetria e localização da área de estudo está representado na Figura 1, sendo as bacias hidrográficas representas por números de 1 a 5 (Ribeirão São Mateus, Ribeirão do Marimbondo, Córrego São José do Bebedouro, Ribeirão Frutal e São Francisco) e cada bacia dividida em três sub-bacias representadas por letras A, B e C.

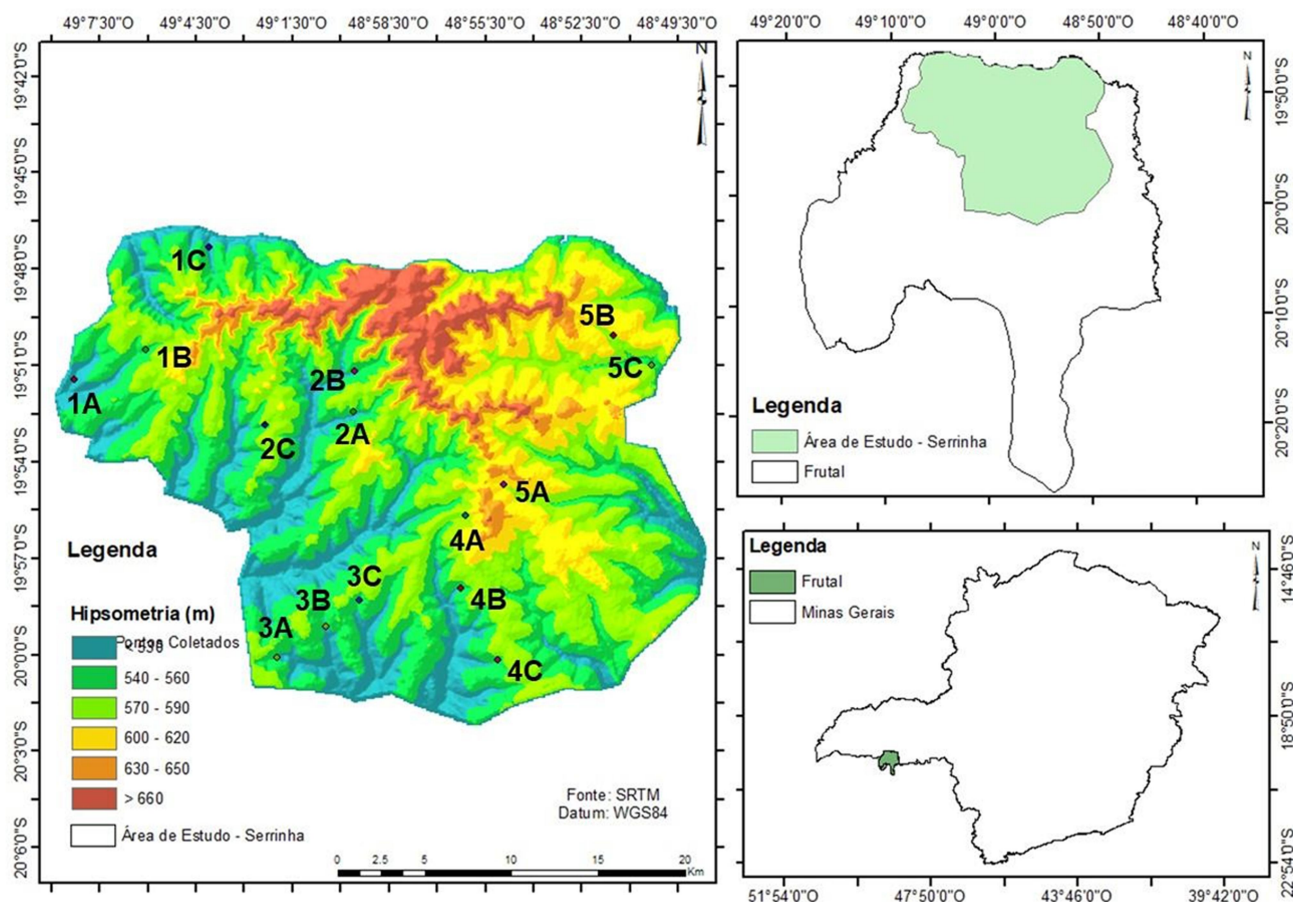


Figura 1: Altimetria da região e localização das nascentes nas principais bacias hidrográficas do município de Frutal (MG): 1) Ribeirão São Mateus; 2) Ribeirão do Marimbondo; 3) Córrego São José do Bebedouro; 4) Ribeirão Frutal; 5) São Francisco. Fonte: Fuzzo, 2023.

Assim, as coletas foram realizadas em cada sub-bacia, sendo esta subdivida em três sistemas de uso da terra – SUTs (pastagem, cana-de-açúcar e mata ciliar), totalizando 15 sub-bacias (Figura 1) e 45 SUTs. Em cada SUT foi dividido em quatro repetições, com sistemas distantes em no mínimo 1,0 km. Totalizando 180 coletas.

Para a demarcação de cada repetição do sistema foi traçado um transecto de 300 m com quatro pontos equidistantes em 100 m, sendo mantida uma distância de 50 m das bordas da área. Em cada SUT, os solos foram analisados e coletados na profundidade de 0-20 cm.

Quando a classificação do uso da terra foi realizada para toda a região de amostragem na porção sul da Serrinha (aproximadamente 55 mil hectares), englobando todas as áreas amostradas.

O mapeamento de uso da terra foi elaborado para o entorno de cada uma das nascentes indicadas na Figura 1, em áreas de abrangência com raio de 2 km (buffers). Para identificação e análise de uso e cobertura da terra foram utilizadas imagens do catálogo MapBiomas, que são mapas no formato matricial (pixel de 30 x 30 m) baseados na coleção Landsat. Para o presente estudo foram usados os dados de 2021 (MAPBIOMAS, 2023).

