



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS ARAGUANTINS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO
SUSTENTÁVEL

RAILSON ROSAL DE SOUSA

**RESPIRAÇÃO EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO DO
SOLO**

**Araguatins – TO
2023**

RAILSON ROSAL DE SOUSA

**RESPIRAÇÃO EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO DO
SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Desenvolvimento Agropecuário Sustentável do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Tocantins – IFTO / *Campus* Araguatins, como exigência à obtenção do título de Especialista em Desenvolvimento Agropecuário Sustentável.

Orientador: Prof. Drº. Raimundo Laerton de Lima Leite

**Araguatins – TO
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S725r Sousa, Railson Rosal de
 Respiração edáfica em diferentes sistemas de uso e manejo do
 solo / Railson Rosal de Sousa. – Araguatins, TO, 2023.
 31 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em
Desenvolvimento Agropecuário Sustentável) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Araguatins,
Araguatins, TO, 2023.

Orientador: Dr. Raimundo Laerton de Lima Leite

1. Solo. 2. Respiração Edáfica. 3. Emissões de CO2. I. Leite,
Raimundo Laerton de Lima. II. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Desenvolvimento Agropecuário Sustentável

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “RESPIRAÇÃO EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO DO SOLO”

AUTOR: **Railson Rosal de Sousa**

ORIENTADOR: **Professor Dr. Raimundo Laerton de Lima Leite**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Desenvolvimento Agropecuário Sustentável.

Aprovado em 27 de setembro de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Raimundo Laerton de Lima Leite, Membro**, em 27/09/2023, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mauro Gomes dos Santos, Membro**, em 27/09/2023, às 14:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Correa da Silva, Membro**, em 28/09/2023, às 13:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftoc.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2109023** e o código CRC **F985D31F**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial, em minha vida, autor de meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia, a minha mãe Raimunda Nonata dos Santos Rosal por me apoiar nas horas boas e ruins, e a minha família por estar sempre presente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por conceder-me o dom da vida e a iluminação do conhecimento durante minha vida.

A minha mãe Raimunda Nonata dos Santos Rosal e minha família, por ser minha base durante esse trajeto, pelo incentivo do estudo e apoio nas dificuldades.

Ao professor Raimundo Laerton de Lima Leite, por me orientar na execução, pelo apoio, confiança, dedicação e disponibilidade para a elaboração deste trabalho.

Ao coordenador do curso e professor Leonardo Corrêa da Silva, pela disponibilidade e sempre ajudar a turma de todas as formas na missão de concluir o curso.

A todos os professores do IFTO – *Campus Araguatins*, pelos valiosos conhecimentos transmitidos, pela sincera amizade e apoio durante o curso.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.

(Antoine Lavoisier)

RESUMO

O solo armazena duas vezes mais carbono do que a atmosfera, desempenhando um papel crítico na regulação do dióxido de carbono (CO_2). 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 CO_2 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 CO_2 através da respiração edáfica do solo de áreas de diferentes sistemas de manejo. O experimento foi conduzido no em área pertencente ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – *Campus Araguatins*. Foi utilizado o delineamento experimental em arranjo fatorial 4×2 , 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 CO_2 do solo convertido em mCO_2 . A menor emissão de CO_2 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 CO_2 de maneira distinta, e que as flutuações podem ocorrer de acordo com o período do dia.

Palavras-chave: Solo. Respiração edáfica. Emissões de CO_2 .

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 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 an 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.

Keywords: Soil. Edaphic respiration. CO₂ emissions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Dados de temperatura coletados na superfície 0 cm e a 15 cm de profundidade no solo às 06:00 horas (Diurno) e às 18:00 horas (Noturno).....	21
Figura 2 - Valores médios de CO ₂ (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹) emitidos no período de 24 horas nos sistemas de manejo T1, T2, T3 e T4, (junho de 2023)	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios de CO ₂ (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹) emitidos nos sistemas de manejo T1, T2, T3 e T4, (junho de 2023).....	22
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Ciclo do Carbono e Emissões de CO₂.....	14
2.1.1 Conceito de Ciclo do Carbono.....	14
2.1.2 Papel do CO ₂ como Gás de Efeito Estufa.....	15
2.2 Fatores que Influenciam as Emissões de CO₂.....	15
2.2.1 Uso da Terra e Mudanças de Uso da Terra	15
2.2.2 Condições Climáticas e Microclima.....	17
2.2.3 Tipo de Vegetação e Cobertura do Solo	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Caracterização da localização do experimento	18
3.2 Delineamento experimental e tratamento	19
3.3 Determinação da atividade microbiana por meio das emissões de CO₂ liberado do solo.....	19
3.4 Temperatura do solo	21
3.4 Análise estatística	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	21
5. CONCLUSÕES	23
REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

