



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

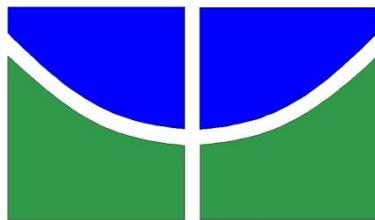
**ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO
CERRADO: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Raphaela Carvalho Paniago

Brasília, 18 de julho de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



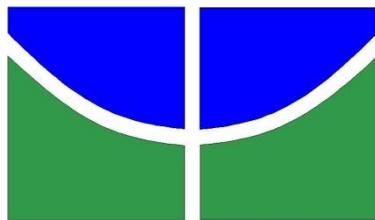
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO
CERRADO: REVISÃO SISTEMÁTICA**

Raphaela Carvalho Paniago

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília como parte
das exigências para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.
Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira

Brasília-DF, 18 de julho de 2023



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO CERRADO: REVISÃO SISTEMÁTICA

Estudante: Raphaela Carvalho Paniago

Matrícula: 19/0100630

Orientador: Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira

Menção: _____

Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador (EFL)

Profa. Dra. Juscelina Arcanjo dos Santos
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Dr. Jonas Inkotte
Prefeitura Municipal de Joinville – SC/ Inkotte Consultoria Ltda.
Membro da Banca

Brasília-DF, 18 de julho de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

PANIAGO, RAPHAELA CARVALHO

ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO CERRADO:
REVISÃO SISTEMÁTICA.

52 p., 210 x 297mm (EFL/FT/UnB, Engenheiro(a), Engenharia Florestal, 2023).

Trabalho de conclusão de curso - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Armazenamento

2. Carbono orgânico

3. Cerrado

4. Solo

I. EFL/FT/UnB

II. Estoque de carbono no solo sob diferentes usos no

Cerrado: revisão sistemática.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PANIAGO, R. C. (2023). **ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO CERRADO: REVISÃO SISTEMÁTICA**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 52 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Raphaela Carvalho Paniago

TÍTULO: *ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO CERRADO: REVISÃO SISTEMÁTICA*.

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Raphaela Carvalho Paniago

A minha mãe, a minha avó, ao meu avô Júlio (*in memorian*), à tia Eunice (*in memorian*) e ao tio Albano (*in memorian*), por todo amor e incentivo.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A todas as coisas do céu e da terra. A Deus, pai e mãe, pela saúde, proteção constante, perseverança e força necessária para superar os desafios. Muito obrigada!

À minha amada família, meus avós Maria e Júlio (*in memorian*), minha mãe Eliane, meus irmãos Yasmin e Vinícius. Sem o apoio deles eu jamais teria chegado até aqui. Agradeço por todos os momentos que me ouviram com paciência, pelas palavras de carinho e de advertência. Pelas risadas, pelos abraços e pela grande torcida para alcançar meus objetivos. Amo vocês incondicionalmente!

Às tias Tetéia (Martânia), Eni, Eunice (*in memorian*), Suzana e Conceição; aos tios Albano (*in memorian*), Reinaldo e Ricardo, por todo carinho e apoio.

Aos amigos Ana Maria, Júlio César, Danillo, Carolaini, Kesya, João Marcos e Pedro. Obrigada pela companhia e convivência nos momentos de descontração (e de desespero). Vocês tornaram meus dias mais leves durante a graduação. Guardarei boas lembranças para sempre!

Ao meu amigo de infância Dudu (Eduardo), pelo apoio e pela escuta acolhedora.

Ao Igor, por todo carinho, apoio e incentivo.

Ao Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira, pela orientação.

A todos Professores da Universidade de Brasília e, principalmente, do Departamento de Engenharia Florestal, os quais, contribuíram para a minha formação acadêmica.

Aos Professores da área de Solos, que muito me ensinaram e me inspiram a ser uma entusiasta do solo. Em especial: Prof. Dr. Alcides Gatto, Prof. Dr. Uidemar Barral, Prof. Dr. Tairone Leão e Profa. Dra. Gabriela Nardoto. À Profa. Dra. Roselir Nascimento, de Geomorfologia, com quem estive pela primeira vez em uma voçoroca.

À Flávia Paula, da secretaria de graduação do Departamento de Engenharia Florestal, pelo profissionalismo e pela amizade.

Aos queridos, Dr. Jonas Inkotte e Profa. Dra. Juscelina Arcanjo, por aceitarem o convite para a banca avaliadora, contribuindo com os seus conhecimentos e sugestões.

Aos funcionários da Fazenda Água Limpa, em especial: Srs. Sebastião, Geraldo, Luiz, Queen e Sra. Alexandra.

À vida no Cerrado, à sua biodiversidade e beleza singular.

À todas e todos que, apesar de aqui não citados, contribuíram de alguma forma durante a minha trajetória na graduação em Engenharia Florestal. Muito obrigada!

“Quando eu disse ao caroço de laranja, que dentro dele dormia um laranjal inteirinho, ele me olhou estupidamente incrédulo”. (Hermógenes de Tarso)

RESUMO

Paniago, Raphaela Carvalho (PANIAGO, R. C.) **ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO CERRADO: REVISÃO SISTEMÁTICA**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

O conhecimento dos estoques de carbono sob diferentes usos do solo é de extrema importância no entendimento da dinâmica do carbono no solo. O presente estudo teve como objetivo caracterizar os trabalhos de quantificação e avaliação de estoque de carbono no bioma Cerrado quanto a sua forma de publicação, as metodologias utilizadas e seus resultados, buscando compreender as áreas de abrangência em cada fitofisionomia e sob diferentes condições de uso do solo no Cerrado. Foram avaliadas todas as publicações independentemente do período e catalogadas as que se correspondiam à temática de estoque e quantificação de carbono do solo no Cerrado, através de buscas no portal de periódicos da CAPES. Foram selecionados 52 artigos com estudos, dos quais sete destes em áreas de Cerrado nativo e 45 em florestas plantadas e lavouras em áreas originalmente ocupadas por Cerrado. As metodologias mais comuns nas publicações foram Yeomans & Bremner (1988) para determinação de teor total de CO e de Veldkamp (1994) para determinação do ESC. Observou-se a necessidade de mais estudos para as fitofisionomias do Cerrado para maior compreensão da dinâmica do estoque de C no solo em áreas nativas. Para os estudos envolvendo o uso do solo para fins agrícolas tendo o Cerrado como área referência, foram observados 32 tipos de cultivos, entre agrícolas e florestais. A metodologia mais utilizada foi o método da massa equivalente, cujas massas de solos das áreas de estudo foram ajustadas em relação a uma área de referência (Cerrado nativo). Por fim, foi possível observar as variações nos métodos de determinação de ECS entre solos, sistemas de uso e estoques de C.

Palavras-chave: Armazenamento; carbono orgânico; Cerrado; solo.

ABSTRACT

Paniago, Raphaela Carvalho (PANIAGO, R. C.) **SOIL CARBON STOCK UNDER DIFFERENT USES IN THE CERRADO: SYSTEMATIC REVIEW**. Monograph (Forest Engineering Degree) – University of Brasília, Brasília, DF.

Knowledge of carbon stocks under different land uses is extremely important in understanding soil carbon dynamics. The present study aimed to characterize the works of quantification and evaluation of carbon stock in the Cerrado biome regarding their form of publication, the methodologies used and their results, seeking to understand the areas of coverage in each phytophysiology and under different conditions of land use in the Cerrado. All publications were evaluated regardless of the period and cataloged those that corresponded to the theme of soil carbon stock and quantification in the Cerrado, through searches in the CAPES journal portal. Fifty-two articles with studies were selected, of which seven were in native Cerrado areas and 45 in planted forests and crops in areas organically occupied by Cerrado. The most common methodologies in the publications were Yeomans & Bremner (1988) for determination of total OC content and Veldkamp (1994) for determination of SCS. There is a need for more studies for Cerrado phytophysiologicals to better understand the dynamics of soil C stocks in native areas. For the studies involving land use for agricultural purposes with the Cerrado as a reference area, 32 types of crops were observed, including agricultural and forestry. The most used methodology was the equivalent mass method, whose soil masses of the study areas were adjusted in relation to a reference area (native Cerrado). Finally, it was possible to observe the variations in SCS determination methods between soils, use systems and C stocks.

Keywords: Storage; organic carbon; Cerrado; soil.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Número de publicações analisadas no período de 1999 a 2023.22
- Figura 2.** Evolução do número de publicações analisadas com o passar dos anos...23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação das revistas analisadas e quantidade de publicações.	24
Tabela 2. Relação das UFs cujo os estudos analisados foram desenvolvidos.....	25
Tabela 3. Distribuição geográfica dos trabalhos analisados por UF e classes de solo.	25
Tabela 4. Distribuição geográfica dos trabalhos registrados nas fitofisionomias do Cerrado.....	26
Tabela 5. Estudos analisados, fitofisionomias do Cerrado, classes de solo, profundidade (cm) e metodologia utilizada para teor de carbono orgânico (CO) e ECS.....	27
Tabela 6. Estoque de carbono no solo (ECS), classes e profundidades para cada fitofisionomia.....	29
Tabela 7. Distribuição geográfica dos trabalhos registrados para diferentes sistemas de uso, classes de solo e cultivos estudados no Cerrado.	32
Tabela 8. Usos por classes de solo estudados no Cerrado.	33
Tabela 9. Estoque de carbono no solo (ECS) para a profundidade 0–10 cm sob diferentes usos, média dos usos (\bar{x}), desvio padrão (DP), tempo (t) em anos dos tipos de cultivo.....	36
Tabela 10. Estoque de carbono no solo (ECS) para a profundidade 0–20 cm sob diferentes usos, média dos usos (\bar{x}), desvio padrão (DP), tempo (t) em anos dos tipos de cultivo.....	38
Tabela 11. Estoque de carbono no solo (ECS) para a profundidade 10–20 cm sob diferentes usos, média dos usos (\bar{x}), desvio padrão (DP), tempo (t) em anos dos tipos de cultivo.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BA	Bahia
C	Carbono
CO	Carbono orgânico
DF	Distrito Federal
D _s	Densidade do solo
ESC	Estoque de Carbono do solo
F	Plintossolos
FX	Plintossolo Háptico
G	Gleissolos
GO	Goiás
GX	Gleissolo Háptico
L	Latossolos
LA	Latossolo Amarelo
LV	Latossolo Vermelho
LVA	Latossolo Vermelho-Amarelo
MA	Maranhão
MG	Minas Gerais
MS	Mato Grosso do Sul
MOS	Matéria orgânica do solo
MT	Mato Grosso
O	Organossolo
OX	Organossolo Háptico
P	Argissolos
PA	Argissolo Amarelo
PI	Piauí
PV	Argissolo Vermelho
PVA	Argissolo Vermelho-Amarelo
R	Neossolos
RO	Rondônia
RQ	Neossolo Quartzarênico
SP	São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	CERRADO E CARBONO NO SOLO.....	15
3.1	Ciclo do carbono	16
3.2	Estimativas de estoque de carbono do solo	17
3.3	Estoque de carbono e uso do solo no Cerrado	19
4	DESENVOLVIMENTO.....	20
4.1	Descrição do processo metodológico	20
4.2	Resultados das buscas e enquadramento dos artigos nos critérios de inclusão ..	21
4.3	Aspectos gerais dos trabalhos avaliados.....	22
4.4	Análise dos trabalhos de estoque de carbono do solo nas fitofisionomias do Cerrado.....	25
4.5	Análise dos trabalhos de estoque de carbono do solo sob diferentes condições de uso do solo no Cerrado	31
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
6	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

Os solos são recursos naturais multifuncionais que oferecem uma variedade de serviços ambientais que podem ser classificados nas categorias de suporte, provisão e regulação (PARRON; RACHWAL; MAIA, 2015). São geossistemas que se desenvolvem por meio de entradas de novos materiais, perdas de materiais originais e modificação causada por mistura física e reações químicas (GROTZINGER; JORDAN, 2023).