Os dados foram integrados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizando o software QGIS 3.16, que possibilitou a quantificação a análise espacial do Uso da Terra. As cartas podem ser vistas em Antônio et al. (2023). Para calcular a área de cada uso da terra foi utilizada a ferramenta Grass (r-report), no software QGIS.

Delineamento amostras

A Figura 1 apresenta a área de estudo, com a identificação das bacias e cabeceira das sub-bacias onde estão inseridas as áreas de nascentes a serem estudadas. A caracterização das classes, análises físicas e químicas dos solos, para cada tipo de uso da terra em diferentes bacias hidrográficas, foram realizadas no período chuvoso.

O delineamento utilizado foi o bloco casualizado, sendo 15x3 com quatro repetições. Onde, tem-se 15 sub-bacias, três de cada bacia (Ribeirão São Mateus, Ribeirão do Marimbondo, Córrego São José do Bebedouro, Ribeirão Frutal e São Francisco) e três sistemas de uso da terra – SUTs (pastagem, cana-de-açúcar e mata ciliar). Totalizando 45 tratamentos, nos quais foram levantados dados físicos e químicos do solo.

As amostras indeformadas e deformadas dos solos foram coletadas em cada repetição do sistema de uso da terra, na profundidade de 0-20 cm.

Coleta de Variáveis de Solo

Na caracterização física do solo foram analisadas as seguintes variáveis do solo: umidade, condutividade elétrica, densidade do solo, densidade de partícula, porosidade total, classe textural, cor e classe.

A condutividade elétrica (mV) e umidade (%) foram medidas in loco utilizando o aparelho *Moisture Probe Meter* (MPM-160-B 12 bits) desenvolvido pela *ICT International Pty Ltd*. Para essas variáveis, os dados foram avaliados em quatro repetições, para cada tipo de sistema de uso da terra.

