

RESPIRAÇÃO EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO

SOIL RESPIRATION IN DIFFERENT SOIL USE AND MANAGEMENT SYSTEMS

Railson Rosal de Sousa¹
Késia Laís Neri Coêlho Brauno²
Raimundo Laerton de Lima Leite³
Mauro Gomes dos Santos⁴
Leonardo Corrêa da Silva (*in memoriam*)⁵
Adriane Pereira Barros⁶

Área Temática 5: Meio ambiente, Mudanças climáticas e Sustentabilidade
Modalidade: Artigo Científico

Resumo

O solo armazena duas vezes mais carbono do que a atmosfera, desempenhando um papel crítico na regulação do dióxido de carbono (CO₂). Mudanças no uso da terra têm um impacto substancial nesse equilíbrio, com perdas substanciais de carbono dependendo das condições prévias, práticas de manejo e clima. A influência humana afeta os ciclos de carbono e nitrogênio, destacando a necessidade de estratégias de manejo para preservar áreas intocadas. A emissão de CO₂ é impulsionada por atividades como agricultura, desmatamento e queima de biomassa, enquanto mudanças no solo também afetam o estoque de carbono. Esse estudo objetivou quantificar um tipo de GEE (Gás de efeito estufa), o CO₂ através da respiração edáfica do solo de áreas de diferentes sistemas de manejo. O experimento foi conduzido em área pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Araguatins. Foi utilizado o delineamento experimental em arranjo fatorial 4 x 2, com cinco repetições, constando de quatro sistemas de manejo: área degradada, área de cultivo de cana de açúcar, área de cultivo de manga e SAF e dois períodos de avaliação (diurno e noturno). A variável analisada foi o desprendimento de CO₂ do solo convertido em mCO₂. A menor emissão de CO₂ no período noturno ocorreu no sistema de manejo T4 (SAF) possivelmente ocasionadas pelas menores temperaturas e atividade microbiana. Isto indica que diferentes sistemas de manejo podem influenciar as emissões de CO₂ de maneira distinta, e que as flutuações podem ocorrer de acordo com o período do dia.

Palavras-Chave: Solo, Respiração edáfica, Emissões de CO₂.

Abstract

The soil stores twice as much carbon as the atmosphere, playing a critical role in regulating carbon dioxide (CO₂). Changes in land use have a substantial impact on this balance, with substantial carbon losses depending on prior conditions, management practices, and climate. Human influence affects

¹ Especialista em Desenvolvimento Agropecuário Sustentável, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins; railson78@gmail.com

² Especialista em Desenvolvimento Agropecuário Sustentável, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins; keshner@gmail.com

³ Doutor em Ciência Animal e Tropical, Universidade Federal do Tocantins, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins; laerton.leite@ifto.edu.br

⁴ Doutor em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins; maurogomes@ifto.edu.br

⁵ Doutor em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins; leonardo.correa@ifto.edu.br

⁶ Especialista em Desenvolvimento Agropecuário Sustentável; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins; barros.adriane22@gmail.com

carbon and nitrogen cycles, highlighting the need for management strategies to preserve untouched areas. CO₂ emissions are driven by activities such as agriculture, deforestation, and biomass burning, while changes in the soil also affect the carbon stock. This study aimed to quantify a type of greenhouse gas (GHG), CO₂, through soil respiration in areas with different management systems. The experiment was conducted in area owned by the Federal Institute of Education, Science, and Technology of Tocantins - Araguatins Campus. An experimental design in a 4 x 2 factorial arrangement with five replications was used, consisting of four management systems: degraded area, sugarcane cultivation area, mango cultivation area, and agroforestry systems (SAF), and two evaluation periods (daytime and nighttime). The variable analyzed was the release of soil CO₂ converted into mCO₂. The lowest CO₂ emission during the nighttime occurred in the T4 management system (SAF), possibly due to lower temperatures and microbial activity. This indicates that different management systems can influence CO₂ emissions differently, and fluctuations may occur according to the time of day.

Key words: Soil, Edaphic Respiration, CO₂ Emissions.