Em termos globais, o solo é um dos reservatórios que mais armazena C na Terra, de modo que, os primeiros 100 cm superficiais podem armazenar 2,5 vezes mais C que a vegetação terrestre e duas vezes mais C que o presente na atmosfera (LAL, 2002).

O carbono no solo pode ser encontrado principalmente como componente mineral, em estruturas de carbonatos (CaCO_3 , MgCO_3 etc.) ou em estruturas orgânicas, componente de resíduos de animais e plantas em diversas fases de transformação ou como carvão (carbono pirogênico) proveniente de eventos naturais de incêndios ou aplicado ao solo como biochar ou biocarvão (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

O compartimento de C do solo, composto pelo carbono orgânico do solo (COS) e pelo carbono inorgânico do solo (CIS), desempenha um papel importante no ciclo biogeoquímico do carbono. Além disso, o reservatório de C do solo é também um fator importante que afeta a produtividade do solo e a sua capacidade de suporte (LAL, 2002). O carbono orgânico (CO) confere estabilidade à estrutura do solo e aumenta a sua capacidade de retenção de água (RAWLS *et al.*, 2003).

Certamente, os solos são a última grande fronteira na busca pelo conhecimento sobre as principais fontes e sumidouros de C na biosfera (COLEMAN; CALLAHAM; CROSSLEY JR, 2017). O conhecimento da variabilidade e espacialização dos estoques de C no solo é fundamental para a caracterização e monitoramento de uma dada área em relação à qualidade do solo (OLIVEIRA; BRAGA; ROIG, 2015). Os estoques de C do solo têm variação local decorrente de fatores como a topografia e manejo da terra e, em escala regional, como o material parental do solo e a geologia subjacente (CERRI *et al.*, 2004; HOLMES *et al.*, 2004, 2006). Os estoques de carbono no solo (ECS) são um dos indicadores-chave na prestação de serviços ambientais promovidos por boas práticas agrícolas (OLIVEIRA; BRAGA; ROIG, 2015).

Estudos avaliativos de trabalhos publicados sobre os estoques de carbono sob diferentes usos do solo são de extrema importância na compreensão das mudanças nos níveis de carbono de acordo com o manejo aplicado (BATLLE-BAYER; BATJES; BINDRABAN, 2010; STOCKMANN *et al.*, 2015). O Cerrado é considerado a nova fronteira agrícola do

Brasil, apresentando nas últimas décadas expansão nas áreas de cultivo de soja, substituindo pastagens de braquiária de baixa produtividade (BRAZ *et al.*, 2013). Por isso, considerável atenção tem sido dada a possíveis mudanças nos estoques de C do solo induzidas por mudanças no uso da terra devido as culturas de commodities serem fontes de matéria-prima para a produção de alimentos, biocombustíveis e fibras (BATLLE-BAYER; BATJES; BINDRABAN, 2010; DE FIGUEIREDO; LA SCALA JR, 2011).

Nesse sentido, a revisão sistemática busca responder a uma questão específica utilizando uma metodologia explícita e sistemática na identificação, seleção e avaliação crítica de estudos a serem incluídos na revisão (GONÇALVES, 2019). Este tipo de revisão proporciona aos pesquisadores o mapeamento dos limites existentes na literatura dentro de cada tema escolhido, permitindo identificar generalizações e limitações, o que pode facilitar o avanço das pesquisas, ainda sendo possível verificar supostas discrepâncias metodológicas dentro de uma mesma linha de pesquisa (BORENSTEIN *et al.*, 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar estudos de quantificação e avaliação de estoque de carbono do solo no bioma Cerrado, buscando compreender as áreas de abrangência em cada fitofisionomia e sob diferentes condições de uso do solo.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as formas de publicação, as metodologias utilizadas e os resultados dos estudos sobre estoque de carbono do solo no Cerrado, em virtude, principalmente, das diferentes práticas de uso do solo;
- Avaliar os efeitos causados sobre o estoque de carbono do solo em meio às diferentes condições dos solos;
- Enfatizar a importância da pesquisa em estoque de carbono do solo no que tange ao uso sustentável dos solos tropicais.

3 CERRADO E CARBONO NO SOLO

3.1 Ciclo do carbono

Existem alguns tipos de átomos que podem fazer parte de uma planta em um dia, de um animal no dia seguinte e depois viajar rio abaixo como parte de um curso d'água. Esses átomos podem ser reciclados repetidamente em diferentes partes da Terra. Esse tipo de ciclo de átomos entre seres vivos e não vivos é conhecido como ciclo biogeoquímico. Todos os átomos que são os blocos de construção dos seres vivos participam de ciclos biogeoquímicos, dentre os quais estão os ciclos do carbono (C) e do nitrogênio (N) (UCAR, 2023).

O C é o quarto elemento mais abundante no universo, além de ser o elemento mais comum em todas as formas de vida conhecidas. O ciclo do C pode ser dividido em longo e curto (BERNER; BERNER, 1996). Denomina-se de ciclo longo do carbono a circulação do carbono fixado nas rochas sedimentares e combustíveis fósseis, que retornam à atmosfera na escala de milhões a dezenas de milhões de anos, por meio de vulcanismo, erosão (fluvial) e extração. As trocas da entre biosfera, oceanos, atmosfera e solo formam o que se chama de ciclo curto do carbono (RUGGIERO; PIVELLO, 2005).

Em ecossistemas terrestres, o ciclo do C no solo pode ser dividido em três fases: fase anabólica ou de organização do CO₂ atmosférico, realizada, principalmente, pelos vegetais fotossintetizantes; fase de liberação dos produtos fotossintetizados e de sua acumulação e estabilização no solo; e a fase de mineralização de substratos orgânicos e de transferência do CO₂ à atmosfera. A maior parte da segunda e da terceira fase ocorre no solo, constituindo o ciclo interno do carbono (CERRI, *et al.*, 1992).

No ciclo biogeoquímico do carbono, os solos representam um importante componente, armazenando cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal e quase três vezes mais que a atmosfera (WATSON, 2001).

Os três principais processos responsáveis pelo sequestro de C nos solos são a humificação, a agregação e a sedimentação, enquanto que, os processos responsáveis pelas perdas de C no solo são a erosão, a decomposição, a volatilização e a lixiviação (MACHADO, 2005). O potencial de fixação e estocagem de C no solo sofre influência das condições climáticas locais, do relevo, da drenagem e do tipo de manejo de solo adotado, entre outras variáveis que ditam as taxas de aumento do C orgânico do solo (LAL, 2005; FALLOON *et al.*, 2007; SMITH, 2008). O aumento ou a diminuição do estoque de C depende da quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo (MOS), as quais, junto à taxa de decomposição, são determinados pela interação entre clima, atributos físico-químicos do solo, uso e manejo ao longo do tempo (GATTO, 2005).

3.2 Estimativas de estoque de carbono do solo

Estimativas do estoque de carbono do solo dependem da disponibilidade de dados sobre conteúdo de carbono (em g de C kg⁻¹ de solo) e densidade do solo (D_s) (FIDALGO *et al.*, 2007). Valores da D_s são necessários para converter o conteúdo de carbono como porcentagem do peso seco para peso de carbono por unidade de área (HOWARD *et al.*, 1995).

O impacto das práticas de manejo do solo sobre a MOS tem sido bem documentado, entretanto, os impactos dos métodos para calcular os estoques de C armazenados no solo são igualmente importantes e por vezes são equivocadamente descritos (FERNANDES; FERNANDES, 2008). Cálculos de estoque de C consideram as alterações da densidade aparente e espessura da camada estudada, sendo os resultados expressos por unidade de área – MgC.ha⁻¹ (TIESSSEN *et al.*, 1982; AGUILAR *et al.*, 1988).

Na literatura é possível encontrar diferentes siglas e expressões que se referem ao cálculo de estoque de C, como por exemplo, *e*, EC, ECS, Est C, COS ou Cs (para o idioma português). Assim, o cálculo dos estoques de C do solo pode ser realizado com e sem ajustes de massa (alguns métodos serão citados a seguir). Veldkamp (1994) utiliza teores de C de amostras de solo, densidade e espessura da camada de solo:

$$Est\ C = (CO \times D_s \times e) / 10$$

onde,

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha⁻¹);

CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹);

D_s = densidade do solo da profundidade (kg.dm⁻³);

e = espessura da camada considerada (cm).

Szakács (2003) calcula o estoque de C por meio da multiplicação do conteúdo de carbono (%) dividido por 100, da densidade do solo (g/cm³), da profundidade (cm) da camada do solo e do fator de conversão de g/cm² para Mg ha⁻¹ ($f = 100$), expresso pela fórmula:

$$e = \frac{c}{100} \times \delta \times p \times 100$$

em que,

e = estoque de carbono (t/ha);

c = teor de carbono (%);

δ = densidade do solo (g/cm³);

p = profundidade da camada do solo (cm).

De acordo com a equação de Ellert & Bettany (1995) para cálculo de MOS e nutrientes estocados no solo (C, Ca, Mg, N, K, P, S):

$$EE = CE \times D_s \times E \times 10$$

onde,

EE = estoque do elemento ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

CE = teor do elemento no solo ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$);

D_s = densidade do solo ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$);

E = espessura da camada (m).

Entretanto, Fernandes & Fernandes (2013) relatam que “essa métrica tem sido considerada insuficiente, pois as práticas de manejo podem alterar a densidade do solo e, assim, ao se considerar uma mesma profundidade de uma área cultivada e de uma área sob vegetação nativa, as massas de solo serão diferentes, podendo levar a interpretações equivocadas”. Sendo assim, Fernandes & Fernandes (2013) apresentam duas equações para cálculo da correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo. A primeira, utilizada por Sisti *et al.* (2004) baseada nos trabalhos de Ellert & Bettany (1995), e a segunda baseada nos trabalhos de Carvalho *et al.* (2009).

Para Sisti *et al.* (2004) o cálculo dos estoques de C do solo leva em consideração as diferenças nas massas de solo, onde as massas de solo das áreas de estudo são ajustadas fazendo-se a correção da massa para a última profundidade amostrada em relação a uma área de referência. Baseado nos trabalhos de Ellert & Bettany (1995), Sisti *et al.* (2004) desenvolveram a seguinte fórmula:

$$C_s = \sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} + \left[M_{tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{ti} - \sum_{i=1}^n M_{si} \right) \right] * C_{tn}$$

em que,

C_s = estoque de C total, em $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, corrigido em função da massa de solo de uma área de referência;

$\sum C_{ti}$ = somatório dos estoques de C do solo da primeira à penúltima camada amostrada no tratamento considerado ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

M_{tn} = massa do solo da última camada amostrada no tratamento ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

$\sum M_{ti}$ = somatório da massa total do solo amostrado sob o tratamento ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

$\sum M_{si}$ = somatório da massa total do solo amostrado na área de referência ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

C_{tn} = teor de C do solo na última camada amostrada ($\text{Mg C} \cdot \text{Mg}^{-1}$ de solo).