Para a determinação da densidade do solo (D_s) (g cm^{-3}), pelo método do anel volumétrico, foram coletadas amostras indeformadas com amostrador de *Uhland* em cilindros e para densidade de partícula (D_p) (g cm^{-3}) as amostras deformadas foram realizadas com o trado holandês. A porosidade total (PT) do solo foi calculada pela relação densidade de solo/densidade de partícula utilizando a fórmula de Teixeira *et al.* (2017):

$$PT = ((D_s - D_p) / D_s) \times 100$$

equação (1)

Seguindo a metodologia do autor anterior, textura do solo foi analisada pelo triângulo textural, após a separação das frações: areia, silte e argila, por meio de peneiras granulométricas e sinfonamento.

Para determinação da cor do solo das respectivas amostras, foi utilizado o método clássico pela Carta de Cores de Munsell®, na qual é expresso em três componentes: matiz, valor e croma (MUNSELL, 1994). O solo foi caracterizado e classificado segundo Santos *et al.*, (2018).

Nas análises químicas foram realizadas as variáveis pH e carbono orgânico do solo. Para determinação do carbono orgânico, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de solos da UEMG, onde foram realizadas conforme Teixeira *et al.* (2017). O pH do solo foram medidos por meio de sonda de teste tipo vareta (Dangos).

Análise de dados

Os resultados obtidos dos atributos físicos e químicos avaliados foram submetidos à análise de variância, os dados qualitativos foram avaliados por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS

Os solos das áreas de estudo foram classificados como Latossolo, Plintossolo, Gleissolo e Organossolo. Os Latossolos foram encontrados nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar e pastagem, com exceção na sub-bacia 5A, mata ciliar. As demais áreas de mata ciliar foram encontradas as classes de solo hidromórficas (Tabela 1).

Sobre o Latossolo Vermelho foram estudados sistemas de cultivo sob diferentes sistemas de uso da terra, encontrados na região, sempre comparado com sistema referência, que neste estudo foi considerado o mata ciliar característico na região.

As texturas do solo, nas áreas de pastagem, cana-de-açúcar e mata ciliar foram, predominantemente, franco argiloso arenosa, franco arenoso e areia franca (Tabela 1).

Tabela 1. Coloração, textura e classe do solo, dos pontos de coleta de solo na profundidade de 0-20 cm.

Sub-Bacia	Sistema de Uso da Terra	Textura	Cor (Munsell)	Cor Manual Tec. IBGE	Cor (ref.)	Classe do Solo
1A	Mata Ciliar	Franco arenoso	5YR 2,5/1	Preto		ORGA
	Pastagem	Franco argiloso arenosa	5YR 4/3	Bruno-avermelhado		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
1B	Mata Ciliar	Franco arenoso	5YR 3/3	Bruno-avermelhado-escuro		GLEI
	Pastagem	Franco arenoso	5YR 4/3	Bruno-avermelhado		LATO
	Cana-de-açúcar	Areia franca	5YR 4/4	Bruno-avermelhado		LATO
1C	Mata Ciliar	Franco arenoso	7,5YR 3/2	Bruno-escuro		PLIN
	Pastagem	Franco argiloso arenosa	2,5YR 4/3	Bruno-avermelhado		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
2A	Mata Ciliar	Franco arenoso	7,5YR 4/3	Bruno		PLIN
	Pastagem	Areia franca	2,5YR 2,5/3	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/3	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
2B	Mata Ciliar	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		GLEI
	Pastagem	Franco arenoso	2,5YR 4/4	Bruno-avermelhado		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
2C	Mata Ciliar	Franco arenoso	5YR 5/2	Cinzentos-avermelhado		GLEI
	Pastagem	Areia franca	5YR 4/4	Bruno-avermelhado		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/3	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
3A	Mata Ciliar	Franco argiloso arenosa	5YR 4/3	Bruno-avermelhado		GLEI
	Pastagem	Franco arenoso	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
3B	Mata Ciliar	Franco arenoso	7,5YR 4/4	Bruno		GLEI
	Pastagem	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 2,5/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
3C	Mata Ciliar	Franco arenoso	5YR 5/1	Cinzentos		GLEI
	Pastagem	Areia franca	2,5YR 3/6	Vermelho-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/6	Vermelho-escuro		LATO
4A	Mata Ciliar	Areia franca	5YR 4/2	Cinzentos-avermelhado-escuro		GLEI
	Pastagem	Franco arenoso	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
4B	Mata Ciliar	Franco arenoso	5YR 4/6	Vermelho-amarelado		GLEI
	Pastagem	Franco arenoso	2,5YR 2,5/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/3	Bruno-avermelhado-escuro		LATO