Os solos abrigam uma quantidade de carbono cerca de duas vezes maior do que a atmosfera (IPCC, 2007). Como resultado, a interação entre as entradas e saídas de carbono orgânico do solo desempenha um papel crítico na determinação da concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Entre as diversas atividades humanas, as mudanças no uso da terra têm um impacto substancial sobre esse equilíbrio delicado. Lal (2006) observa que a magnitude das perdas de carbono pode variar significativamente, abrangendo uma faixa de 25% a 75%, dependendo das condições prévias de uso da terra, práticas de manejo e padrões climáticos. Portanto, para enfrentar efetivamente a mudança climática, é imperativo aprofundar nossa compreensão dos efeitos do uso da terra no balanço global de carbono terrestre.

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 (CO_2) como resultado direto dos processos metabólicos de decomposição da matéria orgânica (SILVA et al.; SOUZA et al., 2010).

A influência humana nas paisagens naturais acarreta mudanças significativas nos ciclos de elementos cruciais para o funcionamento dos ecossistemas, como o carbono e o nitrogênio. Essas modificações enfatizam a importância do desenvolvimento de estratégias de manejo, visando à preservação de áreas intocadas e recuperação de regiões degradadas (MOREIRA, 2013). No entanto, o impacto humano não se restringe apenas à cobertura vegetal; as práticas de preparo do solo também desempenham um papel fundamental ao influenciar diretamente o estoque de carbono, alterando as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica (POST & KWON, 2000).

Essa complexidade se reflete na variação das formas de sequestro, fluxo e estoque de carbono, que ocorrem de maneira diferenciada em cada agroecossistema, região ecológica e conforme o manejo adotado (LOSS et al., 2013). Contudo, parte significativa desse processo ocorre abaixo da superfície, onde os microorganismos heterotróficos desencadeiam a produção de CO_2 através da decomposição aeróbica

da matéria orgânica e restos de plantas, sendo parte do CO₂ também proveniente da atividade respiratória intrínseca do solo (PAUL e CLARK em 1996, citados por COSTA e BAYER em 2008). Em resumo, o CO₂ presente no solo é uma consequência direta da respiração edáfica realizada pelos microrganismos.

À medida que a preocupação global com as mudanças climáticas se intensifica, os efeitos dessas transformações ganham destaque. O rápido desenvolvimento rural e as atividades urbanas em grande escala têm levado ao aumento da concentração de gases de efeito estufa, como o CO₂. A emissão desse gás é impulsionada por diversas atividades humanas, incluindo a gestão de terras agrícolas, desmatamento, queima de biomassa, cultivo de arroz irrigado, criação de ruminantes e queima de combustíveis fósseis (COSTA et al., 2008).

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. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ciclo do Carbono e Emissões de CO₂

2.1.1 Conceito de Ciclo do Carbono

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).

O ciclo do carbono, cujo ciclo biológico ocorre principalmente na biosfera, está intrinsecamente vinculado aos processos de respiração dos organismos vivos e à fotossíntese realizada pelas plantas. Através da fotossíntese, as plantas retiram o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e o convertem em biomassa. Essa biomassa

serve como fonte de alimentação para animais herbívoros e carnívoros. Posteriormente, após a morte desses animais e das plantas, ambos passam pelo processo de decomposição realizado por organismos decompositores (HALL, 1989; FRIEDLINGSTEIN, 2006).

Dentro dos ecossistemas terrestres, a principal dinâmica de troca de carbono entre a superfície terrestre e a atmosfera deriva diretamente das operações de fotossíntese e respiração. Através da fotossíntese, a energia radiante é capturada e subsequente convertida em formas de energia com ligações químicas. Durante o procedimento de assimilação do carbono, ocorrem diversos processos, incluindo reações fotoquímicas (guiadas pela luz), reações enzimáticas (independentemente da radiação), e também as trocas de CO_2 e O_2 por difusão entre o cloroplasto e a atmosfera (OWEN et al., 1978; SLEEP; ZAHNLE, 2001; CÂNDIDO et al., 2014).