Outra sugestão de cálculo para a correção dos estoques de C do solo abordada por Fernandes & Fernandes (2013) com ajuste das massas de solo foi proposta por Carvalho *et al.* (2009), baseado nos trabalhos de Moraes *et al.* (1996) e Veldkamp (1994). Desse modo, a correção é feita para cada camada estudada, corrigindo-se a espessura da mesma em relação à área de referência, expressa por:

$$Est\ C = \frac{C_s * D_s * \left(\frac{D_{ref}}{D_s} * e \right)}{10}$$

onde,

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha⁻¹);

C_s = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹);

D_s = densidade aparente do solo na profundidade amostrada (kg.dm⁻³);

D_{ref} = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg.dm⁻³);

e = espessura da camada considerada (cm).

Neste contexto, o uso e as práticas de manejo influenciam a densidade do solo e, conseqüentemente, o estoque de C do solo, pois alteram a estrutura e o espaço poroso, interferindo na porosidade total, distribuição de poros por tamanho, capacidade de aeração, a quantidade de água disponível, permeabilidade e taxa de infiltração (SOUZA *et al.*, 2019).

3.3 Estoque de carbono e uso do solo no Cerrado

O Cerrado brasileiro já abrangeu cerca de 204 milhões de hectares, sendo considerada a savana de maior biodiversidade vegetal do planeta e representando aproximadamente 4% da região tropical mundial (RESCK *et al.*, 2008). Em regiões tropicais, mudanças no uso do solo configuram a principal ameaça às questões climáticas, com a conversão de áreas de vegetação nativa em pastagens e áreas de agricultura intensiva e permanente (OLIVEIRA, 2021).

Por conseguinte, a história do uso e ocupação do solo no Cerrado revela intensa pressão antrópica no bioma, onde o uso insustentável dos recursos naturais reflete elevado grau de perturbação, tornando o Cerrado, um dos biomas mais ameaçados atualmente (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Dentre as várias modificações ambientais relacionadas ao desmatamento do Cerrado destacam-se a erosão e os desequilíbrios nos estoques de carbono (KLINK; MACHADO, 2005), a substituição das fontes de carbono para o solo (BALESDENT; CHENU; BALABANE, 2000) e a redução do carbono ligado à biomassa e a matéria orgânica do solo (LAL, 2003; EGOH *et al.*, 2009).

Manter o estoque de carbono orgânico nos solos tropicais convertidos em sistemas agrícolas é uma das condições essenciais para a conservação ambiental. Sob vegetação natural, os solos geralmente acumulam carbono orgânico e o desmatamento altera seu fluxo e natureza resultando em impactos nos corpos hídricos, biodiversidade e na qualidade dos solos (ROSOLEN, 2012).

O estoque de carbono dos solos brasileiros tem sido objeto de estudos nas últimas décadas, seja almejando o conhecimento das quantidades de C armazenados em diferentes sistemas, ou como estratégia de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (ASSAD *et al.*, 2013; BATJES, 1996; BERNOUX *et al.*, 2005).

Frente ao exposto, ressalta-se a necessidade de avaliar os estoques de carbono no solo em cultivos agrícolas (STOCKMANN *et al.*, 2015), visto a extensa área ocupada pela agricultura no Brasil.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Descrição do processo metodológico

O trabalho em questão fundamenta-se nos estudos de revisão sistemática propostos por Pickering e Byrne (2014). Esta metodologia conduziu o estudo de revisão sistemática realizado por Inkotte *et al.* (2019) para avaliar as metodologias utilizadas em pesquisas sobre serapilheira e ciclagem de nutrientes nas fitofisnomias do Cerrado. O método descrito por Pickering e Byrne (2014) funciona particularmente bem quando há termos específicos associados ao assunto, facilitando o processo de busca. Sendo assim, é importante identificar quais tipos de questões devem ser abordadas pela revisão da literatura. Recomenda-se, no mínimo, avaliar: (i) onde, quando e por quem a pesquisa foi publicada; (ii) a distribuição geográfica da pesquisa; (iii) tipos de métodos utilizados; (iv) tipos de assuntos examinados; (v) tipos de variáveis medidas; (vi) diferentes disciplinas relacionadas ao tema; e (vii) padrões encontrados nos resultados das pesquisas. Essas questões precisam ser revisadas em cada etapa do processo, à medida que aumenta a compreensão do pesquisador sobre o tema e os tipos de dados disponíveis (PICKERING & BYRNE, 2014).

O Portal de Periódicos da CAPES é uma ferramenta moderna e fundamental para a formação de nossos pesquisadores sendo uma importante fonte para pesquisas e consultas à artigos e dissertações. A busca ocorreu na base de dados Periódicos CAPES, por ser uma das maiores bases de dados, que reúne e disponibiliza o melhor da produção científica nacional e internacional.

O levantamento utilizou como fonte de dados todos os artigos publicados em revistas científicas que apresentavam relação com a temática acerca do estoque de carbono do solo no bioma Cerrado. O levantamento dos trabalhos ocorreu em maio de 2023, utilizando o mecanismo de “buscar assunto” do banco de dados dos Periódicos CAPES, e dentro deste, a escolha da ferramenta intitulada “Busca avançada”. Os termos inseridos como palavras-chave foram em português: “estoque de carbono e solo e cerrado”, “quantificação e estoque de carbono e solo e cerrado”, sendo então analisados todos os trabalhos científicos que foram encontrados, sem definição de um período de tempo, compreendendo assim, todas as publicações catalogadas na plataforma até a data da realização do levantamento.

A forma mais tradicional de exploração das ferramentas do Portal de Periódicos CAPES é diretamente no campus, com reconhecimento de IP. Em vista disso, as pesquisas foram realizadas nos domínios da Universidade de Brasília - UnB com acesso total e irrestrito ao banco de dados da Periódicos CAPES. O critério de inclusão dos artigos encontrados nas buscas se deu pelo enquadramento ou não nos temas específicos preestabelecidos, compreendendo assim todos os trabalhos referentes à avaliação e quantificação de estoque de carbono no solo no bioma Cerrado.

O critério de inclusão dos artigos encontrados nas buscas se deu pelo enquadramento ou não nos temas específicos preestabelecidos, compreendendo assim todos os trabalhos referentes à quantificação do estoque de carbono nas áreas dentro do bioma Cerrado, sendo elas compostas por áreas de vegetação nativa (Cerrado e suas fitofisionomias), formação florestal plantada e/ou culturas agrícolas.

Logo após esta etapa, os aspectos gerais dos artigos incluídos na base dados foram analisados sob os seguintes aspectos: ano de publicação dos artigos, o meio de publicação, ou seja, quais revistas científicas publicaram os artigos; os locais em que foram realizados os estudos, com a finalidade de conhecer quais fitofisionomias e culturas florestais/agrícolas foram mais avaliadas. Por fim, os artigos foram divididos em duas áreas específicas dentro da temática de estoque de carbono do solo: os trabalhos que abordavam fitofisionomias do Cerrado e os estudos envolvendo o uso do solo para fins agrícolas tendo o Cerrado como área referência. Todas as informações foram organizadas em planilhas.

4.2 Resultados das buscas e enquadramento dos artigos nos critérios de inclusão

A busca com os termos em português “estoque de carbono e solo e Cerrado” resultou em 154 artigos científicos, com data de publicação de 1991 a 2023, e que dentre os quais, 75 se enquadraram nas categorias preestabelecidas. Destas 75 publicações, 52 foram catalogadas e analisadas – sete em áreas de Cerrado nativo (Cerrado sensu stricto, Cerradão, Mata

Mesofítica, Veredas, e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial Alterada, conforme descrição dos autores), 45 em florestas plantadas e lavouras em áreas originalmente ocupadas por Cerrado. Utilizando os termos também em português “quantificação e estoque de carbono e solo e Cerrado” foram encontrados quatro resultados, com data de publicação de 2011 a 2018, sendo que destes, dois se enquadraram nas categorias. Ao total, 77 artigos foram catalogados e 52 analisados. Os demais artigos foram descartados em virtude de não se enquadrarem nos critérios preestabelecidos referentes à temática analisada, principalmente por se tratar da temática de estoque de carbono da biomassa aérea florestal.

4.3 Aspectos gerais dos trabalhos avaliados

Avaliando as datas de publicações dos trabalhos do período de 1999 a 2023 foi possível observar um aumento no número de trabalhos entre 2010 e 2020 com um total de 37 publicações, o que aponta uma tendência de crescimento na produção científica sobre a referida temática (Figura 1).

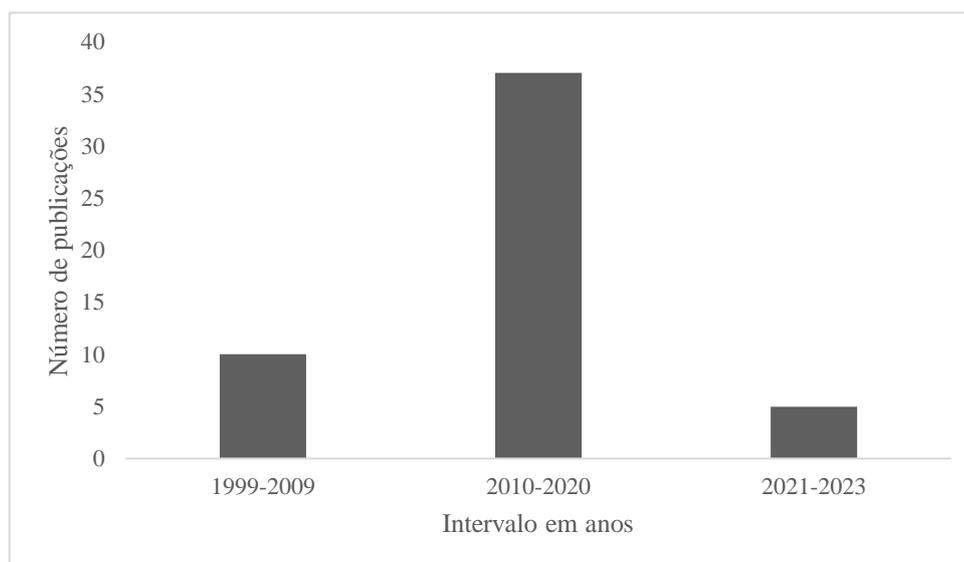


Figura 1. Número de publicações analisadas no período de 1999 a 2023.

Para o período de 1999 a 2009, observou-se o número de dez publicações, seguido de 2021-2023 com apenas cinco. Os resultados indicam o número médio de 2,08 publicações por ano para o período 1999-2023 (Figura 2). Destacam-se os anos de 2011 e 2013 com sete e seis publicações, respectivamente.

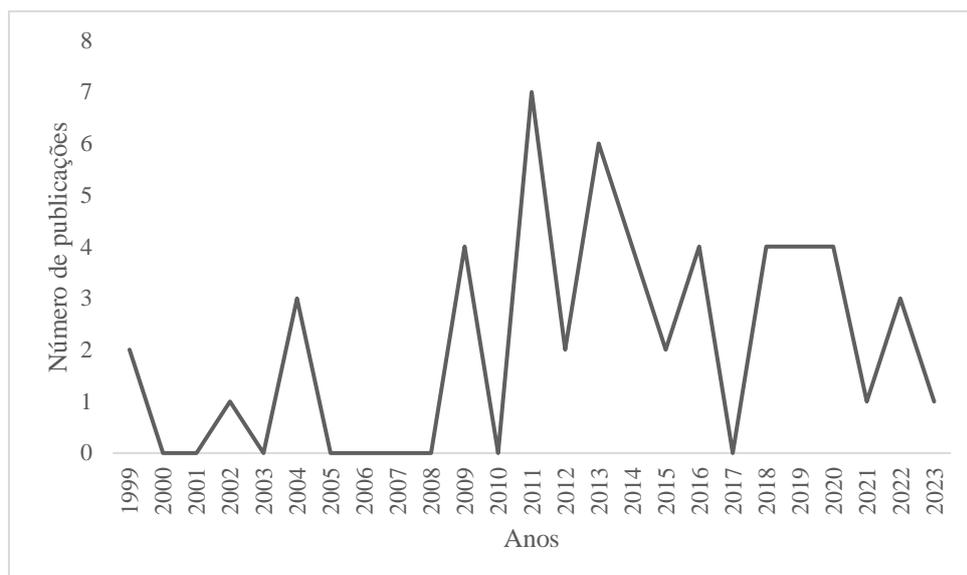


Figura 2. Evolução do número de publicações analisadas com o passar dos anos.