4C	Mata Ciliar	Franco argiloso arenosa	5YR 4/1	Cinzentos-escuro		GLEI
	Pastagem	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/6	Vermelho-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/6	Vermelho-escuro		LATO
5A	Mata Ciliar	Areia franca	5YR 4/1	Cinzentos-escuro		GLEI
	Pastagem	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/6	Vermelho-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Areia franca	2,5YR 3/6	Vermelho-escuro		LATO
5B	Mata Ciliar	Franco arenoso	5YR 4/1	Cinzentos-escuro		GLEI
	Pastagem	Areia franca	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
5C	Mata Ciliar	Franco argiloso arenosa	2,5YR 4/4	Bruno-avermelhado		LATO
	Pastagem	Franco argiloso arenosa	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO
	Cana-de-açúcar	Franco arenoso	2,5YR 3/4	Bruno-avermelhado-escuro		LATO

Legenda: Cor (Munsell) = Cor determinada segundo a carta de Munsell; Cor Manual Tec. IBGE = Cor descrita segundo IBGE (2015); Cor (referência) = cores obtidas pelo RGB. Lato = Latossolo Vermelho; Plin = Plintossolo; Glai = Glaissolo; Orga = Organossolo. **Fonte:** Elaborado pelo autor, 2025.

Nas variáveis umidade e condutividade observa-se diferença estatística. Nas sub-bacias 1A, 3B, 4B, 4C, 5A e 5B no sistema de uso da terra (SUT) mata ciliar apresentaram maiores valores para umidade do solo, e na sub-bacia 1B o SUT cana-de-açúcar obteve maior umidade (Tabela 2).

Quando analisou a condutividade elétrica (CE) do solo, verificou-se valores que diferenciou estatisticamente entre os SUTs. A CE nas sub-bacias 1A, 1B, 1C, 3B, 4B, 5A, 5B e 5C que apresentaram maiores valores foram os SUTs: (cana-de-açúcar e mata-ciliar); cana-de-açúcar; (pasto e mata-ciliar); mata ciliar; mata ciliar; (cana-de-açúcar e mata-ciliar); mata-ciliar; e (cana-de-açúcar e mata-ciliar), respectivamente. Sendo, nestes SUTs e sub-bacias que apresentam maiores quantidades de sais na solução do solo, podendo relacionar com o quantitativo de minerais liberados no solo pela quantidade de matéria orgânica presente no solo (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Valores médios dos atributos umidade e condutividade elétrica do solo em sistemas pasto, cana-de-açúcar e mata ciliar município de Frutal-MG.

Sub-Bacia (SB)	Umidade (%)			CE (mV)		
	Sistema de Uso da Terra (SUTs).....					
	Pasto	Cana	Mata	Pasto	Cana	Mata
1A	14,98b	14,13b	18,40a	419,25b	433,25ab	475,50a
1B	12,45b	16,68a	11,38b	371,00b	455,25a	349,25b
1C	13,93a	12,68a	12,28a	400,00a	303,00b	367,50a
2A	14,45a	14,20a	14,65a	405,50a	405,50a	416,00a
2B	12,88a	13,23a	14,60a	379,25a	387,25a	414,00a
2C	15,75a	17,33a	15,65a	430,00a	436,80a	436,00a
3A	15,70a	13,43a	15,38a	435,25a	389,75a	429,50a
3B	17,25b	13,63c	20,33a	466,75b	394,00c	528,00a
3C	15,42a	15,85a	13,73a	432,50a	438,50a	395,75a
4A	14,78a	15,98a	16,18a	417,25a	441,00a	445,50a
4B	20,83a	13,73b	22,80a	515,25b	395,25c	578,00a
4C	12,68b	14,85ab	15,15a	377,00a	418,00a	422,25a
5A	10,83b	15,55a	16,00a	332,50b	432,50a	441,50a
5B	11,73b	12,15b	15,48a	356,25b	365,00b	435,25a
5C	11,90a	13,53a	13,43a	359,50b	392,25ab	419,50a
Causas da variaçãoFc.....						
SBxSUTs		8,995*		6,464*		
CV%		9,28		7,75		
DMS		2,315		54,218		