2.1.2 Papel do CO_2 como Gás de Efeito Estufa

Na atmosfera, o dióxido de carbono (CO_2), juntamente com outras moléculas, desempenha um papel significativo no fenômeno do efeito estufa. A energia solar é inicialmente refletida pela superfície terrestre e, durante esse processo, é convertida em um comprimento de onda que é mais propenso a ser absorvido pelos gases de efeito estufa (GEEs), retendo assim o calor na atmosfera em vez de permitir que ele se dissipe para o espaço. A participação específica do CO_2 na intensificação do efeito estufa oscila entre 10% e 25%, uma variação que está sujeita à localização geográfica, posicionando-o imediatamente após o vapor de água em termos de impacto (NIBERT; GROPENGIESSER, 2014).

2.2 Fatores que Influenciam as Emissões de CO_2

2.2.1 Uso da Terra e Mudanças de Uso da Terra

No Brasil, as alterações no uso e cobertura do solo têm um impacto significativo nas emissões de CO_2 , sendo a conversão para atividades agrícolas uma força motriz na transformação das áreas de vegetação nativa. Nas últimas décadas, o país emergiu como um protagonista na exportação de commodities agrícolas. Contudo, em certos biomas, a produção frequentemente está ligada à degradação ambiental. Após um período em que a nação foi reconhecida internacionalmente e houve otimismo quanto à sua capacidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE), a direção da governança ambiental adotada pelo Brasil chamou a atenção de

organizações da sociedade civil e da comunidade científica, tanto em âmbito nacional quanto internacional, especialmente a partir de 2019 (QUINTÃO, J. M. B, et al, 2021).

Quando se aborda de forma específica as mudanças na utilização do solo, as emissões de dióxido de carbono (CO_2) originam-se principalmente de modificações nas proporções das várias frações da matéria orgânica (MO) presente no solo, envolvendo sua qualidade, adição ou remoção, além da fertilidade do solo (YANG et al., 2017).

A prática de revolver o solo, frequentemente realizada em diversas atividades associadas à mudança de uso da terra, pode contribuir para a emissão de dióxido de carbono (CO_2), uma vez que ela provoca a desintegração dos agregados do solo, o que aumenta a aeração do mesmo (MOGES; DAGNACHEW; YIMER, 2013). Essa perturbação leva a uma maior exposição da matéria orgânica (MO), possibilitando uma intensificação da oxidação do carbono orgânico pelo metabolismo microbiano no solo, resultando em uma produção ampliada de CO_2 (JACKSON et al., 2017; SAMSON et al., 2021).

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 CO_2 , 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 CO_2 (QUINTÃO, J. M. B, et al, 2021; YANG et al., 2017; MOGES; DAGNACHEW; YIMER, 2013; KROEGER et al., 2018; TAVANTI et al., 2020).

2.2.2 Condições Climáticas e Microclima

A temperatura representa um dos elementos que exerce um impacto considerável na atividade dos microrganismos presentes no solo. Ela desempenha um papel fundamental no progresso desses microrganismos, acelerando ou desacelerando as atividades biológicas no solo (SOUTO, 2002).

A variação nos fatores climáticos, especialmente umidade e temperatura, teve um impacto significativo no desenvolvimento microbiano, assim como nas consequências que essas flutuações provocaram na cobertura vegetal, conforme indicado por Cattelan e Vidor em um estudo (1990). A pesquisa demonstrou que, devido às temperaturas mais baixas, a atividade microbiana durante o inverno foi inferior em comparação com a primavera e o verão (TREVISAN et al., 2002), evidenciando que as condições climáticas desempenham um papel notável na dinâmica das emissões de CO₂ do solo (SINGH e GUPTA, 1977).

No Brasil, as emissões de GEE, principalmente CO₂, estão intimamente relacionadas à importância da vegetação nativa como reservatório de carbono. O país ocupa a segunda posição considerando os que possuem as maiores áreas de florestas do mundo, atrás da Rússia. E é o primeiro quando se consideram apenas florestas tropicais. No entanto, entre 2010 e 2015, o Brasil foi um dos países que mais sofreu perdas significativas em sua cobertura florestal, sendo que em 2019, o setor de mudança no uso e cobertura da terra representou a maior fonte de emissões de CO₂ (60% das emissões totais de CO₂ do país) (QUINTÃO et al, 2021).

Portanto, 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).

2.2.3 Tipo de Vegetação e Cobertura do Solo

A utilização e a cobertura do solo desempenham um papel essencial na configuração do ambiente em níveis global, regional e local. Alterações na utilização

e cobertura do solo exercem influência sobre a variedade biológica (SALAS et al., 2000).

