

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE
CARBONO ORGÂNICO NO SOLO**

APATCHE ANSUNDA CÓ

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

APATCHE ANSUDA CÓ
Engenheiro Agrônomo

Orientadora: PROF^a. DR^a. ALESSANDRA MAYUMI TOKURA ALOVISI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2023

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO

Por

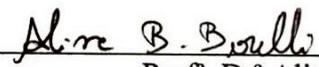
CÓ, Apatche, Ansunda

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

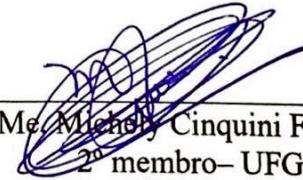
Aprovado em: 06/09/2023



Prof.^a Dr.^a Alessandra Mayumi Tokura Alovise
Orientadora – UFGD/FCA



Prof.^a Dr.^a Aline Baptista Borelli
1º membro- UNIGRAN



Me. Michel Cinquini Freire da Silva
2º membro – UFGD/FCA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C652c	<p>Có, Apatche Ansunda. Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico no solo. / Apatche Anunda Có. – Dourados, MS : UFGD, 2023.</p> <p>Orientadora: Prof. Dra. Alessandra Mayumi Tokura Alovisi. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Matéria orgânica. 2. Yeamans e Bremmer. 3. Walkley e Black. 4. Manejo do solo. I. Título.</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos aqueles que contribuíram para a conclusão deste trabalho. Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha orientadora Prof^a. Dr^a. Alessandra Mayumi Tokura Alovisei, por me fornecer orientação valiosa e inestimável ao longo de todo o processo. Suas sugestões e conselhos foram fundamentais para que eu pudesse concluir este trabalho com sucesso.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos Edilson Osmar do Santos Baessa, Pablo Mota, Rodrigo Bernardes, e familiares, em especial aos meus pais Ansunda CÓ Sóna Cá que sempre me apoiaram em todas as minhas escolhas e me incentivaram a perseguir meus sonhos. Sem o amor e o apoio incondicional deles, eu não teria conseguido chegar até aqui.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os profissionais, empresas e organizações que forneceram dados, informações e recursos que foram essenciais para a realização deste trabalho. Sem a colaboração de vocês, este projeto não teria sido possível.

O meu sincero agradecimento a todos vocês!

CÓ, APATCHE, ANSUNDA 2023. **Comparação de métodos de determinação de carbono orgânico no solo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2023.

RESUMO

A matéria orgânica é um componente essencial para a fertilidade do solo e para a manutenção da biodiversidade. Atualmente diferentes metodologias para a determinação do carbono orgânico em solos têm sido utilizadas sem, no entanto, levar em consideração de riscos que possam oferecer ao meio ambiente e o alto custo de execução de suas análises. Desta forma, há necessidade de testar os métodos, com o intuito de encontrar um método que seja menos poluente, de baixo custo, prático e eficiente. Com isso, o objetivo deste trabalho foi comparar três métodos de determinação de carbono orgânico em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a diferentes manejos. O trabalho foi realizado com solos de uma área experimental da Fazenda Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA), localizada no município de Dourados, além da coleta de amostras de solo sob vegetação nativa de um fragmento de Mata Atlântica adjacente a FAECA. Foram coletadas 16 amostras compostas na camada de 0-20 cm. Sendo uma amostra composta a junção de cinco amostras simples. Os teores de carbono no solo foram determinados pelos métodos de combustão úmida - titulação e espectrofotômetro, e combustão seca - mufla. Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente ao Teste de Tukey ($p \leq 0.10$). Os métodos do espectrofotômetro e da mufla tendem a superestimar os teores de carbono orgânico, comparativamente ao método da titulação. Não houve correlação entre os métodos estudados, indicando a impossibilidade de sua utilização para substituir o método de referência, o da titulação.

Palavras-chave: Matéria orgânica, Yeamans e Bremner, Walkley e Black, manejo do solo.