*Médias comparadas nas linhas com mesma letra entre os SUTs, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Nas variáveis da Tabela 3, verifica-se diferença significativa para matéria orgânica do solo (MOS) e pH. A MOS nas sub-bacias 1A, 1C, 3C, 4B, 4C, 5A e 5B o SUT mata ciliar apresentou maiores valores, já pasto foram nas sub-bacias 1C, 3C, 4A, 4B e 5A. Podendo descrever que sistemas decênios fechado possui alta ciclagem de nutrientes, como na mata ciliar e em sistema de pastagem a matéria orgânica das forrageira e plantas espontâneas, junto com os dejetos de animais, faz aumentar a MOS.

Para pH, as culturas pasto e cana-de-açúcar verificaram maiores valores nas sub-bacias em relação a mata ciliar. Sendo a cana-de-açúcar com maiores valores nas sub-bacias 1A, 1C, 2A, 2B, 2C, 3B, 3C, 4B, 4C, 5A e 5C (Tabela 3). Assim, verifica-se que as culturas de interesse econômico, há a alcalinização do solo por meio da aplicação mecânica de cal e gesso.

Tabela 3. Valores médios dos atributos matéria orgânica e pH do solo em sistemas pasto, cana-de-açúcar e mata ciliar município de Frutal-MG.

MOS (g kg ⁻¹)						
Sub-Bacia (SB)	pH					
	Sistema de Uso da Terra (SUTs)					
	Pasto	Cana	Mata	Pasto	Cana	Mata
1A	37,79b	37,64b	86,05a	6,56b	7,31a	6,18b
1B	43,00a	49,64a	45,22a	6,15a	6,17a	6,33a
1C	65,64a	35,74b	82,67a	6,29b	7,11a	6,10b
2A	34,26a	40,78a	31,72a	6,89b	7,23ab	6,33a
2B	49,92a	46,00a	56,69a	6,28b	7,55a	6,51b
2C	59,84a	41,19a	58,33a	6,03b	6,89a	5,81b
3A	36,84a	35,45a	46,56a	5,31a	6,34a	5,09a
3B	31,38a	40,72a	46,58a	5,95b	6,48a	4,58c
3C	51,72ab	40,78b	62,41a	5,73b	6,82a	5,40b
4A	57,92a	36,36b	35,65b	6,26a	6,50a	6,67a
4B	37,70ab	32,15b	53,58a	6,51a	6,39a	5,96b
4C	41,37b	49,35b	125,32a	6,72ab	6,85a	5,35b
5A	78,34a	31,64b	98,95a	5,99b	7,25a	6,13b
5B	28,03b	37,06b	95,01a	6,89a	6,53a	6,50a
5C	57,40a	62,10a	46,98a	6,31b	6,89a	5,74c
Causas da variação Fc						
SBxSUTs		8,212*		9,827*		
CV%		24,32		3,84		
DMS		20,822		0,412		

*Médias comparadas nas linhas com mesma letra entre os SUTs, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. MOS – Matéria Orgânica do Solo. pH – Potencial Hidrogeniônico.

Na tabela 4, observa-se diferença estatística para as variáveis densidade de partícula (DP), densidade do solo (DS) e porosidade do solo (PO), entre os SUT em algumas sub-bacias. Verifica-se para DP, que nas sub-bacias 2A os SUTs com maiores valores foram pasto e cana-de-açúcar, e na sub-bacia 4C foi o pasto. Assim, em relação aos SUTs com mata ciliar, estes sistemas apresentam maior compactação do solo, devido ao peso exercido por animais e maquinários na superfície do solo e seu revolvimento.