Os motivos pelos quais pode-se explicar o aumento no número de publicações a partir de 2010, seria o comprometimento do Brasil com a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 2009, e no ano seguinte, foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Telles *et al.* (2021) ressaltam que, ainda em 2010, foi elaborado o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC). As ações do Plano ABC incluem a recuperação de pastagens degradadas, a adoção de sistemas integrados (ILP e ILPF) e sistemas agroflorestais (SAFs), a adoção do sistema de plantio direto (SPD), a difusão da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), a expansão da área de florestas plantadas e o tratamento de dejetos animais (TELLES *et al.*, 2021).

Os trabalhos realizados sobre estoque de carbono do solo no Cerrado que se enquadraram nos parâmetros de seleção descritos anteriormente, em áreas de Cerrado nativo em diferentes fitofisionomias (Cerrado *sensu stricto*, Cerradão, Mata Mesofítica, Veredas, e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial Alterada, conforme descrição dos autores), florestas plantadas e lavouras em áreas originalmente ocupadas por Cerrado, totalizaram 52 artigos publicados em 22 revistas diferentes, sendo que uma delas foi responsável por 23,08% do total das publicações, sendo ela: Revista Brasileira de Ciência do Solo (Tabela 1). Em seguida, as revistas Pesquisa Agropecuária Brasileira – editada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) – e Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – periódico oficial da Asociación Latinoamericana y del Caribe de Ingeniería Agrícola (ALIA), editada pela Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) do Centro de

Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – representam 13,46% e 9,62% do total de publicações, respectivamente.

Essa quantidade expressiva de publicações em revistas nacionais reflete a escolha dos termos da busca em português. Desta forma, depreende-se que, se o levantamento fosse realizado também em outros idiomas (inglês e espanhol) com as mesmas palavras-chave, o número de publicações em revistas internacionais seria maior. Apenas o manuscrito de Souza *et al.* (2018) foi publicado em revista internacional (Land Degradation & Development).

Tabela 1. Relação das revistas analisadas e quantidade de publicações.

Revistas	Publicações (n)
Nacionais	
Acta Scientiarum. Agronomy	
Cerne	
Ciência e Agrotecnologia	
Coffee Science	
Nativa (Sinop)	
Revista de Ciências Agroveterinárias	1
Revista Geográfica Acadêmica	
Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental	
Scientia agricola	
Semina: Ciências Agrárias	
Sociedade & Natureza	
Internacionais	
Ciência Rural	
Pesquisa Agropecuária Tropical	
Revista Árvore	2
Revista Brasileira de Ciências Ambientais	
Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais	
Bioscience Journal	3
Ciência Florestal	
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental	5
Pesquisa Agropecuária Brasileira	7
Revista Brasileira de Ciência do Solo	12
Land Degradation & Development	1

Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Os estudos analisados ocorreram em 10 Estados e no Distrito Federal (Tabela 2). A região Centro-Oeste concentra 24 estudos, seguida das regiões Nordeste e Sudeste com 13 cada e, por fim, a região Norte com dois estudos (Cerrado amazônico). Ressalta-se que a partir da década de 1960, adotou-se uma nova orientação de desenvolvimento regional que visava o aproveitamento dos Cerrados e a abertura de novas terras para a exploração agropecuária, tornando a região Centro-Oeste estratégica, não apenas pela sua posição

geográfica, mas pelas suas características físico-ambientais, que propiciavam a expansão da produção agrícola nos padrões da nova agricultura moderna (ALMEIDA; VIEIRA JUNIOR; RAMOS, 2006; OLIVEIRA, 2002; DE FARIAS; ZAMBERLAN, 2014).

Tabela 2. Relação das UFs cujo os estudos analisados foram desenvolvidos.

Unidade da Federação (UF)	RO, TO	MA, MT, SP	DF	BA	PI	GO	MS	MG
Estudos (n)	1	2	4	5	6	8	10	11

Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Em relação à distribuição geográfica dos trabalhos por unidade federativa e à classificação do solo (escolheu-se o 2º nível categórico), constatou-se seis ordens de solos: Argissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos, Organossolos e Plintossolos (Tabela 3). Os Latossolos foram os mais estudados, estando presentes em 76,92% dos manuscritos.

Tabela 3. Distribuição geográfica dos trabalhos analisados por UF e classes de solo.

Classes de solo	Região										
	BA	DF	GO	MA	MT	MS	MG	PI	RO	SP	TO
	n										
ARGISSOLOS	-	-	-	1	-	2		1	-	-	-
ARGISSOLO AMARELO (PA)				x							
ARGISSOLO VERMELHO (PV)						x					
ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (PVA)						x		x			
GLEISSOLOS	-	-	-	-	-	1	1		-	-	1
GLEISSOLOS HÁPLICOS (GX)							x				
LATOSSOLOS	5	4	5	1	2	6	10	4	1	2	-
LATOSSOLO AMARELO (LA)									x		
LATOSSOLO VERMELHO (LV)		x	x			x	x			x	
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO (LVA)	x		x	x	x		x	x			
NEOSSOLOS	-	-	2	-	-	1			-	-	-
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (RQ)	x		x			x					
ORGANOSSOLOS	-	-	-	-	-		1		-	-	-
ORGANOSSOLO HÁPLICO (OX)							x				
PLINTOSSOLOS	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
PLINTOSSOLO HÁPLICO (FX)			x								
N.E	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-

N.E. = Não especificado. Fonte: Paniago, R.C. (2023).

4.4 Análise dos trabalhos de estoque de carbono do solo nas fitofisionomias do Cerrado

O bioma Cerrado possui variadas fitofisionomias, podendo ser classificado de maneiras diferentes dependendo de cada autor, conforme discutido por Bastos e Ferreira (2010). Optou-se então por utilizar como base a classificação proposta por Ribeiro e Walter (2008), da qual descreve 11 diferentes fitofisionomias, para padronizar as áreas nativas de

trabalho dos manuscritos. Sendo assim, foram registrados trabalhos em apenas quatro fitofisionomias, sendo elas: Cerradão, Mata Seca, Cerrado sentido restrito e Vereda, evidenciando uma lacuna para novos estudos nas outras sete fitofisionomias ainda não avaliadas até o momento. Foram realizados 4 estudos em áreas de Cerrado sentido restrito; três em áreas de Cerradão; dois em Matas Secas e um em Vereda (Tabela 4), totalizando sete estudos.

Tabela 4. Distribuição geográfica dos trabalhos registrados nas fitofisionomias do Cerrado.

	Fitofisionomias			
	Formações florestais		Formações savânicas	
	Cerradão	Mata Seca	Cerrado sentido restrito	Vereda
Unidade da Federação (UF)	MG e PI	MG e TO	DF, MG, MS e PI	MG
Estudos (n)	3	2	4	1

Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Os estudos analisados para as fitofisionomias do Cerrado compreendem quatro classes de solos, sendo elas: Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Gleissolo (G), Gleissolo Háptico (GX), Latossolos (L), Latossolos Vermelhos (LV), e Organossolo Háptico (OX). Os manuscritos de Paiva, Rezende e Pereira (2011) e de Costa *et al.* (2018) não especificaram a classificação de solos das áreas estudadas (Tabela 5).

Para o Cerradão, os estoques de C foram quantificados até 100 cm de profundidade em Latossolos. A partir dos parâmetros densidade do solo, teor de carbono orgânico, densidade do solo, espessura da camada amostrada, foi calculado o estoque de carbono utilizando a fórmula de Veldkamp (1994). Para a Mata Seca, os estoques de C foram quantificados até 40 cm de profundidade em Latossolo Vermelho, Gleissolo Háptico e Organossolo Háptico, os teores de C orgânico foram determinados pelos métodos descritos pela EMBRAPA (1997) e Teixeira *et al.* (2017). Não foi especificada a metodologia seguida para cálculo de estoque de carbono, apenas que foi multiplicado o teor de carbono orgânico pela densidade do solo e pela profundidade, semelhante a Veldkamp (1994).

Tabela 5. Estudos analisados, fitofisionomias do Cerrado, classes de solo, profundidade (cm) e metodologia utilizada para teor de carbono orgânico (CO) e ECS.

Referências	Fitofisionomias	Classes de solo	Profundidade (cm)	Metodologia	
				CO (g.kg ⁻¹)	ECS (Mg.ha ⁻¹ ou t.ha ⁻¹)
Morais et al. (2013)	Cerradão	L	0–10, 10–20, 20–40, 40–60 e 60–100	Analizador de Carbono Total	Veldkamp (1994): CO x D _s x p
Giácomo et al. (2015)		LV	0–5, 5–10, 10–20 e 20–40	EMBRAPA (1997)	Freixo et al. (2002): (C x D _s x e)/10
Costa et al. (2018)		N.E.	0–5 e 5–10	Yeomans & Bremner (1988)	Veldkamp (1994): (COT×D _s ×e)/10
Giácomo et al. (2015)	Mata Seca	LV	0–5, 5–10, 10–20 e 20–40	EMBRAPA (1997)	Freixo et al. (2002): (C x D _s x e)/10
Andrade et al. (2022)		G	0–20 e 20–40	Teixeira et al. (2017)	(C x D _s x p)/10
Formações savânicas					
Paiva, Rezende e Pereira (2011)	Cerrado sentido restrito	N.E.	0–10 e 10–20	EMBRAPA (1997)	Szakács (2003): (c/100) x δ x p x 100
Giácomo et al. (2015)		L.V.	0–5, 5–10, 10–20 e 20–40	Yeomans & Bremner (1988)	Freixo et al. (2002): (C x D _s x e)/10
Costa et al. (2018)		N.E.	0–5 e 5–10	Yeomans & Bremner (1988)	Veldkamp (1994): (COT×D _s ×e)/10
Ozório et al. (2019)		PVA	0–5, 5–10 e 10–20	Yeomans & Bremner (1988)	Método da massa equivalente (REIS et al., 2018; SIGNOR et al., 2014)
Pereira & Figueiredo (2018)		Vereda	GX e OX	14 perfis com profundidades variadas	Yeomans & Bremner (1988)

C, CO ou COT = teor de carbono orgânico; ECS = estoque de carbono do solo (Mg.ha⁻¹ ou t.ha⁻¹); E ou e = espessura da camada; G = Gleissolo; GX = Gleissolo Háplico; L = Latossolo; LV = Latossolo Vermelho; N.E = Não especificado; p= profundidade; PVA = Argissolo Vermelho-Amarelo; OX = Organossolo Háplico. Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Para o Cerrado sentido restrito, os estoques de carbono do solo foram quantificados até 40 cm de profundidade. Paiva, Rezende e Pereira (2011) determinaram o estoque de carbono no solo no período da seca apenas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, utilizando a fórmula descrita por Szakács (2003). Giácomo *et al.* (2015) avaliaram as profundidades 0–5, 5–10, 10–20 e 20–40 para fragmentos de Cerrado sentido restrito em MS em Latossolo Vermelho (LV). Ambos os trabalhos citados determinaram o carbono orgânico pelo método Walkley-Black (adaptado) (EMBRAPA, 1997). As profundidades avaliadas por Costa *et al.* (2018) e Barros Ozório *et al.* (2019) foram 0–5 e 5–10 (classificação do solo não especificada) e 0–5, 5–10 e 10–20 (em Argissolo Vermelho-Amarelo), respectivamente. O método de determinação do carbono orgânico total (COT) foi por oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de potássio em meio sulfúrico sob aquecimento e titulado com sulfato ferroso amoniacal proposto por Yeomans & Bremner (1988).