1. Introdução

O solo é o principal depósito global de carbono, onde a matéria orgânica (MO) compreende de 55% a 60% de sua massa, sendo reconhecida como um dos maiores reservatórios do mundo, contendo entre 1.300 e 1.500 Pg de carbono nos primeiros metros da superfície (JACKSON *et al.*, 2017). Entre as diversas atividades humanas, as mudanças no uso da terra têm um impacto substancial sobre esse equilíbrio delicado.

Os principais processos responsáveis pelo sequestro de carbono nos solos são a humificação, agregação e sedimentação. Ao passo que os processos responsáveis pelas perdas de carbono no mesmo ambiente são a erosão, decomposição, volatilização e lixiviação (RUFINO, D. C. *et al.*, 2022). Os microrganismos desempenham um papel fundamental, atuando como decompositores de matéria orgânica no processo de decomposição e podem ser considerados bioindicadores da qualidade do solo, principalmente através da emissão de dióxido de carbono (CO₂), liberado a partir da respiração (SILVA, M. A. G., *et al.*, 2020).

A qualidade do solo e a dinâmica dos ecossistemas são influenciadas por uma rede intrincada de processos biológicos e ambientais. Os micro-organismos do solo desempenham um papel fundamental como bioindicadores de qualidade, permitindo avaliar a saúde do ecossistema. A avaliação dessa atividade é realizada através da medição da respiração edáfica, também conhecida como respiração basal ou atividade microbiana. Essa métrica quantifica a produção de dióxido de carbono (CO₂) como resultado direto dos processos metabólicos de decomposição da matéria orgânica (SILVA *et al.*, 2016; SOUZA *et al.*, 2010).

As modificações no uso da terra, como a prática de revolver o solo, resultam em modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, criando condições propícias para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (MOGES; DAGNACHEW; YIMER, 2013; KROEGER *et al.*, 2018). Além disso, a magnitude das emissões de GEE decorrentes das alterações no uso do solo é influenciada por fatores como temperatura, umidade, conteúdo de nitrogênio, carbono e a composição microbiana do solo (TAVANTI *et al.*, 2020).

Dessa forma, a transformação das áreas de vegetação nativa para atividades agrícolas no Brasil desempenha um papel fundamental nas emissões de CO₂, com práticas como a revirada do solo contribuindo para aumentar a exposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, a oxidação do carbono orgânico. Essas modificações no uso da terra resultam em mudanças nas propriedades do solo e interagem com fatores como temperatura e umidade, influenciando as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e destacando a complexa relação entre uso da terra, mudanças de uso da terra e emissões de CO₂ (QUINTÃO, J. M. B, *et al.*, 2021; MOGES; DAGNACHEW; YIMER, 2013; KROEGER *et al.*, 2018; TAVANTI *et al.*, 2020).

As condições climáticas, incluindo temperatura e umidade, têm um impacto direto na atividade microbiana e na dinâmica das emissões de CO₂ do solo. A cobertura vegetal desempenha um papel crucial na interação entre os microrganismos do solo e as condições climáticas. Além disso, as mudanças na cobertura da terra, como a perda de vegetação nativa, têm contribuído para as emissões de CO₂ no Brasil e em outros lugares, destacando a importância de considerar esses fatores ao analisar as flutuações nas emissões de CO₂ em diferentes ambientes (QUINTÃO *et al.*, 2021).

O solo, como um sistema dinâmico, está em constante troca com seu entorno. Alterações no estoque de carbono são influenciadas por diversos fatores, incluindo a taxa de decomposição do carbono orgânico do solo, modificações no microclima e na quantidade e qualidade do carbono circulante (PRIMIERY *et al.*, 2017). E, no âmbito das mudanças no uso da terra, há uma modificação integral das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Um exemplo claro é a substituição de ecossistemas naturais por agroecossistemas, resultante da introdução de

novas culturas agrícolas e práticas pecuárias, que ilustra como a intervenção humana molda a dinâmica dos ecossistemas (ARAÚJO *et al.*, 2022).

Esse estudo objetivou quantificar um tipo de GEE (Gás de efeito estufa), o CO₂ através da respiração edáfica do solo de áreas de diferentes sistemas de manejo.