ABSTRACT

Organic matter is an essential component for soil fertility and for maintaining biodiversity. Currently, different methodologies for the determination of organic carbon in soils have been used without, however, taking into account the risks they may pose to the environment and the high cost of carrying out their analyses. In this way, there is a need to test the methods, in order to find a method that is less polluting, low cost, practical and efficient. Thus, the objective of this work was to compare three methods of determination of organic carbon in an Oxisol submitted to different managements. The work was carried out with soils from an experimental area of the Experimental Farm of the Federal University of Grande Dourados (FAECA), located in the municipality of Dourados, in addition to the collection of soil samples under native vegetation of an Atlantic Forest fragment adjacent to FAECA. Sixteen composite samples were collected from the 0-20 cm layer. A composite sample is the combination of five simple samples. Soil carbon contents were determined by wet combustion methods - titration and spectrophotometer, and dry combustion - muffle. Data were submitted to analysis of variance and subsequently to Tukey's test ($p \leq 0.10$). The spectrophotometer and muffle methods tend to overestimate the organic carbon contents compared to the titration method. There was no correlation between the methods studied, indicating the impossibility of using them to replace the reference method, that of titration.

Keywords: Organic matter, Yeomans and Bremner, Walkley and Black, soil managememe

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Matéria Orgânico do Solo (COS)	10
2.2 Metodologias de Determinação de Carbono Orgânico no Solo	11
2.2.1 Método de Yeomans e Bremner (1988)	11
2.2.2 Método espectrofotômetro Calorímetro	11
2.2.3 Método da mufla	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Local do experimento.....	13
3.2 Coleta das amostras	13
3.3 Análises do solo.....	13
3.4 Métodos de determinação de carbono orgânico do solo (COS).....	15
3.4.1 Titulação – Método YEOMANS e BREMNER (1988)	15
3.4.2. Mufla – PMI (Perda de Massa por Ignição) (Lanarv 1988)	15
3.4.3. Espectrofotômetro – Walkley e Black adaptado (Instituto Agrônômico)	15
3.5 Cálculo do fator de correção	15
3.6 Análise dos dados.....	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO	20
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica (MO) é um componente essencial para a fertilidade do solo e para a manutenção da biodiversidade. Conforme observado por Gama-Rodrigues et al. (2008), ela é composta por restos de plantas e animais, além de microrganismos que realizam a decomposição desses materiais.

A presença de matéria orgânica é fundamental para a manutenção da qualidade do solo. Conforme destacado por Siqueira Neto et al. (2010), os componentes orgânicos contribuem para a melhoria da estrutura do solo, aumentam a capacidade de retenção de água e nutrientes, e promovem a atividade biológica do solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes.

A matéria orgânica também tem implicações importantes para a mitigação das mudanças climáticas. Conforme observado por Lal (2004), a MO do solo é um importante reservatório de carbono, e a sua preservação pode contribuir para a redução do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera. No entanto, tem sido frequentemente afetada por práticas agrícolas intensivas, como o uso de agrotóxicos e a monocultura. Segundo Cunha et al. (2019), a perda de matéria orgânica do solo tem implicações negativas para a sustentabilidade da agricultura, comprometendo a produtividade e a qualidade dos alimentos produzidos.

Assim, é fundamental compreender a importância da preservação da matéria orgânica e buscar práticas agrícolas mais sustentáveis e responsáveis, que contribuam para a manutenção da fertilidade do solo e mitigação das mudanças climáticas.

Com a ampliação de programas governamentais de incentivo ao uso de sistemas conservacionistas de baixa emissão de carbono, surge a necessidade de se acompanhar as variações de carbono no solo, aumentando assim a necessidade de padronização dos diferentes métodos existentes.

Diferentes procedimentos analíticos foram desenvolvidos e têm sido empregados para determinar o teor de carbono no solo, desde aquelas baseadas na dicromatometria e suas variações, até as automatizadas que empregam a combustão a seco. Apesar do crescente uso de métodos automatizados, os laboratórios de análises de solos usualmente empregam métodos analíticos baseados na oxidação das formas de carbono por dicromato, com variadas adaptações. Os métodos automatizados, apesar de consolidados

em países desenvolvidos, são limitados a laboratórios de órgãos de pesquisa e universidades brasileiras e precisam ainda ser testados para uma ampla variedade de solos e históricos de uso.

Atualmente, existem três métodos mais usados de determinação de matéria orgânica, dentre eles, os métodos da Titulação (YEOMANS e KAMP; BREMNER, 1988); o método da Mufla (Lanarv 1988); e o método de Espectrofotômetro (Instituto Agrônômico).