Quanto à fitofisionomia Vereda, Pereira & Figueiredo (2018) percorreram cinco áreas nativas de Veredas em MG, selecionaram 14 perfis representativos de solos classificados em 2º nível categórico como Gleissolos Háplicos (GX) e Organossolos Háplicos (OX). O cálculo do teor de carbono em cada horizonte pedogenético foi realizado segundo a fórmula proposta por Fidalgo *et al.* (2007) $C_t = C \times D_s \times E/100$, onde C_t = teor de carbono do horizonte, em kg m⁻²; C = conteúdo de carbono orgânico, em g kg⁻¹; D_s = densidade do solo em g cm⁻³; E = espessura do horizonte (cm). Neste estudo foram considerados no somatório apenas os horizontes superficiais A ou O. O estoque de carbono foi calculado multiplicando-se o teor médio de carbono dos horizontes das veredas pelas áreas totais das mesmas. O carbono orgânico foi quantificado conforme Yeomans & Bremner (1988).

Os resultados desta etapa evidenciam que a fitofisionomia com o maior número de trabalhos sobre a ECS foi o Cerrado sentido restrito, indicando a necessidade de mais estudos para as demais formações, a fim de gerar resultados mais confiáveis e passíveis de comparação entre os mesmos tipos de formação e outras fitofisionomias do bioma Cerrado.

Nas quatro fitofisionomias estudadas, dentre as formações florestais, o maior valor de estoque de carbono do solo (ECS) foi detectado na camada de 0–100 cm para o Cerradão com 90,46 Mg.ha⁻¹ em Latossolo (L) (Tabela 6). Enquanto que, dentre as formações savânicas, o maior valor de ECS foi detectado para as áreas nativas de Vereda, com destaque para V5 (camadas 0–23 e 0–57) com 198,4 t.ha⁻¹ em Gleissolo Háplico (GX) e Organossolo Háplico (OX).

Tabela 6. Estoque de carbono no solo (ECS), classes e profundidades para cada fitofisionomia.

Referências	Fitofisionomias	Classe de solo	Profundidade (cm)	ESC (Mg.ha ⁻¹)	
	Formações florestais				
Morais et al. (2013)		L	0–100	90,46	
Giácomo et al. (2015)	Cerradão	LV	0–20	39,10	
			20–40	66,85	
Costa et al. (2018)		N.E.	0–5	28,37	
			5–10	54,71	
Giácomo et al. (2015)		LV	0–20	43,45	
			20–40	68,40	
Andrade et al. (2022)	Mata Seca	G	0–20	1,79	
			20–40	1,12	
	Formações savânicas				
Paiva, Rezende e Pereira (2011)		N.E.	0–10	19,37	
			10–20	40,30	
			0–20	59,67	
Giácomo et al. (2015)		L.V.	0–20	25,50	
			20–40	42,56	
Costa et al. (2018)	Cerrado sentido restrito	N.E.	0–5	33,52	
			5–10	67,82	
Ozório et al. (2019)		PVA	0–5	11,07	
			5–10	6,93	
			10–20	11,23	
Pereira & Figueiredo (2018)	Vereda	GX	14 perfis com profundidades variadas		
			V1	0–18, 0–15, 0–9 e 45–81	68,0
			V2	0–21, 0–20 e 0–15	65,0
			V3	0–12 e 0–11	65,9
			V4	0–15, 0–24 e 0–89	198,1
			V5	0–23 e 0–57	198,4

Médias para cada profundidade em (cm). ECS = estoque de carbono do solo (Mg.ha⁻¹ ou t.ha⁻¹); G = Gleissolo; GX = Gleissolo Háplico; L = Latossolo; LV = Latossolo Vermelho; N.E = Não especificado; PVA = Argissolo Vermelho-Amarelo; OX = Organossolo Háplico. Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Pereira & Figueiredo (2018) afirmam que baseado nos critérios apresentados por Fidalgo *et al.* (2007), as áreas nativas V2 e V3 alcançaram resultados próximos aos da média nacional para Gleissolos ($66,0 \text{ t.ha}^{-1}$). As veredas V4 e V5 apresentam resultados de $198,1 \text{ t.ha}^{-1}$ e $198,4 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente, superando em três vezes a média para Gleissolos no Brasil (PEREIRA & FIGUEIREDO, 2018).

Os valores de densidade do solo (Ds) e teor de carbono orgânico (CO%) não foram especificados na maioria dos trabalhos avaliados, apenas nos manuscritos de Morais *et al.* (2013), Pereira & Figueiredo (2018) e Andrade *et al.* (2022).

A utilização das metodologias de Yeomans & Bremner (1988) para determinação de teor total de CO e de Veldkamp (1994) para determinação do ESC, foram comumente adotadas nos trabalhos referentes ao estoque de carbono do solo em áreas nativas do Cerrado. Os manuscritos de Paiva, Rezende & Pereira (2011) e Morais *et al.* (2013) realizaram além da quantificação do ECS, os estoques de C das biomassas aérea lenhosa e subterrânea (raízes) e serapilheira, só que em fitofisionomias distintas. Semelhante a estes, Andrade *et al.* (2022) avaliaram o estoque de carbono aéreo e nas camadas superficial e subsuperficial do solo em TO. O manuscrito de Costa *et al.* (2018) avaliou apenas a dinâmica do carbono no solo e seu estoque em uma UC de Proteção Integral, o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PI), para as fitofisionomias Cerrado sentido restrito e Cerradão.

Os manuscritos de Giácomo *et al.* (2015) e Ozório *et al.* (2019), avaliaram, respectivamente, o ECS associado à fertilidade e a atributos físicos do solo em áreas de Mata Mesofítica (Mata Seca), Cerradão e Cerrado sentido restrito (MG) e em fragmentos florestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado (MS). Por fim, Pereira & Figueiredo (2018) estudaram solos de veredas em MG e quantificaram o ESC, trazendo uma abordagem socioambiental para discutir a importância destas fitofisionomias.

A fitofisionomia que apresentou o maior número de trabalhos sobre ESC foi o Cerrado Sentido restrito e a classe de solo, Latossolos. Almeida Neto *et al.* (2009) afirmam que, por serem os solos predominantes no território brasileiro, os Latossolos têm sido mais estudados ao longo dos anos. Esta etapa da revisão revelou a necessidade de mais estudos para as demais formações (entre as mesmas formações e outras fitofisionomias) para um maior entendimento da dinâmica do estoque de C no solo em áreas nativas do Cerrado. Cabe ressaltar que, para as fitofisionomias Mata Ciliar, Mata de Galeria, Parque de Cerrado, Palmeiral, Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre, não foi encontrado nenhum tipo de trabalho com essa

temática para as palavras-chave utilizadas, o que pode salientar a necessidade da expansão de estudos de ECS dentro do bioma Cerrado.

4.5 Análise dos trabalhos de estoque de carbono do solo sob diferentes condições de uso do solo no Cerrado

O solo sob diferentes sistemas de manejo e uso apresentam alterações nos estoques de carbono orgânico, podendo assim, permanecer estáveis, aumentar ou diminuir quando comparados à área nativas não alteradas (sem interferência antrópica). Os 45 estudos analisados foram desenvolvidos em nove Estados e no Distrito Federal. Destaca-se MS com 20% das publicações, seguido de MG com 17,78% e GO com 17,78% (Tabela 7). Estes três Estados juntos, tal qual a região Centro-Oeste, concentraram mais da metade das áreas de estudo dos manuscritos.

Verificou-se cinco ordens de solos, sendo elas: Argissolos, Gleissolos, Latossolos, Neossolos e Plintossolos. No Brasil, as ordens de solos que possuem maior ocorrência são os Latossolos e Argissolos, seguidos pelos Neossolos, Plintossolos, Cambissolos e Gleissolos. Os Latossolos constaram em 80% dos manuscritos, e ainda destes, mais da metade foram Latossolos Vermelhos (52,78%). Estes resultados corroboram com Macedo (1996), que afirma que no Cerrado, cerca de 48% são classificados como Latossolos, 21% como Neossolos (Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos), 15% como Argissolos e 6% como Plintossolos, apresentado ainda Cambissolos, Nitossolos e Gleissolos entre outros.

Foram encontrados 32 tipos de cultivos, entre agrícolas e florestais (Tabela 7). Os sistemas de manejo registrados foram plantio convencional (PC), cultivo mínimo (CM), plantio direto (PD) e plantio sem preparo (s/p), tendo áreas de Cerrado nativo (CN) tomadas como referência para comparação dos valores de ESC.

Com relação aos usos por classe de solo, constatou-se 34 diferentes usos para Latossolos Vermelhos (LV), 19 para Latossolos (sem classificação do 2º nível categórico), 18 para Latossolos Vermelho-Amarelos e 12 para Neossolos Quartzarênicos (RQ). Com menor número de usos, foram registrados quatro para Argissolos Vermelhos (PV), três para Latossolos Amarelos (LA), dois para Argissolos Amarelos (PA) e, por fim, com apenas um uso as classes: Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), Gleissolo (sem classificação do 2º nível categórico), Gleissolo Háptico (GX) e Plintossolo Háptico (FX) (Tabela 8).

Tabela 7. Distribuição geográfica dos trabalhos registrados para diferentes sistemas de uso, classes de solo e cultivos estudados no Cerrado.

UF	Estudos (n)	Classes de solo	Tipos de cultivo
BA	4	L, LVA, RQ	café, eucalipto, pastagem, soja, soja em consórcio
DF	5	LV, LVA	eucalipto, milho, mucuna, pastagem
GO	8	LV, LVA, RQ, FX	arroz, café, feijão, integração lavoura-pecuária (ILP), milho, milho em consórcio, pastagem, soja, tomate
MA	2	PA, LVA	macaúba, pastagem, soja
MT	2	LVA	algodão, soja, milho, braquiária
MS	9	PV, G, LV, RQ	aveia, aveia-preta, braquiária, cana de açúcar, capim tanzânia, crotalária, ervilhaca, girassol, guandu-anão, integração lavoura-pecuária (ILP), milho, milho em consórcio, milho, nabo, pastagem, seringueira, seringueira em consórcio com abacaxi, sistema agrossilvopastoril (SASP), soja, soja em consórcio, sorgo, sorgo em consórcio
MG	8	GX, L, LV, LVA	arroz, braquiária, café, eucalipto, eucalipto em consórcio, milho, pastagem, sistemas agrofloretais (SAFs), soja, soja em consórcio
PI	4	PVA, LA, LV	milho, milho, soja, sistemas agrofloretais (SAFs)
RO	1	L	arroz, soja
SP	2	L, LV	crotalária, feijão-guandu, girassol, milho, milho, nabo, soja, soja em consórcio, sorgo

G = Gleissolo; GX = Gleissolo Háptico; L = Latossolo; LA = Latossolo Amarelo; LV = Latossolo Vermelho; LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo; PA = Argissolo Amarelo; PV = Argissolo Vermelho; PVA = Argissolo Vermelho-Amarelo; RQ = Neossolo Quartzarênico; FX = Plintossolo Háptico. Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Tabela 8.