2. Metodologia

2.1 Caracterização da localização do experimento

O experimento foi conduzido em área pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Araguatins, localizado no povoado Santa Tereza, km 5, Zona Rural, Araguatins – TO. As coordenadas geográficas são 05° 39' 00'' de latitude Sul, 48° 04' 25'' de longitude Oeste, com altitude de 103 m. O clima característico da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo Aw, caracterizado como clima quente com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação média anual é de 1500 mm, temperatura média de 27 °C (INMET, 2023). O experimento foi instalado nos dias 21 e 22 de junho de 2023, em quatro áreas: área degradada sem cultivo, área de cultivo de cana de açúcar, área de cultivo de manga e um Sistema agroflorestal (SAF).

A área degradada é caracterizada por um local com cobertura raleada e sem uso e manejo agrícola por muito tempo; a área de cultivo de cana-de-açúcar foi caracterizada por um plantio convencional de cana com seis meses de implantação, com pouca cobertura de solo; a área de cultivo de manga foi caracterizada por um plantio convencional e consolidado de manga, com cobertura de solo presente; o SAF foi caracterizado por um agroecossistema ecológico com algumas espécies vegetais como eucalipto, teca e banana, escolhido por já ser um manejo consolidado e possuir seu próprio microclima.

2.2 Delineamento experimental e tratamento

Para a determinação da respiração edáfica foi utilizado o delineamento DIC em esquema fatorial 4 x 2, com cinco repetições, constando de quatro sistemas de manejo: área degradada, área de cultivo de cana de açúcar, área de cultivo de manga e SAF e dois períodos de avaliação (diurno e noturno). A variável analisada foi o desprendimento de CO₂ do solo convertido em mCO₂.

2.3 Determinação da atividade microbiana por meio das emissões de CO₂ liberado do solo

Para determinar a atividade microbiana, foi empregado o método descrito por Grisi (1978), no qual o dióxido de carbono (CO₂) liberado a partir de uma área do solo foi capturado por uma solução de KOH 0,5 N e quantificado por meio de titulação com HCl 0,1 N. Para captar o CO₂ liberado pelo solo, cinco recipientes plásticos, cada um contendo 10 ml de solução de KOH 0,5 N, foram utilizados para cada área analisada. Durante cada intervalo de observação, um recipiente com solução permaneceu hermeticamente fechado no laboratório, servindo como controle.

Para assegurar avaliações precisas, as áreas do solo destinadas a cada medição de CO₂ foram previamente limpas de detritos orgânicos e vegetação rasteira, uma vez que esses elementos poderiam distorcer as medições. Posteriormente, os recipientes, após serem destampados, foram imediatamente cobertos com baldes plásticos de 6 litros de capacidade. Esses baldes, que possuem 28 cm de altura e 25 cm de diâmetro, abrangem uma área de 490,85 cm².

As bordas dos baldes foram enterradas com cerca de 3,0 cm de solo, de maneira que a solução estivesse em contato apenas com o ar proveniente do solo. Desse modo, o CO₂ liberado interagiu com a solução alcalina de hidróxido de potássio 0,5 N, estabelecendo um equilíbrio ácido-base no qual predominam os íons OH⁻ e CO₂⁻.

Após um período de avaliação de 12 horas, em dois períodos, o noturno (18h às 06h) e o período diurno (06h às 18h), os recipientes com solução foram transportados para o Laboratório de Solo do IFTO - Campus Araguatins, permanecendo fechados hermeticamente para evitar trocas gasosas com o ambiente.

Na sequência, as amostras foram tituladas com HCl 0,1 N. Como indicadores, a fenolftaleína e o alaranjado de metila 1% foram empregados (Figura 3), de acordo com a metodologia utilizada por Morita e Assumpção (1993). O frasco de controle também passou por todas as etapas do procedimento.

A quantidade de CO₂ liberada por unidade de área e tempo foi calculada considerando o total de CO₂ liberado durante o período de exposição na área (obtido por titulação) e a área do balde. A equação seguinte foi empregada para essa finalidade:

$$mCO_2 = [352 \times (DVA - DVC) \times NB \times NA / 3 \times P \times AB] \times 10^4$$

onde:

$$mCO_2 = \text{massa de } CO_2 \text{ em } mg \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

DVA = diferença de volume de HCl gasto na primeira e segunda etapa da titulação da amostra (ml).

DVc = diferença de volume de HCl gasto na primeira e segunda etapa da titulação do controle (ml).