Com isso, o objetivo deste trabalho foi comparar três métodos de determinação de carbono orgânico em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a diferentes manejos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Matéria Orgânica

A matéria orgânica (MO) é um dos componentes mais importantes do solo, influenciando diversas propriedades químicas, físicas e biológicas do ambiente. Conforme observado por Ribeiro et al. (2018), a matéria orgânica pode influenciar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, a retenção de água, a resistência à erosão, a estabilidade estrutural e a capacidade de troca catiônica do solo.

A origem da matéria orgânica pode variar, incluindo restos de plantas, animais e microrganismos. Segundo Cunha et al. (2015), a matéria orgânica do solo é derivada quase inteiramente de organismos vegetais, e sua composição varia entre diferentes espécies de plantas e dentro de uma mesma espécie e animais presentes no solo. A composição também depende de alguns fatores como a entrada de matéria orgânica, sua taxa de mineralização, textura do solo e clima.

De acordo com Baldoni et al. (2019), a qualidade da matéria orgânica do solo pode ser influenciada pela sua origem, pela sua idade e pelo tipo de material orgânico que a compõem. A sua decomposição é influenciada por diversos fatores, incluindo a temperatura, umidade e a disponibilidade de oxigênio no ambiente.

A matéria orgânica também é um importante reservatório de carbono, e a sua dinâmica pode afetar o balanço de carbono no ambiente. Conforme destacado por Lal (2019), a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como a rotação de culturas e a adição de matéria orgânica ao solo, pode contribuir para aumentar o estoque de carbono no solo e reduzir as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

A matéria orgânica do solo responde por 75 a 85% da capacidade de trocas catiônicas (CTC) mesmo com pequeno volume total no solo (SIQUEIRA NETO et al., 2009), porém é a base da produtividade agrícola sustentável, pois por meio de sua ação direta, é capaz de regular as condições químicas, físicas e biológicas do solo, regulando a eficiência dos nutrientes, sendo considerada um importante indicador da produtividade agrícola, produção e qualidade do solo (COSTA et al., 2013).

Os efeitos mais óbvios da MO nas condições físicas do solo são: estabilização da temperatura, o que é benéfico para o crescimento das plantas e aumento da capacidade de retenção de água do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Além disso, a matéria orgânica desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade do solo e segundo Anderson et al. (2018), a matéria orgânica é responsável por fornecer habitat e alimento para uma ampla gama de organismos, incluindo bactérias, fungos, protozoários e nematoides, que por sua vez desempenham funções importantes na ciclagem de nutrientes e no controle de doenças e pragas.

Dessa forma, é evidente a importância da matéria orgânica para a saúde do solo e do ambiente como um todo. A sua compreensão é essencial para a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e para a conservação da biodiversidade do solo e da qualidade ambiental.

2.2. Metodologias de determinação do carbono orgânico do solo

A análise do teor de carbono orgânico (CO) envolve a conversão em CO_2 de todas as substâncias orgânicas presentes no solo, por meio de combustão seca ou úmida, por digestão, oxidação e dosagem do agente oxidante remanescente, por titulometria, volumetria, entre outros procedimentos analíticos (GATTO et al., 2009). Ao se avaliar o teor de C, as variações nos resultados podem ocorrer tanto em razão dos métodos empregados, quanto em relação à composição química dos materiais.

2.2.1 Método de Yeomans e Bremner (1988)

O método de Yeomans & Bremner (1988) é uma variação do método de Walkley-Black e baseia-se na redução do dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) por compostos de carbono orgânico e na subsequente determinação do $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ remanescente por titulação do excesso de cromo com sulfato ferroso amoniacal (CANTARELLA et al., 2001). Esse método é o mais empregado em laboratórios que analisam C em solos, porém apresenta problemas analíticos e ambientais, em razão da utilização do cromo (SEGNINI et al., 2008).

2.2.2 O Método de espectrofotômetro colorimétrico

É uma ferramenta analítica amplamente utilizada em laboratórios para medir a absorvância ou transmitância de uma amostra em diferentes comprimentos de onda de luz visível ou ultravioleta. A análise colorimétrica baseia-se na medição de mudanças de

cor em reações químicas, proporcionando uma maneira rápida e conveniente de quantificar a concentração de um analito em uma amostra.

