

Níveis de referência do carbono orgânico nos solos cultivados dos biomas brasileiros

1ª aproximação



Embrapa

Gado de Corte

Apresentação

Os níveis de referência do carbono orgânico (C org) nos solos cultivados propiciam além da aferição da quantidade de matéria orgânica, a possibilidade de inferência da qualidade do manejo e/ou cultivo praticado.

É apresentado os diferentes métodos de quantificação do carbono e matéria orgânica no solo (Tabela 1), com a sugestão de harmonização pelos diferentes métodos e unidades de medida (Tabela 2), além da granulometria e classes texturais (Tabela 3).

Para cada bioma brasileiro, tem-se os níveis de referência de C org nos solos cultivados em geral pelas classes texturais e camada de 0-20 cm (Tabelas 4 a 9).

Também, contempla os valores de C org no solo para atender ao protocolo Carne Baixo Carbono (CBC) por cada bioma e camada de 0-20 cm (Tabelas 10 e 11).

Carbono Orgânico, Carbono Total e Matéria Orgânica

O carbono orgânico (C org), é obtido da fração mais transformada da matéria orgânica do solo – húmus, pela oxidação úmida - via úmida. A matéria orgânica do solo é oxidada por uma solução com a mistura de dicromato de potássio ou sódio e ácido sulfúrico.

Para o C org, os laboratórios praticam métodos descritos como “volumétricos ou titulométricos” e o solo é medido por peso - “massa” (base gravimétrica). O C org é comumente obtido para fins de “pesquisa” e/ou “taxonomia – classificação” de solos.

O carbono total (C total), é obtido das estruturas orgânicas (vegetal - folhas, galhos, raízes, carvões e animal) e inorgânicas (carbonatos e bicarbonatos) do solo. As estruturas contendo carbono são submetidas à combustão seca - via seca (Método Dumas) em equipamentos automáticos - autoanalisadores elementares ou outros métodos e, o solo é medido por peso - “massa” (base gravimétrica).

O C total tem pouca procura nos laboratórios de rotina ou comercial, contudo, devido aos projetos de crédito de C, tem aumentado a oferta para a determinação.

A matéria orgânica (MO), é obtida pela mesma via que o C org, contudo para fins de “fertilidade” do solo. Os laboratórios praticam métodos descritos como “colorimétricos” e o solo é medido por volume - “cachimbada” (base volumétrica).

OBS: solicitar ao laboratório a forma de obtenção do C org ou MO, com a descrição do método praticado e possíveis ajustes ou modificações.

Tabela 1. Formas de obtenção e unidades do C org, C total e MO do solo (Fontana et al., 2025).

| Atributo | Forma de Obtenção | | | |
|----------|--|--|--|--|
| | Determinado (Método) | Unidade | Estimado (Método) | Unidade |
| C org | Diretamente Fontana e Campos (2017) Camargo et al. (2009) Silva (2009) C org / 1,12 Tedesco et al. (1995) | % ou g kg ⁻¹ | MO / 1,724 Silva (2009) Camargo et al. (2009) MO / 1,93 Tedesco et al. (1995) MO / 2,28 Cantarella et al. (2001) | % ou g dm ⁻³ |
| | C total | CHN-S; TOC LIBS NIR; Vis-NIR; MIR INS | % ou g kg ⁻¹ | Geral C org x 1,32 Walkley e Black (1934) 0-20 cm (C org x 1,1982) +0,0051 Gatto et al. (2009) 20-80 cm (C org x 1,2664) +0,1256 Gatto et al. (2009) 0-60 cm (C org x 1,3326) + 0,7483 Fontana et al. (2025) 60-200 cm (C org x 1,1884) + 0,5895 Fontana et al. (2025) |
| MO | | | | Tedesco et al. (1995) Cantarella et al. (2001) Silva (2009) Camargo et al. (2009) |
| | | | C org x 1,724 Fontana e Campos (2017) Camargo et al. (2009) Silva (2009) C org x 1,54 Tedesco et al. (1995) | % ou g kg ⁻¹ |

*C org: carbono orgânico (via úmida); MO: matéria orgânica; C total: carbono total (via seca).
 **Valor obtido em % deve-se avaliar o método para atender a unidade g kg⁻¹ (base gravimétrica - solo medido por peso) ou g dm⁻³ (base volumétrica - solo medido por volume ou “cachimbada”).
 ***g kg⁻¹ ou g dm⁻³: valores obtidos em % multiplicar por 10.
 **** A estimativa por funções do C total ocorre em solos minerais, excluídos assim, as turfas (solos orgânicos) e Terras Pretas de Índio (solos antrópicos).

Harmonização das unidades de medida do carbono orgânico e matéria orgânica

Quando os teores do C org ou MO são obtidos por base volumétrica – “cachimbada” (g dm⁻³), para fazer a transformação para a base gravimétrica (peso – “massa”), basta dividir o teor de C org ou MO em base volumétrica (g dm⁻³) pela densidade do solo fino (Dsf) (g cm⁻³).