Usos por classes de solo estudados no Cerrado.

Classe de solo	Tipos de cultivo e sistemas de uso
Argissolo Amarelo (PA)	Integração Lavoura-Pecuária (ILP) Soja (S)
Argissolo Vermelho (PV)	cana de açúcar pastagem (PAST) plantio convencional (PC) plantio direto (PD)
Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)	Sistemas Agroflorestais (SAFs)
Gleissolo (G)	pastagem (PAST)
Gleissolo Háptico (GX)	Sistemas Agroflorestais (SAFs) crotalária (<i>Crotalaria juncea</i> L.) eucalipto (EUC)
Latossolo (L)	feijão-guandu (<i>Cajanus cajan</i> (L.) Mill sp.) girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.) milheto (<i>Pennisetum americanum</i> (L.) Leeke) (Mi) milho (M) milho/milho (<i>Zea mays</i> L.) (MM) nabo-forrageiro (<i>Raphanus sativus</i> L.) (N) pastagem (PAST) pastagem de braquiaria degradada (pastagem degradada - PAST deg) pastagem de braquiária melhorada (pastagem melhorada - PAST mel) plantio convencional (PC) plantio convencional arroz (PC arroz) soja (S) soja/arroz soja/milho soja/milho consorciado com braquiária (<i>Urochloa ruziziensis</i>) soja/soja (<i>Glycine max</i> L. Merrill) (SS) sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) (So)
Latossolo Amarelo (LA)	plantio convencional (PC) plantio direto soja + milheto (PD soja/milheto) plantio convencional soja (PC soja)
Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	pastagem (PAST) plantio convencional soja, milho, algodão (PC soja/milho/algodão) braquiária Cultivo mínimo (CM) eucalipto aos 20 anos de idade (EUC20) Macaúba (MAC)

Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	milho (M) milho/braquiária Pastagem + Macaúba (MAC + PAST)	
	plantio convencional (PC)	
	plantio convencional algodão (PC algodão)	
	plantio convencional crotalária, algodão, milho, soja (PC Cr/A–Mi/S)	
	plantio convencional pastagem, algodão, pastagem, soja (PC PAST/A–PAST/S)	
	plantio convencional soja (PC soja)	
	plantio direto (PD)	
	plantio direto soja, crotalária, milho, braquiária e algodão (PD)	
	Sistemas Agroflorestais (SAFs)	
	soja/algodão sem preparo do solo	
	Latossolo Vermelho	aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja
		café (<i>C. arabica</i> L. var Bourbon vermelho) com 15 anos
		café (<i>C. arabica</i> L. var Bourbon vermelho) com 37 anos
		café (<i>C. arabica</i> L. var Bourbon vermelho) com 8 anos
crotalária/sorgo/soja/milho		
ervilhaca/soja/ervilhaca/milho/ervilhaca/soja		
ervilhaca+aveia/soja/braquiária/milho/braquiária/soja		
ervilhaca+aveia+nabo/soja/nabo/milho/ervilhaca+aveia+nabo/soja		
eucalipto (EUC)		
eucalipto aos seis anos de idade (EUC6)		
eucalipto aos sete anos de idade (EUC7)		
eucalipto aos três anos de idade (EUC3)		
girassol, aveiapreta/soja, milho		
girassol/soja/ervilhaca+aveia+nabo/milho/girassol/soja		
guandu-anão, milheto/soja, milho		
Integração Lavoura-Pecuária (ILP)		
Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF)		
milho (M)		
nabo forrageiro, milho/soja, milho.		
Latossolo Vermelho		pastagem (PAST)
		pastagem braquiária (PAST)
	pastagem capim-tanzânia (PAST)	
	plantio convencional (PC)	
	plantio convencional milheto (PC milheto)	
	plantio direto (PD)	
	plantio direto milheto (PD milheto)	
	plantio direto milho + feijão (PD milho/feijão)	
	plantio direto milho, feijão, arroz e tomate (PD	
	milho/feijão/arroz/tomate)	
	plantio direto mucuna (PD mucuna)	
	plantio direto soja/milho/sorgo/soja (soja/milho/sorgo/soja)	

Latossolo Vermelho	plantio direto soja/nabo/milho/nabo (PD soja/nabo/milho/nabo) sistema plantio direto milheto (SPD milheto) soja soja/milho sem preparo do solo
	eucalipto (EUC) pastagem com 3 anos (PAST-3) pastagem com 30 anos (PAST-30) pastagem extensiva (PAST DEG) soja/milho
Neossolo Quartzarênico (RQ)	seringueira solteira (<i>Hevea brasiliensis</i>) (SG) seringueira consorciada com abacaxi (<i>Ananas comosus</i>) (SCA) plantio convencional (PC) Integração Lavoura-Pecuária (ILP) pastagem (PAST) plantio direto soja, braquiária, soja (PD soja/braquiária/soja) plantio direto milho, braquiária, milho (PD milho/braquiária/milho)
Plintossolo Háplico (FX)	plantio direto (PD)

Para a profundidade 0–10 foram avaliados 9 manuscritos e 11 usos, dentre eles: café, eucalipto, ILP, ILPF, pastagem, plantio convencional e plantio direto, tendo áreas de Cerrado nativo como referência (Tabela 9). Os maiores valores encontrados foram 37,7 Mg.ha⁻¹ em ILP aos 2 anos de idade e 34 Mg.ha⁻¹ em plantio direto aos 3 anos. Os menores valores foram de 9,54 Mg.ha⁻¹ em área de plantio direto e 7,53 Mg.ha⁻¹ em plantio convencional de algodão.

Os valores observados foram semelhantes ao de Campos *et al.* (2013), onde o plantio direto proporcionou maior sequestro de carbono em todos os sistemas (PC, PD e CN). Assad *et al.* (2019) salientam que, sistemas complexos como a ILP, por conterem o componente forrageiro e florestal, têm potencial de contribuir na retenção de carbono em solo. Os valores para a cultura de café arábica foram próximos aos encontrados por da Silva *et al.* (2013), que variaram de 21,4 a 29,4 Mg.ha⁻¹ para a profundidade 0–10 cm. Segundo da Silva *et al.* (2013), os estoques de C na camada de 0-10 cm de solo são cerca de 2,5 vezes maiores do que os obtidos nas plantas de cafeeiro. Em relação ao sistema ILPF, Lal (2002) ressalta que a maior concentração de C está relacionada à elevada capacidade da integração pastagem e floresta de acumular carbono abaixo da superfície do solo e em suas raízes.

Tabela 9. Estoque de carbono no solo (ECS) para a profundidade 0–10 cm sob diferentes usos, média dos usos (\bar{x}), desvio padrão (DP), tempo (t) em anos dos tipos de cultivo.

Tipos de cultivo	ECS (Mg.ha ⁻¹)	\bar{x}		t (anos)	Referências			
		ESC	DP					
CAF20	19,67	23,43	5,32	20	Sol et al. (2021)			
CAF3	27,19			3				
CN	22,61	22,37	5,82	-	Sol et al. (2021)			
CN	22,39			-				
CN	12,6			-				
CN	28			-				
CN	25,85			-				
CN	28,52			-				
CN	18,48			-				
CN	14,6			-				
CN	19,8			-				
CN	29,893			-				
CN	17,58			-				
CN	28,16			-				
EUC	23,57			18,53		3,61	-	Wendling et al. (2011)
EUC3	15,19						3	Souza Neto et al. (2014)
EUC6	16,92	6	Seben Junior, Corá & Lal (2014)					
EUC7	18,45	7	Pulronik et al. (2009)					
ILP	14,96	19,98	11,88	-	Souza Neto et al. (2014)			
ILP	14,96			-				
ILP1	12,3			1		Alcântara Neto et al. (2011)		
ILP2	37,7			2				
ILPF	13,36	19,83	6,13	-	Carneiro et al. (2013)			
ILPF	14,12			-				
ILPF	14,02			-				
ILPF	13,03			-				
ILPF0	29,964			0		Souza Neto et al. (2014)		
ILPF1	28,056			1		Wendling et al. (2011)		
ILPF10	22,856			10				
ILPF2	17,28			2				
ILPF3	18,54			3				
ILPF6	20,574			6				
milho s/p	11,25	11,25	-	-	Wendling et al. (2011)			
PAST	23,88	17,82	5,43	-	Wendling et al. (2011)			
PAST	23,27			-	Pulronik et al. (2009)			
PAST	15,2			-	d'Andréa et al. (2004)			
PAST2	11,8			2	Seben Junior, Corá & Lal (2014)			
PAST5	14,94			5				
PC	10,98	15,96	7,48	-	Carneiro et al. (2013)			
PC	10,12			-	Sol et al. (2021)			

PC	26,3	-	-	Seben Junior, Corá & Lal (2014)
PC algodão	7,53	-	-	
PC1	19,14	1		
PC2	21,66	2		
PD	9,54	-		
PD	12,27	-		
PD1	24,71	1		Sol et al. (2021)
PD1	12,2	1	20,43 9,99	d'Andréa et al. (2004)
PD2	23,6	2		Carneiro et al. (2013)
PD2	13,2	2		
PD3	34,2	3		
PD4	33,7	4		
soja s/p	21,3	-		
soja s/p	11,22	-	14,58 5,82	Carneiro et al. (2013)
soja+milho s/p	11,23	-		
soja s/p + ILP 2 anos	25,4	2		Barbosa et al. (2022)
soja s/p + ILP 4 anos	25,8	4	25,03 1,00	Seben Junior, Corá & Lal (2014)
soja s/p + ILP 8 anos	23,9	8		

CAF = café; CN = Cerrado nativo (referência); EUC = eucalipto; ILP = Integração Lavoura-Pecuária (ILP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); PAST = pastagem; PC = plantio convencional; PD = plantio direto. Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Na profundidade 0–20 foram observados 17 usos distribuídos entre consórcios de culturas agrícolas, florestais, sistemas de plantio convencional, plantio direto e sem preparo do solo. Mancin *et al.* (2013) avaliaram MOS, carbono e nitrogênio num Latossolo Vermelho e concluíram que, a rotação ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/ soja proporcionou maiores teores e estoques de carbono orgânico total.

Entretanto, quando comparada ao demais usos, os maiores valores de ESC encontrados foram para as áreas referência de Cerrado nativo com 64,89 e 60,0 Mg.ha⁻¹, enquanto que o menor valor de ESC foi registrado para o plantio convencional de soja (Tabela 10). Vários estudos apontam que, quando se passa do plantio convencional para o plantio direto, ocorre incremento de C que às vezes se iguala ao solo nativo, bem como uma melhoria na qualidade do solo (ZINN *et al.*, 2005).

Tabela 10. Estoque de carbono no solo (ECS) para a profundidade 0–20 cm sob diferentes usos, média dos usos (\bar{x}), desvio padrão (DP), tempo (t) em anos dos tipos de cultivo.