NA = concentração de HCl, em n-eq/L.

NB = concentração de KOH, em n-eq/L.

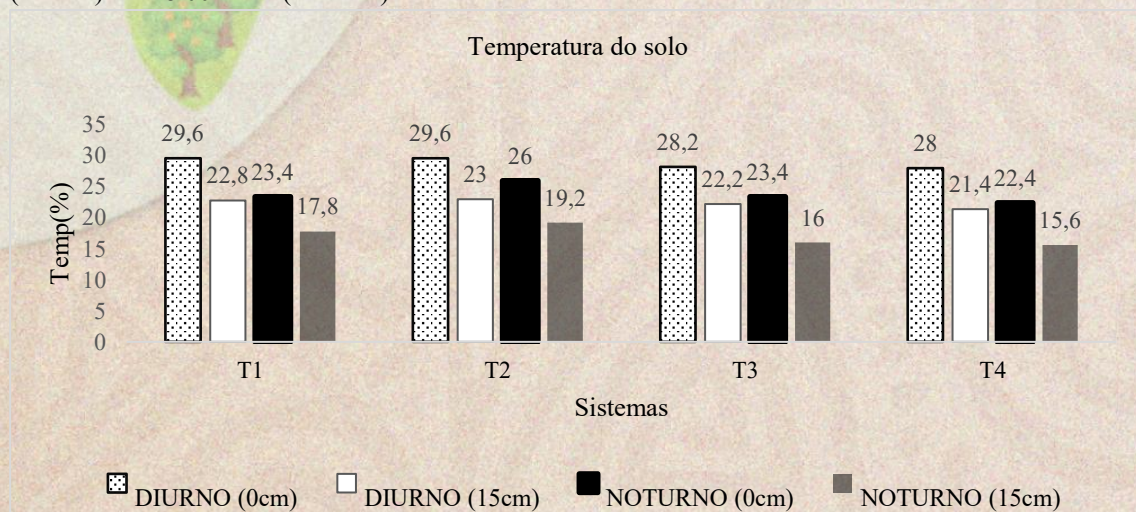
P = período de permanência da amostra no solo (horas)

B = área de abrangência do balde (cm²)

2.4 Temperatura do solo

A temperatura do solo foi medida na superfície do solo e a 10 cm de profundidade com auxílio de termômetro digital do tipo espeto. As medições foram feitas em dois momentos distintos: às 18:00 horas para o turno diurno e às 06:00 horas durante o turno noturno, em todos os tratamentos. T1: Área degradada, T2: Cultivo de cana-de-açúcar, T3: Cultivo de manga, T4: SAF encontram-se na (Figura 1).

Figura 1 - Dados de temperatura coletados na superfície 0 cm e a 10 cm de profundidade no solo às 06:00 horas (Diurno) e às 18:00 horas (Noturno)



Fonte: Autores (2023).

2.5 Análise estatística

Os dados das variáveis coletados foram tabelados em planilhas eletrônicas com Excel e Calc-LibreOffice e posteriormente submetidos a análise de variância e as medias pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa estatístico Sisvar®.

3. Resultados/Discussões

Os resultados da tabela a seguir mostram as variações nas emissões de CO₂ nos diferentes sistemas de manejo ao longo dos períodos diurno e noturno. As diferenças observadas sugerem que os sistemas de manejo, bem como o período avaliado impactam de forma distinta as emissões de CO₂, o que pode ser relevante para a compreensão das atividades microbianas no solo. A tabela apresenta ainda o coeficiente de variação (CV) de 15,89%, que representa a variabilidade dos dados em relação à média.

Quando comparamos as emissões de CO₂ entre os períodos (Tabela 1), verifica-se que não ocorreram diferenças significativas nos tratamentos T1 e T2. Em relação aos tratamentos T3 e T4 percebe-se maiores emissões de CO₂ no período diurno. Santos, *et al* (2023) observou que as maiores quantidades de CO₂ liberadas podem ser notadas durante o período diurno, quando as temperaturas estão mais altas. Portanto, seria essencial considerar outras variáveis para uma análise abrangente, uma vez que a interdependência ambiental é influenciada por diversos fatores. Gomes *et al.* (2021) verificaram a influência dos padrões de manejo do solo na velocidade de liberação de CO₂ no solo. Conforme apontado por esses pesquisadores, as emissões de CO₂ apresentam um aumento proporcional ao incremento da temperatura do solo, destacando-se uma tendência para maiores taxas de liberação durante o dia.