Tabela 2. Harmonização das unidades de medida do C org e MO do solo (Fontana et al., 2025).

| Atributo | Método | Forma de Obtenção | |
|-------------|--|--------------------|--|
| | | Determinado | Estimado |
| Dsf | - | Dsf = msf / vsf | Dsf = 0,9594781 + [0,0229629 x exp(0,0033731 x At)] Dsf = 1,000383 + [0,545928 x exp(-0,005821 x Ar)] |
| C org MO | Solo: medido por volume - “cachimbada” (base volumétrica) | g dm ⁻³ | g kg ⁻¹ (C org ou MO / Dsf) |

*C org: carbono orgânico; MO: matéria orgânica.
 **Dsf: Densidade do solo fino (g cm⁻³); msf: massa do solo fino (g); vsf: volume do solo fino (cm³); exp: exponencial; At: areia total (g kg⁻¹) (valor obtido em % multiplicado por 10); Ar: argila (g kg⁻¹)
 *** g kg⁻¹ ou g dm⁻³: valores obtidos em % multiplicar por 10.
 **** Aplicável aos solos minerais, excluídos assim, as turfas (solos orgânicos) e Terras Pretas de Índio (solos antrópicos).

Granulometria e Classes Texturais

A granulometria corresponde aos teores totais de areia (diâmetro de 2 - 0,053 mm), silte (diâmetro de 0,053 a 0,002 mm) e argila (diâmetro < 0,002 mm). As classes texturais são obtidas pela combinação de pelo menos duas dessas frações.

Tabela 3. Teores das frações granulométricas para obtenção dos grupamentos texturais (Fontana et al., 2025).

| Classe Textural | Areia Total | Argila | Areia Total - Argila |
|-----------------|--------------------|-------------|----------------------|
| | g kg ⁻¹ | | |
| Arenosa | - | - | > 700 |
| Média | > 150 | < 350 | - |
| Argilosa | - | ≥ 350 ≤ 600 | - |
| Muito Argilosa | - | > 600 | - |
| Siltosa | ≤ 150 | < 350 | - |

*Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg⁻¹.

Níveis de referência de carbono orgânico nos solos cultivados dos biomas brasileiros

Os níveis de C org em cada classe textural são estabelecidos no “nível baixo; nível médio e nível alto”. Em alguns biomas não há teores de C org para todas as classes texturais e alguns biomas foram agrupadas uma ou mais classes texturais. Aplicável aos solos minerais, excluídos assim, as turfas (solos orgânicos) e Terras Pretas de Índio (solos antrópicos).

Tabela 4. Níveis de C org (g kg^{-1}) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Amazônia (Fontana et al., 2025).

| Textura | Baixo | Médio | Alto |
|---------------------------|--------|-----------|--------|
| Arenosa | < 1,0 | 1,0-14,0 | > 14,0 |
| Média | < 11,0 | 11,0-33,0 | > 33,0 |
| Argilosa + Muito Argilosa | < 14,0 | 14,0-40,0 | > 40,0 |
| Siltosa | < 13,0 | 13,0-15,0 | > 15,0 |

*Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg^{-1} .

Tabela 5. Níveis de C org (g kg^{-1}) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Caatinga (Fontana e Borges, 2026).

| Textura | Baixo | Médio | Alto |
|----------|-------|----------|--------|
| Arenosa | < 2,0 | 2,0-7,0 | > 7,0 |
| Média | < 5,0 | 5,0-15,0 | > 15,0 |
| Argilosa | < 7,0 | 7,0-20,0 | > 20,0 |

*Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg^{-1} .

Tabela 6. Níveis de C org (g kg^{-1}) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Cerrado (Fontana et al., 2025).

| Textura | Baixo | Médio | Alto |
|----------------|--------|-----------|--------|
| Arenosa | < 4,0 | 4,0-8,0 | > 8,0 |
| Média | < 9,0 | 9,0-17,0 | > 17,0 |
| Argilosa | < 13,0 | 13,0-26,0 | > 26,0 |
| Muito Argilosa | < 16,0 | 16,0-30,0 | > 30,0 |

*Fonte: Adaptado de Souza e Lobato (2004).
**Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg^{-1} .

Tabela 7. Níveis de C org (g kg^{-1}) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Mata Atlântica (Fontana et al., 2025).

| Textura | Baixo | Médio | Alto |
|----------------|--------|-----------|--------|
| Arenosa | < 6,0 | 6,0-17,0 | > 17,0 |
| Média | < 7,0 | 7,0-21,0 | > 21,0 |
| Argilosa | < 12,0 | 12,0-36,0 | > 36,0 |
| Muito Argilosa | < 18,0 | 18,0-55,0 | > 55,0 |

*Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg^{-1} .