Existem diferentes métodos colorimétricos para a análise de matéria orgânica, cada um com suas vantagens e limitações. Alguns dos métodos comuns incluem:

- Método de Difenilamina: Utilizado para determinar a matéria orgânica total em solos. A reação envolve a formação de um complexo colorido entre a matéria orgânica e a difenilamina em meio ácido.
- Método do Ácido 4-Aminoantipirina: Utilizado para a análise de matéria orgânica dissolvida em água. A reação envolve a formação de um corante complexo entre o ácido 4-aminoantipirina, o cloreto férrico e a matéria orgânica presente na amostra.

O processo de análise utilizando o espectrofotômetro colorimétrico geralmente envolve a preparação adequada da amostra, a adição dos reagentes colorimétricos apropriados e a leitura das absorbâncias em comprimentos de onda específicos. Os resultados são então correlacionados com curvas de calibração para quantificar a concentração de matéria orgânica na amostra.

2.2.3 Método da Mufla

O método da mufla consiste na determinação gravimétrica do CO₂ evoluído e, por conseguinte, na perda de massa de resíduo submetido à alta temperatura por certo intervalo de tempo; na determinação da MO, considera-se, assim, a diferença de peso inicial (amostras secas a 105°C) e de peso computado após a incineração da amostra a 550-600°C (SUGUIO, 1973).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O estudo foi realizado com a coleta de amostras de solo da Fazenda Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados (FAECA), localizada no município de Dourados, com coordenadas geográficas de latitude 22°14'S, longitude de 54°49'W e altitude de 458 metros e o solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) com textura argilosa (SANTOS et al., 2018). O clima local de acordo com a classificação de Koppen e Geiger é Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos). A latitude 22°14'S, longitude de 54°49'W e altitude de 458 metros pluviométrica total anual da região é de 1.400 a 1.500 mm e a temperatura média anual por volta dos 24°C (FIETZ e FISCH, 2008). Foi coletado também amostra de solo, da camada de 0-20 cm, sob vegetação nativa, de um fragmento de Mata Atlântica, adjacente a FAECA, localizada nas coordenadas geográficas de latitude 22°13'25,09'S, longitude de 55°0'43,69'W e altitude de 524 metros, de um Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf).

3.2 Coleta das amostras

A área do estudo na FAECA encontra-se em Sistema de Plantio Direto (SPD) desde 2009, quando foram realizadas todas as correções necessárias para introdução do sistema. São cultivados soja e milho no verão e culturas de outono-inverno na sequência. Os solos foram coletados sob áreas cultivadas com milho, pousio e rotação de culturas. Foram coletadas quatro amostras compostas de solo sendo uma amostra composta a junção de dezesseis amostras simples de solo na camada de 0-20 cm, em cada um dos tratamentos (milho, pousio e rotação). Coletou também quatro amostras compostas de solo da camada de 0-20 cm, na área sob vegetação nativa. Sendo uma amostra composta a junção de dezesseis amostras simples. No total foram 64 amostras simples transformadas em 16 amostras compostas.

3.3 Análises do solo

As amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha < 2 mm de plástico para as análises químicas e textura, segundo método de Claessen (1997) (QUADRO 1), além da determinação do carbono orgânico por três métodos (Yeomans e Bremner; espectrofotômetro e mufla).

QUADRO 1. Atributos químicos e de textura do Latossolo Vermelho Distroférico sob diferentes manejos, Dourados-MS, 2023

Área	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V%	Areia	Silte	Argila
	H ₂ O	mgdm ⁻³	-----Cmol _c dm ⁻³ -----					-----%-----				
P	6,15	25,0	0,38	5,0	2,1	0,0	3,7	11,2	66,8	26,3	19,9	53,7
R	5,66	10,5	0,67	3,2	1,2	0,5	4,5	9,6	53,1	24,3	16,4	59,2
M	5,61	14,7	0,38	3,7	1,4	0,4	5,1	10,7	52,0	15,8	24,4	59,8
V	5,94	3,16	0,38	8,4	3,3	0,0	5,1	17,2	70,4	19,1	27,7	53,1