Ao se comparar os sistemas dentro de cada período avaliado, percebe-se que não ocorreram diferenças significativas no período diurno. Ao analisar as emissões de CO₂ no período noturno percebe-se que o tratamento T4 (SAF) com desprendimento de 65,45 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, foi constatado diferença estatística em relação aos demais, apresentando menor emissão neste sistema. De acordo com Araújo *et al.* (2016), áreas mais antropizadas com ausência de cobertura permite uma maior incidência de raios solares aumentando a mineralização da matéria orgânica e consequentemente maior atividade microbiana e maior liberação de CO₂.

Tabela 1 - Valores médios de CO₂ (mg CO₂ m⁻² h⁻¹) emitidos nos sistemas de manejo T1, T2, T3 e T4, (junho de 2023).

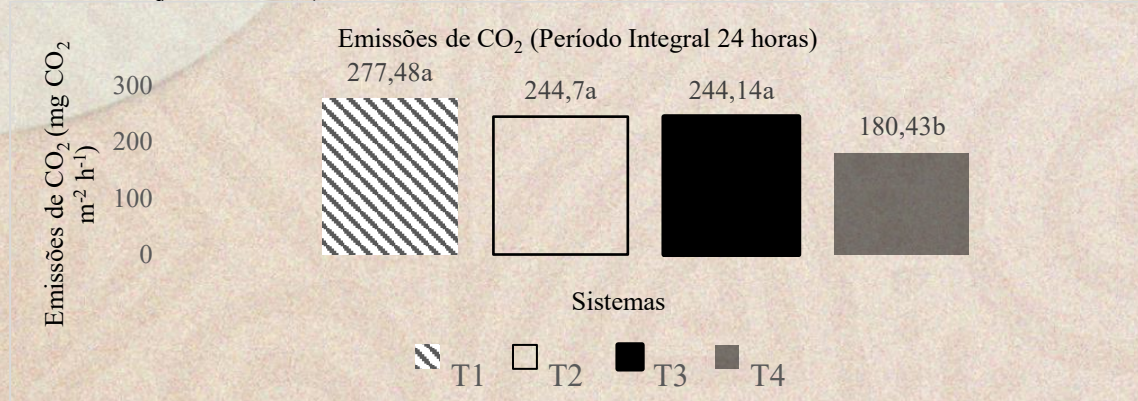
PERÍODO	SISTEMAS			
	T1	T2	T3	T4
Diurno	132,86Aa	134,09Aa	138,69Aa	114,98Aa
Noturno	144,57Aa	110,61Ba	105,45Bb	65,45Cb
CV (%)	15,89			

Médias seguidas de letras distintas, maiúsculas na linha (sistemas) e minúsculas na coluna (períodos), diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), T1 = Área degradada; T2 = Cana-de-açúcar; T3 = Manga; T4 = SAF;

Ao analisar as emissões de CO₂ durante o período de 24 horas, que seria a totalização de todo o período avaliado, podemos observar (Figura 2) que o T4 (SAF) teve o menor desprendimento de CO₂ do solo com cerca de 180,43 mg CO₂ m⁻² h⁻¹, em relação aos demais. Isso ocorreu pelo fato de que o tratamento T4 por ser um SAF, possui um microclima e outras características que traz um equilíbrio para o sistema. Fonseca *et al.* (2019) em um estudo onde avaliou a taxa de evolução de CO₂ nos experimentos envolvendo quatro sistemas distintos mostrou uma variação significativa em relação às horas do dia e à temperatura.

No contexto do Sistema Agroflorestal (SAF), observou-se que a liberação de CO₂ foi mínima em temperaturas mais baixas, mas aumentou consideravelmente conforme as temperaturas se elevaram. Isso sugere uma correlação positiva entre a atividade microbiana e temperaturas mais altas, indicando uma tendência de maior atividade em ambientes com temperaturas superiores. Essa descoberta aponta para a existência de uma faixa de temperatura específica na qual esses micro-organismos possivelmente estão mais adaptados e ativos.