Para a DS, verifica-se nas sub-bacias 3A e 4B, maiores valores para pasto e cana-de-açúcar em comparação com a mata ciliar, tem compactação nestes sistemas de cultivo. De modo geral, quanto maior for a DS, pior será sua estrutura e menos poroso será em geral, assim, as restrições ao crescimento e desenvolvimento das plantas serão maiores. Conforme apresentado por Klein (2008), os valores de DS em solos agrícolas tem uma variação de 0,9 a 1,8 g cm⁻³, que dependerá de duas variáveis: 1) a sua textura e do 2) teor de matéria orgânica no solo.

Nesse sentido, percebe-se que os valores encontrados nesse estudo estão dentro dos limites considerados ideais para o desenvolvimento de plantas. Valores acima e abaixo do recomendado, foram encontrados neste trabalho (Tabela 4), valor acima verifica-se na sub-bacia 4B, em pasto degradado com alta compactação e valores abaixo nas sub-bacias 1A, 3A e 5A solo hidromorfo sob área de mata ciliar e alto valores de umidade (Tabela 1 e 2). Por meio da análise estatística foi possível demonstrar que as áreas de mata nativa expressaram menor DS, apontando que a existência de vegetação e cobertura do solo auxiliou na ampliação da umidade ocasionando a diminuição da densidade, certamente

pelo maior aporte de matéria orgânica. Os resultados obtidos neste experimento verificam-se o aumento da DS por meio do sistema convencional.

Na variável porosidade total do solo (PO) verifica-se que na sub-bacia 3A, maior valor para o SUT mata ciliar em comparação aos sistemas de cultivo pasto e cana-de-açúcar, isso se deve pela baixa DS, alta umidade, pH e MOS. Levando em consideração que o ideal é a partir do momento que o solo apresenta 50% ($0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) do seu volume total contendo espaço poroso, nota-se que as médias que foram superiores a esse valor foi os SUTs mata ciliar em sub-bacias em solos hidromórficos, com alto teor de MOS e areia.

Tabela 4. Valores médios dos atributos umidade e condutividade elétrica do solo em sistemas pasto, cana-de-açúcar e mata ciliar município de Frutal-MG.

Sub-Bacia (SB)	DP (g cm ⁻³)			DS (g cm ⁻³)			PO (%)		
	Sistema de Uso da Terra (SUTs).....								
	Pasto	Cana	Mata	Pasto	Cana	Mata	Pasto	Cana	Mata
1A	2,52a	2,62a	2,30a	1,63a	1,64a	0,84a	35,35a	37,45a	63,13a
1B	2,49a	2,57a	2,33a	1,45a	1,52a	1,39a	41,94a	41,09a	40,36a
1C	2,46a	2,58a	2,35a	1,73a	1,57a	1,47a	29,22a	39,04a	36,18a
2A	2,56ab	2,69a	2,35c	1,50a	1,63a	1,34a	41,39a	39,68a	42,99a
2B	2,57a	2,69a	2,44a	1,56a	1,59a	1,31a	42,00a	38,00a	46,46a
2C	2,70a	2,62a	2,67a	1,46a	1,56a	1,25a	45,42a	40,39a	53,52a
3A	2,57a	2,65a	2,32a	1,55a	1,62a	0,53b	39,44b	38,76b	77,19a
3B	2,51a	2,51a	2,33a	1,54a	1,59a	1,20a	36,87a	38,64a	48,33a
3C	2,72a	2,67a	2,58a	1,56a	1,61a	1,29a	40,82a	39,80a	50,05a
4A	2,43a	2,56a	2,43a	1,65a	1,53a	1,39a	32,03a	40,24a	42,62a
4B	2,59a	2,63a	2,43a	2,56a	1,68ab	1,20b	35,36a	36,07a	50,54a
4C	3,05a	2,56b	2,65b	1,52a	1,66a	1,42a	46,28a	35,17a	46,36a
5A	2,64a	2,56a	2,33a	1,66a	1,59a	0,72a	37,14a	37,14a	69,12a
5B	2,53a	2,63a	2,34a	1,57a	1,61a	1,09a	37,97a	38,77a	56,56a
5C	2,55a	2,62a	2,55a	1,66a	1,67a	1,48a	34,77a	36,27a	41,93a
Causas da variação	Fc.....								
SBxSUTs	0,87*			1,328*			1,349*		
CV%	8,02			39,07			54,09		
DMS	0,343			0,886			37,28		