Tipos de cultivo	ECS (Mg.ha ⁻¹)	\bar{x} ESC usos	DP	t (anos)	Referências
aveia/ soja/ girassol/ milho/ aveia/ soja	41,92	41,92	-	-	Mancin et al. (2013)
CN	15,0			-	
CN	44,82			-	
CN	31,45			-	
CN	34,17			-	
CN	42,38			-	
CN	37,41			-	Feitosa Júnior et al. (2019)
CN	45,9			-	Rosendo & Rosa (2012)
CN	58,9			-	Souza et al. (2016)
CN	44,72			-	Alcântara Neto et al. (2011)
CN	48,39	45,66	12,55	-	Costa Junior et al. (2011)
CN	31,01			-	Corazza et al. (1999)
CN	46,34			-	Alves et al. (2016)
CN	39,77			-	
CN	58,75			-	
CN	47,99			-	
CN	56,46			-	
CN	59,11			-	
CN	64,89			-	
CN	60,00			-	
ervilhaca/ soja/ ervilhaca/ milho/ ervilhaca/ soja	45,32			-	
ervilhaca+aveia/ soja/ braquiária/ milho/ braquiária/ soja	50,68	43,88	7,62	-	Mancin et al. (2013)
ervilhaca+aveia+nabo/ soja/ nabo/ milho/ ervilhaca+aveia+nabo/ soja	35,64			-	
EUC	44,87			-	
EUC-3	29,02	34,45	7,13	3	Alcântara Neto et al. (2011)
EUC-6	30,96			6	Corazza et al. (1999)
EUC-7	32,94			7	
girassol/ soja/ ervilhaca+aveia+nabo/ milho/ girassol/ soja	40,52	40,52	-	-	Mancin et al. (2013)
PAST	37,08			-	
PAST	42,18			-	Rosendo & Rosa (2012)
PAST	45,52	41,08	6,93	-	Costa Junior et al. (2011)
PAST	53,21			-	Corazza et al. (1999)
PAST	49,00			-	Alves et al. (2016)
PAST DEG	34,63			-	

PAST DEG	36,21			-	
PAST DEG	39,47			-	
PAST DEG	37,26			-	
PAST DEG	37,31			-	
PAST DEG	22,89			-	
PAST MEL	43,92			-	
PAST MEL	42,48			-	
PAST MEL	41,07			-	
PAST MEL	49,33			-	
PAST MEL	44,89			-	
PAST MEL	41,83			-	
PC milho	38,06	36,21	2,62	-	Nunes et al. (2011)
PC milho	34,36			-	
PC Soja	11,0			-	Feitosa Júnior et al. (2019)
PD	47,35			-	
PD milho	36,47			-	
PD milho	36,55			-	
PD mucuna	34,92			-	Souza et al. (2016) Corazza et al. (1999)
PD Soja em consórcio com Crotalária sucedendo Milho, Braquiária e Algodão	17,0	36,33	9,58	-	Nunes et al. (2011) Feitosa Júnior et al. (2019)
PD11	43,2			11	
PD7	38,8			7	
s/p	56,00			-	
s/p	57,06	55,19	2,39	-	Alves et al. (2016)
s/p	52,5			-	

CN = Cerrado nativo (referência); EUC = eucalipto; PAST = pastagem; PAST DEG = pastagem degradada; PAST MEL = pastagem melhorada; PC = plantio convencional; PD = plantio direto. Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Para a profundidade 10–20 cm foram avaliados 14 manuscritos com registro de 19 usos. Os maiores valores de ESC obtidos foram 4,75 e 7,39 Mg.ha⁻¹, para sistema de plantio direto e plantio convencional de algodão, respectivamente. Os maiores valores foram 27,88 Mg.ha⁻¹ para ILPF com 1 ano de idade e 27,50 Mg.ha⁻¹ para soja cultivada sem preparo do solo associada a ILP com 4 anos de idade (Tabela 11). O trabalho de Piva (2012), apresenta resultados semelhantes uma vez que observou que o sistema ILPF promoveu maiores valores de ESC quando comparados com o sistema ILP, não apenas na camada superficial como também em maior profundidade.

Tabela 11. Estoque de carbono no solo (ECS) para a profundidade 10–20 cm sob diferentes usos, média dos usos (\bar{x}), desvio padrão (DP), tempo (t) em anos dos tipos de cultivo.

Tipos de cultivo	ECS (Mg.ha ⁻¹)	\bar{x} ESC usos	DP	t (anos)	Referências
CAF20	15,03	13,30	2,45	20	Sol et al.(2021)
CAF3	11,56			3	
CN	15,28	17,20	4,98	-	d'Andréa et al. (2004) Leite et al. (2013) Pulronik et al. (2009) Campos et al. (2013) Alcântara Neto et al. (2011) Barbosa et al. (2022) Costa Junior et al. (2011) Freixo et al. (2002) Souza Neto et al. (2014) Matias et al. (2009) Leite et al. (2014) Wendling et al. (2011) Sol et al. (2021)
CN	24,90			-	
CN	21,18			-	
CN	18,08			-	
CN	9,94			-	
CN	12,53			-	
CN	21,50			-	
CN	22,55			-	
CN	12,70			-	
CN	13,70			-	
CN	8,30			-	
CN	18,43			-	
CN	23,33			-	
CN	18,87			-	
CN	19,87			-	
CN	13,97			-	
EUC	22,26			16,16	
EUC3	13,83	3			
EUC6	14,04	6			
EUC7	14,49	7			
ILP	13,93	16,82	5,47	-	Alcântara Neto et al. (2011) Souza Neto et al. (2014) Wendling et al. (2011)
ILP	13,32			-	
ILPF	11,64			-	
ILPF	11,96			-	
ILPF	11,49			-	
ILPF	12,23			-	
ILPF0	25,27			0	
ILPF1	27,88			1	
ILPF10	17,90			10	
ILPF2	19,64			2	
ILPF3	19,31	3			
ILPF6	17,23	6			
Macaúba (MAC)	10,40	10,4	-	-	Leite et al. (2013)
PAST	10,90	15,64	5,95	-	Leite et al. (2013) Sol et al. (2021) Pulronik et al. (2009) Costa Junior et al. (2011) d'Andréa et al. (2004)
PAST	23,83			-	
PAST	20,37			-	
PAST	17,40			-	
PAST2	13,17			2	
PAST5	8,17			5	

Pastagem + Macaúba (MAC + PAST)	14,00			-	Leite et al. (2013)
PC	9,00			-	
PC	8,41			-	
PC	11,34			-	
PC algodão	7,39			-	Matias et al. (2009)
PC Cr/A–Mi/S	15,70	12,79	4,12	-	Leite et al. (2009)
PC P/A–P/S	13,60			-	Sol et al. (2021)
PC1	14,92			-	Freixo et al. (2002)
PC2	16,00			-	d'Andréa et al. (2004)
PC3	20,59			-	Campos et al. (2013)
PC3	10,94			-	
PD	11,54			-	
PD	4,75			-	
PD	11,00			-	
PD	8,32			-	
PD Cr/A–Mi/S	8,80			-	Matias et al. (2009)
PD P/A–P/S	10,80			-	Leite et al. (2009)
PD1	15,45	13,91	5,28	1	Sol et al. (2021)
PD2	16,83			2	Freixo et al. (2002)
PD3	16,29			3	d'Andréa et al. (2004)
PD3	11,34			3	Campos et al. (2013)
PD5	21,95			5	
PD5	15,57			5	
PD9	22,65			9	
PD9	19,47			9	
s/p14	22,60	22,6	-	14	Barbosa et al. (2022)
SAF13	25,95	18,61	10,39	13	Leite et al. (2014)
SAF6	11,26			6	
soja s/p + ILP 2 anos	26,60			2	
soja s/p + ILP 4 anos	27,50	26,10	1,71	4	Barbosa et al. (2022)
soja s/p + ILP 8 anos	24,20			8	

CAF = café; CN = Cerrado nativo (referência); EUC = eucalipto; ILP = Integração Lavoura-Pecuária (ILP); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); PAST = pastagem; PC = plantio convencional; PD = plantio direto; s/p = plantio sem preparo do solo. Fonte: Paniago, R.C. (2023).

Apesar de apresentar menor eficiência na captação de C, o plantio convencional (PC) ainda é adotado fortemente como sistema de manejo no âmbito nacional, devido a uma maior produtividade, quando comparado ao plantio direto (PD) (ROSSETTI E CENTURION, 2015). As demais profundidades observadas nos manuscritos analisados não foram passíveis de comparação, por isso não foram apresentadas nesta etapa. Os métodos comumente observados para determinação do teor de C do solo foram Walkley-Black (1934), Yeomans & Bremner (1988) e analisador elementar. A metodologia de cálculo de ECS mais utilizada nos

manuscritos foi a proposta por Sisti *et al.* (2004) baseada nos trabalhos de Ellert & Bettany (1995), com correção da massa equivalente, usando-se a massa de solo da área de Cerrado nativo como referência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta breve revisão sistemática considerou todos os trabalhos científicos que foram encontrados para a busca no portal Periódicos CAPES com as palavras-chave em português “estoque de carbono e solo e cerrado”, “quantificação e estoque de carbono e solo e cerrado”, sendo então selecionados 52 publicações (33,76% do total). Destas, sete ocorreram em áreas de Cerrado nativo (Cerrado *sensu stricto*, Cerradão, Mata Mesofítica, Veredas, e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial Alterada, conforme descrição dos autores), 45 em florestas plantadas e lavouras em áreas originalmente ocupadas por Cerrado.

As metodologias mais comuns nas publicações foram Walkley-Black (1934), Yeomans & Bremner (1988) e analisador elementar para determinação de teor total de CO, Veldkamp (1994) e Sisti *et al.* (2004) baseada nos trabalhos de Ellert & Bettany (1995), para determinação do ESC. Observou-se a necessidade de mais estudos para as fitofisionomias do Cerrado para maior entendimento da dinâmica do estoque de C no solo em áreas nativas.

Para os estudos envolvendo o uso do solo para fins agrícolas tendo o Cerrado como área referência, foram observados 32 tipos de cultivos, entre agrícolas e florestais. A metodologia mais utilizada foi o método da massa equivalente, cujas massas de solos das áreas de estudo foram ajustadas em relação a uma área de referência (Cerrado nativo). Além disso, para essa caracterização, é nítida a diferença nos estoques entre as profundidades, os tipos de solos, os usos e manejo adotado.

Por fim, foi possível observar as variações nos métodos de determinação de ECS entre solos, sistemas de uso e estoques de C. Os dados dos manuscritos em questão são complexos e o levantamento somente no idioma português, de certo modo, limitou o número de estudos avaliados para o bioma Cerrado. Ainda, é importante mencionar a continuidade da pesquisa em estoque de carbono do solo no que tange ao uso sustentável dos solos tropicais e o entendimento da dinâmica de C no solo.

6 REFERÊNCIAS

AGUILAR, R.; KELLY, E.F.; HEIL, R.D. Effects on cultivation on soils in northern Great Plains rangeland. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p.1081-1085, 1988.

ALCÂNTARA NETO, Francisco de et al. Compartimentos de carbono em Latossolo Vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 849-856, 2011.

ALMEIDA NETO, Onofre Barroca de et al. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, p. 1571-1581, 2009.

ALMEIDA, Giovanna Soares; VIEIRA JUNIOR, Pedro Abel; RAMOS, Pedro. Os programas de desenvolvimento econômico do Centro-Oeste brasileiro e suas consequências: anos 60 e 70. In: **VII Congresso Latino-Americano de Sociologia Rural**. 2006.

ALVES, Ray Pinheiro et al. Role of soil carbon in the landscape functioning of the Alto São Bartolomeu watershed in the Cerrado region, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1241-1251, 2016.

ANDRADE, Thiago Gomes et al. Carbono no solo e no estrato arbóreo em áreas de manejo de florestas nativas no Cerrado. **Nativa**, v. 10, n. 2, p. 230-236, 2022.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, v. 10, n. 10, p. 6141-6160, 2013.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa**, p. 153-167, 2019.

BALESDENT, John; CHENU, C.; BALABANE, May. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and tillage research**, v. 53, n. 3-4, p. 215-230, 2000.