Figura 2 - Valores médios de CO₂ (mg CO₂ m⁻² h⁻¹) emitidos no período de 24 horas nos sistemas de manejo T1, T2, T3 e T4, (junho de 2023)



Fonte: Autor (2023). T1 = Área degradada; T2 = Cana-de-açúcar; T3 = Manga; T4 = SAF.

4. Considerações Finais

Foi observado que as emissões de CO₂ variaram entre os sistemas de manejo e, também entre os períodos diurno e noturno. No período diurno todos os sistemas apresentaram emissões iguais enquanto no período noturno, ocorreram diferenças significativas entre eles.

A menor emissão de CO₂ no período noturno ocorreu no sistema de manejo T4 (SAF) possivelmente ocasionadas pelas menores temperaturas e atividade microbiana.

Os resultados obtidos sugerem que os sistemas de manejo têm um papel crucial na determinação das emissões de CO₂ do solo, com variações observadas entre os sistemas e períodos. A interação entre esses fatores também demonstra a complexidade das atividades metabólicas no solo e como elas podem ser influenciadas por diferentes condições.

Adicionalmente, seria proveitoso conduzir estudos sobre a cinética do CO₂, a fim de compreender a flutuação em curtos períodos ao longo do dia.

5. Referências Bibliográficas

ARAUJO, K. D., *et al.* (2016). Atividade microbiana no solo em diferentes ambientes da região semiárida de Alagoas. **Geografia (Londrina)**, 25(2), 5-18.

ARAÚJO, M. B. *et al.* Respiração edáfica em diferentes sistemas de uso e manejo do solo em um Brejo de Altitude no Agreste Paraibano. **Revista Principia**, João Pessoa, v.59, n.3, p.1081–1096, 2022. ISSN (on-line): 2447- 9187.

FONSECA, W. B.; BARROS, E. S.; BARBOSA, A. S. Efluxo do dióxido de carbono (CO₂) em sistemas de uso e manejo do solo. Anais I CONIMAS e III CONIDIS. Campina Grande: **Realize Editora**, 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63491>>. Acesso em: 30/08/2023.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTA0NA> acessado em 08 de agosto de 2023.

JACKSON, R. B., *et al.* The Ecology of Soil Carbon: Pools, Vulnerabilities, and Biotic and Abiotic Controls. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. v. 48, p. 419-445, 2017.

KROEGER, M. E. *et al.* New Biological Insights Into How Deforestation in Amazonia Affects Soil Microbial Communities Using Metagenomics and Metagenome-Assembled Genomes. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, p. 1635, 2018.

MOGES, A.; DAGNACHEW, M.; YIMER, F. Efeitos do uso da terra nos indicadores de qualidade do solo: um estudo de caso de Abo-Wonsho Sul da Etiópia. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2013, 2013.

PRIMIERI, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, 2017; 24: e00110314.

QUINTÃO, J. M. B., *et al.* Mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil, emissões de GEE e políticas em curso. **Cienc. Cult.** vol.73 no.1 São Paulo Jan./Mar. 2021 pp.18-24. ISSN 0009-6725. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602021000100004>.

RUFINO, D. C., *et al.* Estoque de carbono do solo em agroecossistemas e vegetação secundária. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, e545111133840, 2022.

SANTOS, G. R., *et al.* Avaliação das emissões de CO₂ do solo em ambientes de caatinga, em alagoas. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia v. 24, n. 94 ago./2023 p. 164–179

SILVA M. K. A.; ROSA, R. Aquisição de Dados Espaciais e Acesso a Novas Tecnologias para Estudos Hidrometeorológicos. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 1278-1290, 2016. Disponível em: < <http://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/issue/view/115>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

SILVA, M. A. G., *et al.* Ensaio de respiração edáfica para avaliar o efeito de temperatura e umidade do solo como variáveis climáticas na emissão de CO₂ em espodossolo. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 16 – Vol. 27 – jul/dez 2020.

SOUZA, E. D. *et al.* Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 79-88, 2010.

TAVANTI, R.F. R., *et al.* What is the impact of pasture reform on organic carbon compartments and CO₂ emissions in the Brazilian Cerrado. **Catena**, v. 194, 104702, 2020.