P: área sob pousio, R: área sob rotação de culturas, M: área sob milho, V: área sob vegetação nativa

3.4 Métodos de determinação do carbono orgânico do solo (COS)

Os métodos analíticos avaliados para determinar o teor de COS foram utilizando amostras de solo por massa (Método de Yeomans e Bremner; Mufla) ou por volume (Método do espectrofotômetro - Walkley e Black adaptado) para cada um deles, resultando em três metodologias:

3.4.1 Titulação – Método YEOMANS e BREMNER (1988)

Foram pesados 0,25 g de solo passado em peneira de 0,25 mm e adicionados 5 ml de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 ml de ácido sulfúrico H_2SO_4 concentrado. Colocou em um bloco digestor pré-aquecido à 160°C por 30 min. Após repouso de 30 minutos foram adicionados 100 ml de água destilada e 3 gotas de ferroína. A titulação é feita com sulfato ferroso amoniacal $[(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ $0,4 \text{ mol L}^{-1}$.

3.4.2. Mufla – PMI (Perda de Massa por Ignição) (Lanarv 1988).

Foram pesados 5 g de solo passados em peneira de 2 mm e secagem a 110°C por 3 horas. As amostras foram submetidas à calcinação por 1h na temperatura de 550°C . Posteriormente as amostras foram pesadas, e a diferença entre a massa inicial e a massa final correspondeu ao teor de matéria orgânica do solo.

3.4.3. Espectrofotômetro – Walkley e Black adaptado (Instituto Agrônômico)

Foi cachimbado $0,5 \text{ cm}^3$ de solo passado em peneira de 2 mm, onde se adicionaram 5 ml de dicromato de sódio $0,667 \text{ mol L}^{-1}$ e ácido sulfúrico 5 mol L^{-1} , que foram agitados em mesa agitadora com movimento circular horizontal por 10 minutos com velocidade de 180 rpm. Após a agitação elas foram submetidas ao repouso por 1 hora, e adicionaram-se 25 ml de água destilada. As amostras foram deixadas em repouso durante a noite para decantação. No dia seguinte foi coletado o sobrenadante, que foi transferido para a cubeta do colorímetro fotoelétrico B220, com filtro de transmitância de 650 nm. A partir da curva padrão com diferentes concentrações de Cr^{3+} foram determinados os teores de carbono orgânico do solo.

3.5 Cálculo do fator de correção

Posteriormente às determinações de carbono, foi calculado o fator de correção (GATTO et al., 2009) entre os métodos, considerando o método Yeaman e Bremner como referência pela seguinte forma: $f = Y/Y_1$, em que f = fator de correção; Y = teor de carbono do solo determinado pelo método Yeaman e Bremner; e Y_1 = teor de carbono determinado pelo método Walkley-Black adaptado

3.6 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância e posteriormente ao Teste de Tukey ($p \leq 0.10$) utilizando o software SISVAR 5.8 (FERREIRA, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre as áreas de manejo e as metodologias de determinação de carbono orgânico dos solos ($p < 0,01$) (QUADRO 2).

QUADRO 2. Resumo da análise de variância, em relação às áreas de manejo e metodologias de determinação de carbono orgânico do solo, Dourados – MS, 2023

Fator de variação	F
Áreas (A)	0,0000**
Metodologias (M)	0,0000**
A x M	0,0000**
Média	70,91
C.V. (%)	8,48

Independente do manejo do solo, os maiores teores de C do solo foram obtidos com o método da mufla, em decorrência do próprio processo analítico (QUADRO 3). Esse procedimento analítico tem sido bastante usado em trabalhos de determinação do C do solo, visto que a combustão seca, que ocorre à temperatura de 550°C, oxida todo o C da amostra. Nos outros dois métodos (titulação e espectrofotômetro), a oxidação do C não é completa, determinando essencialmente o CO (NELSON e SOMMERS, 1996).