A conversão da vegetação nativa, que engloba as fitofisionomias florestais, campestres e savanas, para usos antrópicos como agricultura e pecuária, tem um impacto direto no ciclo do carbono. A cobertura vegetal nativa absorve e armazena o CO₂, o gás de efeito estufa mais significativo (GEE), acumulando carbono (C) tanto na biomassa das plantas quanto no solo. Isso resulta na preservação da biodiversidade e na oferta de serviços ecossistêmicos, como a regulação climática e o fornecimento de água (QUINTÃO et al, 2021).

A remoção da vegetação deixa o solo desprotegido, o que acelera a decomposição da matéria orgânica do solo e provoca a liberação de CO₂ na atmosfera. Além disso, a remoção da vegetação causa erosão e lixiviação do solo, levando à redução da recarga dos aquíferos. O emprego frequente do fogo, muitas vezes utilizado para "limpar" áreas recentemente desmatadas com o intuito de estabelecer pastagens ou terras agrícolas, gera a emissão de CO₂ e outros gases de efeito estufa (GEEs). Isso, por sua vez, acarreta em mudanças no estoque de carbono na biomassa ao substituir a vegetação nativa por novas coberturas ou usos do solo, como é o caso dos cultivos agrícolas (QUINTÃO et al, 2021).

Esses processos interligam-se diretamente com o tipo de vegetação e a cobertura do solo, evidenciando o elo crucial entre as escolhas de uso da terra e as consequências para o ciclo de carbono. A conversão da vegetação nativa para fins agrícolas e pecuários altera o balanço do carbono, liberando CO₂ na atmosfera devido à remoção da vegetação e a aceleração da decomposição da matéria orgânica do solo. Além disso, práticas como o uso do fogo para limpar áreas desmatadas ou a aplicação de fertilizantes contribuem para a emissão de gases de efeito estufa (GEEs), aumentando a complexidade do impacto humano nas emissões de CO₂ (QUINTÃO et al, 2021; SALAS et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da localização do experimento

O experimento foi conduzido no setor 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.

3.2 Delineamento experimental e tratamento

Para a determinação da respiração edáfica foi utilizado o delineamento em blocos inteiramente casualizados (DIC) 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

3.3 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 titulados 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 = massa de CO₂ em mg m⁻² 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.

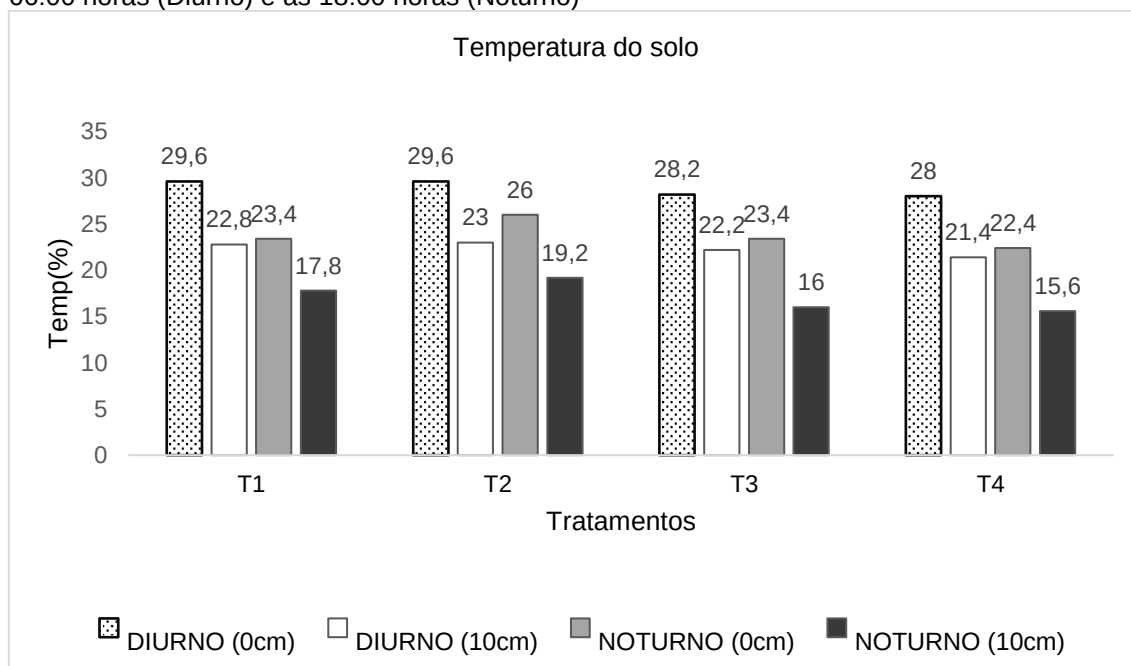
P = período de permanência da amostra no solo (horas)

B = área de abrangência do balde (cm²)

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

3.4 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® (FERREIRA, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da tabela 1 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.