BARBOSA, Leovânio Rodrigues et al. Organic matter compartments in an Ultisol under integrated agricultural and livestock production systems in the Cerrado. **Ciência Rural**, v. 52, p. 20200845, 2022.

BASTOS, Lázaro Antônio; FERREIRA, Idelvone Mendes. Composições fitofisionômicas do bioma Cerrado: Estudo sobre o subsistema de Vereda. **Espaço em Revista**, v. 12, n. 1, 2010.

BATJES, Niels H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European journal of soil science**, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996.

BATLLE-BAYER, Laura; BATJES, Niels H.; BINDRABAN, Prem S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: a review. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 137, n. 1-2, p. 47-58, 2010.

BERNER, K. B.; BERNER, R. A. Global Environmental: water, air and geochemical cycles. New Jersey, USA. **Practice Hall**, v. 376, 1996.

BERNOUX, Martial et al. Soil carbon sequestration. **Soil erosion and carbon dynamics**, p. 13-22, 2005.

BORENSTEIN, M. et al. **Introduction to metaanalysis**. Londres: Wiley, 2009. 421 p.

BRAZ, Sérgio P. et al. Soil carbon stocks under productive and degraded Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 3, p. 914-928, 2013.

CAMPOS, Liliane Pereira et al. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 304-312, 2013.

CARNEIRO, Marco Aurelio Carbone et al. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das emas, Goiás. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1857-1868, 2013.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 103, p.342-349, 2009.

CERRI, C. C.; ANDREUX, F.; EDUARDO, B. P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E. I. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed.). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira Ciência Solo, 1992. p. 73-90.

CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino et al. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. **Geoderma**, v. 123, n. 1-2, p. 51-68, 2004.

COLEMAN, David C.; CALLAHAM, Mac; CROSSLEY JR, D. A. **Fundamentals of soil ecology**. Academic press, 2017.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

COSTA JUNIOR, Ciniro et al. Carbono total e $\delta^{13}\text{C}$ em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1241-1252, 2011.

COSTA, Tancio Gutier Ailan et al. Dinâmica de Carbono do Solo em Unidade de Conservação do Cerrado Brasileiro sob diferentes fitofisionomias. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 4, p. 306-323, 2018.

DA SILVA, Adriano Bortolotti et al. Estoques de carbono no solo e em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Interciencia**, v. 38, n. 4, p. 286-291, 2013.

D'ANDRÉA, Alexandre Fonseca et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, p. 179-186, 2004.

DE FARIAS, Giuliana Mendonça; ZAMBERLAN, Carlos Otávio. Expansão da fronteira agrícola: impacto das políticas de desenvolvimento regional no centro-oeste brasileiro. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 2, n. 2, p. 58-68, 2014.

DE FIGUEIREDO, Eduardo Barretto; LA SCALA JR, Newton. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 141, n. 1-2, p. 77-85, 2011.

EGOH, Benis et al. Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. **Biological conservation**, v. 142, n. 3, p. 553-562, 2009.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, p.529-538, 1995.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1997. 212p.

FALLOON, Pete et al. Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 122, n. 1, p. 114-124, 2007.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69).

FIDALGO, E. C. C. et al. **Estoque de carbono nos solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

FONTES, LEF; FONTES, MPF. Os solos nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. **Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 61-69, 1996.

FREIXO, A. A. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 02, p. 425-434, 2002.

GATTO, Alcides. Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. 2005.

GIÁCOMO, Romulo Guimarães et al. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 617-631, 2015.

GONÇALVES, Jonas Rodrigo. Como escrever um Artigo de Revisão de Literatura. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 2, n. 5, p. 29-55, 2019.

GROTZINGER, John; JORDAN, Thomas H. Para Entender a Terra. 8 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2023.

HOLMES, Karen W. et al. Large-area spatially explicit estimates of tropical soil carbon stocks and response to land-cover change. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 20, n. 3, 2006.

HOLMES, Karen W. et al. Soil databases and the problem of establishing regional biogeochemical trends. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 796-814, 2004.

HOWARD, P. J. A., LOVELAND, P. J., BRADLEY, R. I., DRY, F. T., HOWARD, D. M., HOWARD, D. C. The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain. **Soil Use and Management**, v. 11, n. 1, p. 9-15, Mar. 1995.

INKOTTE, Jonas et al. Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado: uma revisão sistemática. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 988-1003, 2019.

JÚNIOR, Francisco Rubens Feitosa et al. Sistemas de manejo e parâmetros da matéria orgânica de um solo do cerrado baiano, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 298-312, 2019.

JUNIOR, Josué Luiz Marinho et al. Análise dos estoques de carbono no solo sob diferentes coberturas vegetais no Brasil. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 1, p. 031-040, 2020.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest ecology and management**, v. 220, n. 1-3, p. 242-258, 2005.

LAL, R. Global potential of carbon sequestration to mitigate the greenhouse effect. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 22, n. 2, p. 151-184, 2003.

LAL, R. The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. 2002.

LEITE, Luiz F.C. et al. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1257-1263, 2013.

LEITE, Luiz Fernando Carvalho et al. Estoques de C e de N e produtividade do milho sob sistemas de preparo e adubação nitrogenada em um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado piauiense. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2460-2466, 2009.

LEITE, Luiz Fernando Carvalho; IWATA, Bruna de Freitas; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira. Frações da matéria orgânica do solo no cerrado sob sistema agroflorestal no Nordeste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, p. 711-723, 2014.

MACHADO, Pedro LO de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, p. 329-334, 2005.

MANCIN, Cinthia Raquel et al. Organic matter in a dystroferric Red Latossol under no-tillage. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 2, p. 635-648, 2013.

MATIAS, Maria da Conceição Bezerra da Silva et al. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 517-521, 2009.

MORAIS, Vinícius Augusto et al. Estoques de carbono e biomassa de um fragmento de cerrado em Minas Gerais, Brasil. **Cerne**, v. 19, p. 237-245, 2013.

OLIVEIRA, A. M. **Resiliência e sequestro de carbono por floresta manejada na Amazônia Oriental-Vale do Jari**. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2021.

OLIVEIRA, Aparecida A. Análise dos impactos das políticas de desenvolvimento regional na Bacia do Alto Paraguai. **Ensaio e Ciências**, Campo Grande, v. 6, n. 3, p. 13-37, 2002.

OLIVEIRA, C. P de.; FRANCELINO, M. R.; DAHER, M.; LELES, P. S. S dos.; ANDRADE, C de. Comparação de modelos estatísticos para estimativa da biomassa de árvores, e estimativa do estoque de carbono acima do solo em Cerrado. **Ciência Florestal**. v.29, n. 1, p. 255-269, 2019.

OLIVEIRA, Elton Souza; BRAGA, AR dos S.; ROIG, Henrique Llacer. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. 2015.

OZÓRIO, Jefferson Matheus Barros et al. Estoque de carbono e agregação do solo sob fragmentos florestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)**, n. 53, p. 97-116, 2019.

PAIVA, Artur Orelli; REZENDE, Alba Valéria; PEREIRA, Reginaldo Sergio. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, p. 527-538, 2011.

PARRON, L. M.; RACHWAL, M. F. G.; MAIA, C. M. B. de F. Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais. 2015.

PEREIRA, Thiago Torres Costa; FIGUEIREDO, Luana de Padua Soares. Veredas do Triângulo Mineiro: estudos de solos e significância socioambiental. **Revista geográfica acadêmica**, v. 12, n. 2, p. 138-152, 2018.

PICKERING, C. M.; BYRNE, J. The benefits of publishing systematic quantitative literature reviews for PhD candidates and other early career researchers. **Higher Education Research and Development**, Londres, v. 33, p. 534-548, 2014.

PIVA, J. T. 2012. Fluxo de gases de efeito estufa e estoque de carbono do solo em sistemas integrados de produção no sub trópico brasileiro. Universidade Federal do Paraná.

PULROLNIK, Karina et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

RAWLS, W. J.; PACHEPSKY, Y. A.; RITCHIE, J. C.; SOBECKI, T. M.; BLOODWORT, H. Effect of soil carbon on soil water retention. **Geoderma**, Amsterdam, v. 116, n. 61-76, 2003.

REIS, Victor Roberto Ribeiro et al. Carbon stocks and soil organic matter quality under different of land uses in the maranhense amazon. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. 329, 2018.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.;

CAMARGO, F. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**, v. 1, p. 151-212, 2008.

ROMANOWSKI, Joana Paulin; ENS, Romilda Teodora. As pesquisas denominadas do tipo Estado da Arte em educação. **Revista diálogo educacional**, v. 6, n. 19, p. 37-50, 2006.

ROSENDO, Jussara dos Santos; ROSA, Roberto. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, p. 359-376, 2012.

ROSOLEN, Vania et al. Variações nos teores do C total e isotópico do solo após substituição do Cerrado em sistemas agrícolas no Triângulo Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 24, p. 157-167, 2012.

ROSSETTI, Karina de V.; CENTURION, José F. Estoque de carbono e atributos físicos de um Latossolo em cronosequência sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 252-258, 2015.

RUGGIERO, P. G. C.; PIVELLO, V. R. As relações entre a vegetação e o meio físico do cerrado Pé-de-Gigante—O Solo e a Comunidade Vegetal. **O cerrado Pé-de-Gigante: ecologia e conservação**. SMA, São Paulo, 2005.

SEBEN JUNIOR, Getulio de Freitas; CORÁ, José Eduardo; LAL, Rattan. Effect of cropping systems in no-till farming on the quality of a Brazilian Oxisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1268-1280, 2014.

SIGNOR, Diana et al. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1402-1410, 2014.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SOL, Paulino Joaquim Soares Neto et al. Propriedades físicas e carbono orgânico em camadas do solo sob diferentes usos e manejos nos cerrados do Oeste da Bahia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 8, p. 1-11, 2021.

SOUSA NETO, Eurico Lucas de et al. Physical quality of an Oxisol under an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 608-618, 2014.

SOUZA NUNES, Rafael de et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1407-1419, 2011.

SOUZA, Edicarlos Damacena de et al. Matéria orgânica e agregação do solo após conversão de "campos de murundus" em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1194-1202, 2016.

SOUZA, L. S.; MAFRA, A. L.; SOUZA, L. D.; SILVA, I. F.; KLEIN, V. A. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa: SBCS, 2019. p.193-243.

SOUZA, Leticia Helena Campos et al. Soil carbon and nitrogen stocks and physical properties under no-till and conventional tillage cotton-based systems in the Brazilian Cerrado. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 10, p. 3405-3412, 2018.

STOCKMANN, Uta et al. Global soil organic carbon assessment. **Global Food Security**, v. 6, p. 9-16, 2015.

SZAKÁCS, Gábor Gyula Julius. **Seqüestro de carbono nos solos-Avaliação das potencialidades dos solos arenosos sob pastagens, Anhembi-Piracicaba-SP**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2017.

TELLES, Tiago Santos et al. **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil**. Texto para Discussão, 2021.

TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B.; BETTANY, J.R. Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen, and phosphorus in grassland soils. **Agronomy Journal**, v.74, p.831- 835, 1982.

UCAR, University Corporation For Atmospheric Research. **Biogeochemical Cycles**. 2023. Disponível em: <https://scied.ucar.edu/learning-zone/earth-system/biogeochemical-cycles>. Acesso em: 18 jul. 2023.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.

WATSON, R. T. **Climate change 2001**: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University, 2001. 408 p.

WENDLING, Beno et al. Mudanças no carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos da matéria orgânica sob sistema agrossilvipastoril. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 641-653, 2011.

YEOMANS, Jane C.; BREMNER, John Michael. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

ZINN, Yuri L.; LAL, Rattan; RESCK, Dimas VS. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.