QUADRO 3. Teor de carbono orgânico no solo determinado pelo método de referência titulação, espectrofotômetro e mufla, para cinco manejos do solo

Manejo	Métodos de determinação de CO		
	Titulação	Espectrofotômetro	Mufla
P	26,86 bB ⁽¹⁾	29,42 cB	97,72 cA
M	31,54 bC	86,15 aB	104,95 bcA
R	34,09 bC	82,43 aB	109,30 bA
V	58,64 aB	60,64 bB	129,18 aA

P: área sob pousio, M: área sob milho, R: área sob rotação de culturas, V: área sob vegetação nativa;

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

O método da titulação, considerado referência para muitos laboratórios de rotina de análise de solo, os resultados mostraram que a tomada das amostras em massa subestimou os teores de COS nos sistemas milho e rotação de culturas, quando comparado ao método do espectrofotômetro e mufla (QUADRO 3). Ao se avaliar o teor de C, as

variações nos resultados podem ocorrer tanto em razão dos métodos empregados, quanto em relação à composição química dos materiais. Além do que foi dito, os teores de CO determinados pelo método da titulação pode sofrer interferências de vários constituintes da amostra, como de íons ferrosos, sulfeto, N-nítrico, cloreto e óxido de manganês, os quais podem ser oxidados ou reduzidos.

Observa-se que, em função da análise dos dados mostrados na QUADRO 4, os fatores de correção estimados, para o método espectrofotômetro, variaram de 0,37 a 0,97, com média de 0,66 e, para o método da mufla, de 0,27 a 0,41, com média de 0,33, ou seja, mostrando que há menor variabilidade e maior precisão a determinação do CO pelo método da mufla, entretanto, dependendo do teor de CO lábil, o C total do solo estaria sendo ora subestimado, ora superestimado, com a aplicação do fator de correção média (0,66 e 0,33). Assim, os fatores de correção dos métodos devem ser reavaliados.

Para que os métodos (espectrofotômetro e mufla) possam ser empregados em laboratórios de rotina e de pesquisa, é necessário correlacioná-lo com o método-padrão (titulométrico). Obteve-se baixa correlação entre os métodos de determinação de COS (FIGURA 1), o que demonstra que os métodos estudados não podem substituir o método de referência (titulação) (FIGURA 2).

QUADRO 4. Fator de correção médio para as áreas de manejo dos teores de C determinados pelos métodos (espectrofotômetro e mufla), em relação ao método de referência (titulação)

MANEJO	Fator de correção	
	Espectrofotômetro	Mufla
P	0,91	0,27
M	0,37	0,30
R	0,41	0,31
V	0,97	0,45
Média	0,66	0,33

P: área sob pousio, M: área sob milho, R: área sob rotação de culturas, V: área sob vegetação nativa;

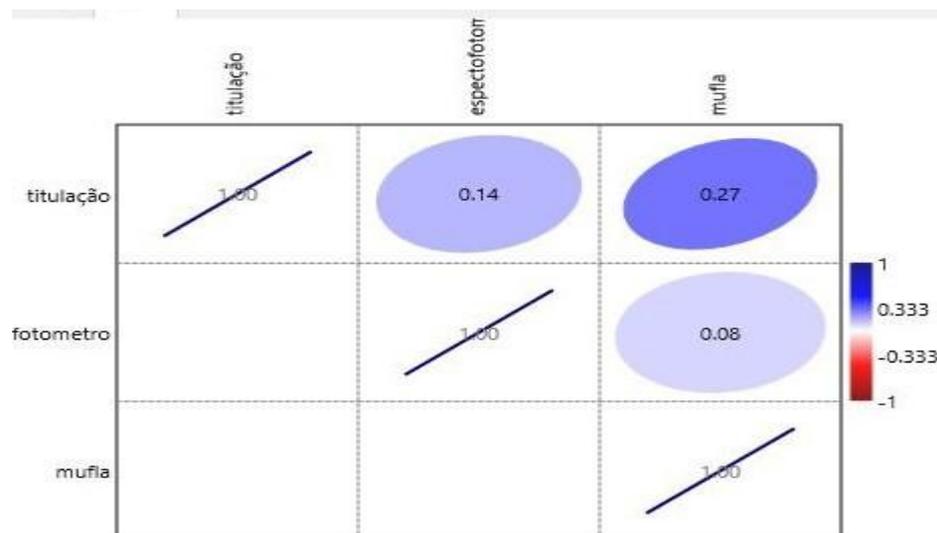


FIGURA 1. Correlação entre os métodos de determinação de CO nos diferentes manejos do solo.