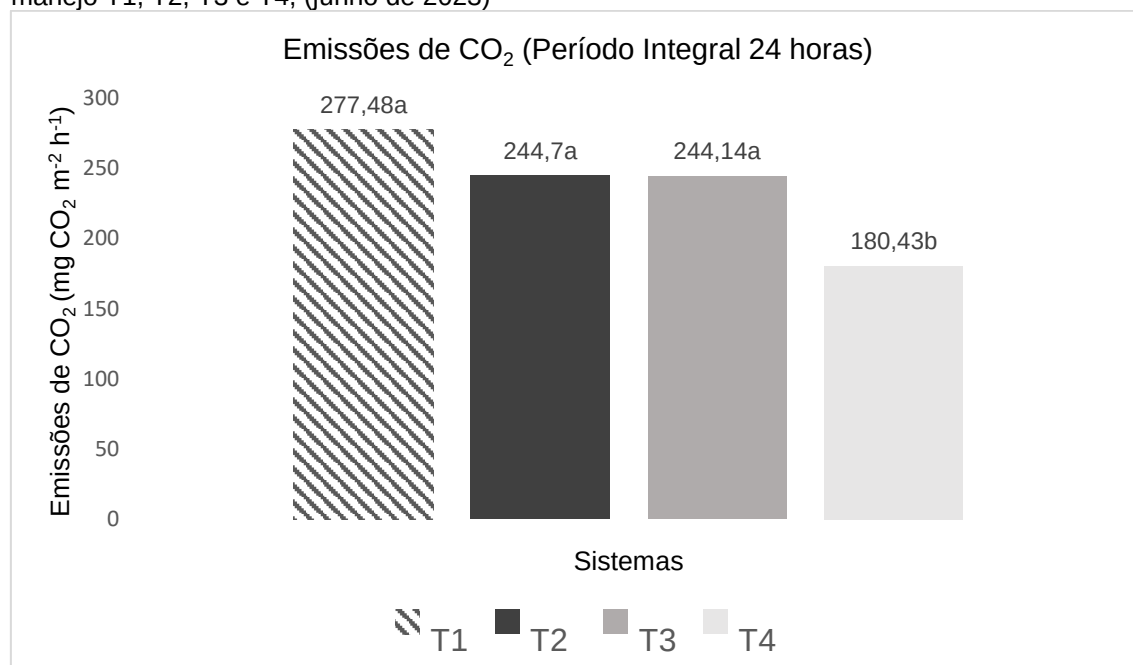
Tabela 1 - Valores médios de CO₂ (mg CO₂ m⁻² h⁻¹) emitidos nos sistemas de manejo T1, T2, T3 e T4, (junho de 2023).

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.

5. CONCLUSÕES

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.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. B.; BARBOSA, A. S.; MELO, T. S.; SOUZA, V. C.; SILVA, J. H. C. S. 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.
- ARAUJO, K. D., SOUZA, M. A., SANTOS, G. R., ANDRADE, A. P. & FERREIRA NETO, J. V. F. (2016). Atividade microbiana no solo em diferentes ambientes da região semiárida de Alagoas. **Geografia (Londrina)**, 25(2), 5-18.
- BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. S.; CARVALHO, P. C. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. VII, p. 55-118, 2011.
- CÂNDIDO, L. A.; SOUZA, R.V.A.; MONTEIRO, M.T.F.; MANZI, A.O.; LUIZÃO, F.J.; SARAGOUSSI, M. **Desvendando a Ciência do Clima**. Livreto projeto PRONEX/FAPEAM- Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA, Manaus-AM, 2014.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/>.
- CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.133-142, 1990.
- COSTA, F.S; ZANATTA, J. A; BAYER C. Emissões de Gases de Efeito Estufa em Agroecossistemas e Potencial de Mitigação. In: Santos, G.A.; Silva, L.S; CANELLA, L.P CAMARGO, F.A.O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica dos solos**. 2. Ed. Porto Alegre: Métropoles, 2008.
- 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.
- IPCC. **Intergovernmental Panel Climate Change – Climate change 2007: the physical science basis – contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Paris; 2007 [cited 2013 oct 23]. Available from: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.html>
- IPCC, Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2014.
- JACKSON, R. B.; LAJTHA, K.; CROW, S. E.; HUGELIUS, G.; KRAMER, M. G.; PIÑEIRO, G. 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.