*Médias comparadas nas linhas com mesma letra entre os SUTs, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

A classe do solo, predominante, para as áreas de cultivo foi Latossolo e para o sistema de mata ciliar foi solos hidromórficos.

O sistema mata nativa apresentou melhores valores para as propriedades físicas do solo, sendo para condutividade elétrica, umidade, densidade de partícula e do solo e porosidade total do solo em relação aos SUTs cana-de-açúcar e pasto.

Na análise química do solo, o SUT a mata nativa apresenta maior acidez e matéria orgânica no solo.

O cultivo convencional, mal manejado e independente do tipo de solo, afeta negativamente as propriedades físicas e químicas do solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTÔNIO, P. I.; CARRILLO, A. D.; MILLAN, R. N.; FUZZO, D. F. S.; PANARELLI, E. A. Nascentes no cerrado do Triângulo Mineiro: características da paisagem e disponibilidade de água. In: Rosângela FVP Marques; Claudiomir da Silva dos Santos; Fabrício dos Santos Rita; Ronei A Barbosa; Alisson S de Oliveira; Gilcean Silva Alves. (Org.). Alterações Antrópicas & Meio Ambiente. 1ed. Campina Grande: EPTEC, 2023, p. 155-165.
2. ARAÚJO, E.A. KER, J.C. NEVES, J.C.L. LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, n.5, p. 187-206, 2012.
3. CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F., PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, p.147-157, 2009.
4. CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Acompanhamento da estiagem na região sudeste do Brasil, relatório 2**. Belo Horizonte, 65p., 2014. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/22312/2/secaestiagem_sureg_sp_relatorio_002_2014.pdf. Acesso em: 01 set. 2024.
5. DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de köppen de 1961 a 2015. **Confins**, [S. l.], n. 37, p. 1-20, 2018.
6. FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência Agrotecnologia**. v. 35, n. 6, p.1039-1042, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/?lang=en>. Acesso em: 20 fev. 2025.
7. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades Panorama**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/fronteira/panorama>. Acesso em: 19 jan. 2025.
8. KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 2008. 240p.
9. MALAQUIAS, F. S. S.; TEIXEIRA, L. M. S.; SANTIAGO, R. B. S.; PARENTE, L. L.; FERREIRA, L. G. **Pastagem**: dados e informações para uma compreensão ambiental, econômica e social sobre a última fronteira agrícola do Brasil. Anais. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos - SP, Brasil, pp. 1392-1399. 2017.
10. MAPBIOMAS – **Coleção 7 da Série Annual de Mapas da Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. 2023. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil_coverage_2021.tif. Acesso em: 9 jan. 2025.
11. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **O bioma Cerrado**. 2022. Acesso em: 27 fev. 2025. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/cerrado.html#:~:text=O%20Cerrado%20%C3%A9%20o%20segundo,de%2022%25%20do%20territ%C3%B3rio%20nacional>.
12. MUNSELL, A. H. **Munsell soil color charts**. New Windsor, 1994. Revised edition.
13. SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa. ed. 5. p. 356, 2018.
14. SILVA, F. C., FREIRE, F. J. **Inovação e desenvolvimento em cana-de-açúcar**: manejo, nutrição, bioinsumos, recomendação de corretivos e fertilizantes. Brasília, DF: Embrapa, 2024. 471 p.
15. TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 574, 2017.