Tabela 8. Níveis de C org (g kg^{-1}) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Pampa (Fontana et al., 2025).

| Textura | Baixo | Médio | Alto |
|----------------|--------|-----------|--------|
| Arenosa | < 4,0 | 4,0-8,0 | > 8,0 |
| Média | < 7,0 | 7,0-13,0 | > 13,0 |
| Argilosa | < 13,0 | 13,0-19,0 | > 19,0 |
| Muito Argilosa | < 14,0 | 14,0-19,0 | > 19,0 |

*Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg^{-1} .

Tabela 9. Níveis de C org (g kg^{-1}) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado do bioma Pantanal (Fontana et al., 2025).

| Textura | Baixo | Médio | Alto |
|----------|-------|----------|--------|
| Arenosa | < 2,0 | 2,0-6,0 | > 6,0 |
| Média | < 6,0 | 6,0-18,0 | > 18,0 |
| Argilosa | < 9,0 | 9,0-27,0 | > 27,0 |

*Valores obtidos em % multiplicar por 10 para obter em g kg^{-1} .

Teores de referência do carbono orgânico para o protocolo Carne Baixo Carbono (CBC)

Os valores de C org foram definidos a partir dos valores da mediana e corresponde à média do nível médio dos teores definidos em cada bioma no trabalho de Fontana et al. (2025) e Fontana e Borges (2026). Aplicável aos solos minerais, excluídos assim, as turfas (solos orgânicos) e Terras Pretas de Índio (solos antrópicos).

Tabela 10. Teores de C org (g kg^{-1}) para o protocolo Carne Baixo Carbono (CBC) na camada de 0-20 cm e classes texturais no solo cultivado dos biomas brasileiros.

| Classe Textural | Bioma | | | | | |
|---------------------------|-----------|------------|----------|-----------------|--------|-----------|
| | Amazônia* | Caatinga** | Cerrado* | Mata Atlântica* | Pampa* | Pantanal* |
| Arenosa | ≥ 8,0 | ≥ 5,0 | ≥ 6,0 | ≥ 12,0 | ≥ 6,0 | ≥ 4,0 |
| Média | ≥ 22,0 | ≥ 10,0 | ≥ 13,0 | ≥ 14,0 | ≥ 10,0 | ≥ 12,0 |
| Argilosa | - | ≥ 14,0 | ≥ 20,0 | ≥ 24,0 | ≥ 16,0 | ≥ 18,0 |
| Argilosa + Muito Argilosa | ≥ 27,0 | - | - | - | - | - |
| Muito Argilosa | - | - | ≥ 23,0 | ≥ 37,0 | ≥ 17,0 | - |
| Siltosa | ≥ 14,0 | - | - | - | - | - |

Valores obtidos pela mediana dos teores definidos em cada bioma no trabalho de Fontana et al. (2025)* e Fontana e Borges (2026)**.

Teores de referência do carbono orgânico para o protocolo Carne Baixo Carbono (CBC) - solos com teores de argila próximo ao limite inferior da classe textural

Devido a possível “penalização” dos solos com teores de argila próximos aos limites inferiores das classes texturais Arenosa, Média, Argilosa e Muito Argilosa, tomou-se o valor de exigência para o C org como sendo 25% do valor de referência determinado anteriormente na Tabela 10.

Tabela 11. Teores de C org (g kg^{-1}) para o protocolo Carne Baixo Carbono (CBC) na camada de 0-20 cm, classes texturais e teores de argila no solo cultivado dos biomas brasileiros.

| Classe Textural | Teor de Argila | Teor de C org | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|---------------|----------|---------|----------------|--------|----------|
| | | Amazônia | Caatinga | Cerrado | Mata Atlântica | Pampa | Pantanal |
| Arenosa | ≤ 50 g kg^{-1} (5%) | ≥ 6,0 | ≥ 4,0 | ≥ 4,0 | ≥ 9,0 | ≥ 4,0 | ≥ 3,0 |
| Média | ≤ 200 g kg^{-1} (20%) | ≥ 17,0 | ≥ 8,0 | ≥ 10,0 | ≥ 11,0 | ≥ 8,0 | ≥ 9,0 |
| Argilosa | ≤ 420 g kg^{-1} (42%) | - | ≥ 11,0 | ≥ 15,0 | ≥ 18,0 | ≥ 12,0 | ≥ 14,0 |
| Argilosa + Muito Argilosa | ≤ 420 g kg^{-1} (42%) | ≥ 20,0 | - | - | - | - | - |
| Muito Argilosa | ≤ 650 g kg^{-1} (65%) | - | - | ≥ 17,0 | ≥ 28,0 | ≥ 13,0 | - |
| Siltosa | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |

*NA: Não Aplicável.

Para informações mais detalhadas, baixe os PDFs da série
Documentos 324 e 277 da Embrapa Gado de Corte.



Foto: Ademir Fontana



Elaboração: Ademir Fontana
Diagramação: Rodrigo Carvalho Alva



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA
E PECUÁRIA