O método da mufla é vantajoso em relação aos outros (titulação e espectrofotômetro), pois, além de não gerar resíduos contaminados, é rápido, de fácil operação e de baixo custo (PRIBYL, 2010), aspectos relevantes na determinação da MO em análises de rotina.

Não obstante a necessidade de aplicação de fator de correção dos valores obtidos, acredita-se que a adoção do método mensurado por volume (espectrofotômetro) pode trazer vantagens operacionais nos laboratórios de rotina de análises de solo do Brasil. A manipulação de maior número de amostras e a diminuição do uso de reagentes com elementos tóxicos, como o Cr, com vantagens óbvias no tratamento e manipulação de efluentes dos laboratórios de análise de solos.

Tendo em vista o exposto, sugere-se que os laboratórios busquem métodos de determinação de COS que possibilitem ao mesmo tempo diminuir o uso de reagentes químicos, sem que isso interfira negativamente na qualidade da determinação de carbono orgânico total (COT). Além disso, os resultados indicam a necessidade de novos estudos nos quais sejam selecionados solos de áreas agrícolas e sob vegetação nativa por classes de solo, texturas e tipos de uso dos solos.

5. CONCLUSÃO

1. Os teores de CO obtidos pelos três métodos não se correlacionaram entre si nos diferentes manejos do solo.
2. Os métodos da mufla e do espectrofotômetro tendem a superestimar os teores de CO em relação ao método de referência (titulação).
3. O fator de correção dos métodos varia com o manejo do solo.

6. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. M., INGRAM, J. S. I., & STIRLING, C. M. Ecology of soil decomposer organisms. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- BALDONI, A. B; ROELIS, B; TONINI, H; ROSSI, ANA, A. B. Qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de manejo orgânico e convencional. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 23, n. 7, p. 496-501, 2019.
- ANDERSON, J. M., INGRAM, J. S. I., & STIRLING, C. M. CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. **Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, p.777-788, 2005.
- COSTA, E.; SILVA, F. H.; RIBEIRO, A. R. P. **Matéria Orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas.** Universidade Federal de Lavras, 2013.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- CUNHA, T. J.F; MENDES, A. M. S; GIONGO, V. Importância da matéria orgânica do solo para a sustentabilidade da agricultura. In: SANTOS, G. A; (Orgs.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 307-324. 2019
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia.**[online]. 2014.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O Clima da Região de Dourados, MS.** Embrapa (MS). 2. ed. 2008. Dourados, 2008. 32 p. (Documentos 92).
- GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. de S.; VILLANI, E. M. de A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33. p. 735-740, 2009.
- GLESIAS, A. C.; NÓBREGA, R. S. A.; SILVEIRA, C. P.; COELHO, M. R.; RALISCH, R.. Efeito da matéria orgânica sobre a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 147-157, 2008
- JARBAS, T., MENDES, GIONGO, V. **Matéria Orgânica do solo**, v.5, p.273-277, 2015.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, v. 304, p. 1623-1627, 2004.

LAL, R. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, v. 11, n. 1, p. 1-16, 2019

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: BLACK, C. A. (ed.). **Methods of soil analysis**. Part 3. Chemical methods. Madison, Soil Science of America and American Society of Agronomy, 1996. p.961-1010.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. **Geoderma**, v. 156, p. 75-83, 2010.

RIBEIRO, J. A.; SILVEIRA, C. P.; NÓBREGA, R. S. A.; COELHO, M. R.; CERRI, C. E. P. Dinâmica da matéria orgânica em solos sob sistemas de produção agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, p. 1-18, 2018.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJOFILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SIQUEIRA NETO; M. PICCOLO, M. C; SCOPEL, E; COSTA, J.C; CERRI, C. C; BERNOUX, M. Matéria orgânica e sua relação com a fertilidade do solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 14, p. 311-319, 2010.

SILVA, F. C. da.. **Manual de análise química de solos plantas e fertilizantes**. 2. Ed. rev. ampl. - Brasília, DF. 2009, 627 p.

YEOMANS, M., & BREMNER, J. M. (1988). On the statistical analysis of growth curves. **Journal of Growth Analysis**, 5(2), 120-135