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.

FRIEDLINGSTEIN, P. Climate-carbon cycle feedback analysis, results from the C4MIP model intercomparison. **J. Climate**, v. 19, p. 3337-3353, 2006.

HALL, D. O. et al. Carbon flows in the biosphere: present and future. **Journal Of The Geological Society**, [s.l.], v. 146, n. 1, p.175-181, 1 fev., 1989.

KROEGER, M. E.; DELMONT, T. O.; EREN, A. M.; MEYER, K. M.; GUO, J.; KHAN, K.; RODRIGUES, J. L. M.; BOHANNAN, B. J. M.; TRINGE, S. G.; BORGES, C. D.; TIEDJE, J. M.; TSAI, S. M.; NÜSSLEIN, K. 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.

MATA, M. V. M.; HOELZEMANN, J. J.; SOUSA NETO, E. R.; AGUIAR, A. P. D.; VIEIRA, R. M. S. P.; ASSIS, T. O.; OMETTO, J. P. H. B. Emissões de CO₂ Provenientes de uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.1.p144-155>

MOREIRA, M. M. 52 f. Estoque de carbono e nitrogênio em áreas de vegetação nativa e antropizada no município de Irecê. Dissertação (Mestrado em solos e qualidade de ecossistemas) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, **Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas**, 2013.

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.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P. J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A. **Em Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University Press: Cambridge, 2001, 95p.

NIBERT, K.; GROPENGIESSER, H. Understanding the greenhouse effect by embodiment – Analysing and using students' and scientists' conceptual resources. **International Journal of Science Education**, 36(2), 277-303, 2014.

LAL, R. Soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C.C., BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E.; editores. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth Press; 2006.

LOSS, ARCÂNGELO; PEREIRA, MARCOS G.; BEUTLER, SIDINEI J.; PERIN, ADRIANO; ANJOS, LÚCIA H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas de plantio direto e de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Rev. Cienc. Agrar.**, v.

55, 2012, n. 4, p. 260-268. Obtido em:
<<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/rca.2012.066>>

PRIMIERY, 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.

POST, W. M.; KWON, K. C. Soil Carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. **Global Change Biology**, v.6, p.317-327, 2000.

SALAS, W. A.; DUCEY, M. J.; RIGNOT, E.; SKOLE, D. Assessment of JERS-1 SAR for monitoring secondary vegetation in Amazonia: I. Spatial and temporal variability in backscatter across a chrono-sequence of secondary vegetation stands in Rondônia. **International Journal of Remote Sensing**, 23(7): 1357-1379, 2002.

SANTOS, G. R.; ARAUJO, K. D.; SOUZA, M. A.; JÚNIOR, S. A. M. G. 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

SAMSON, M. E.; CHANTIGNY, M.H.; VANASSE, A; MENASSERI-AUBRY, S.; ROYER, I.; ANGERS, D.A. Management practices differently affect particulate and mineral-associated organic matter and their precursors in arable soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 148, p. 107867 .2020.

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.

SINGH, J. S.; GUPTA, S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. **Botan. Rev.**, n. 43, p. 449-528, 1977.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. 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.

SOUTO, P. C. Estudo da dinâmica de decomposição de esterco na recuperação de solos degradados no semi-árido paraibano. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – **Universidade Federal da Paraíba**, Areia, 2002. 110 p.

SLEEP, N. H.; ZAHNLE, K. Carbon dioxide cycling and implications for climate on ancient Earth. **Journal Of Geophysical Research**, v. 106, p.1373-1399, 25 jan. 2001.

OWEN, T.; CESS, R. D. Enhanced CO₂ Greenhouse to Compensate for Reduced Solar Luminosity on Early Earth. **Nature**, Stony Brook, New York, v. 277, n. 1, p. 640-642, 13 dez. 1978.

TAVANTI, R.F.R.; MONTARINI, R.; PANOSSO, A.R.; SCALA JR, N.L.; NETO, M.C.; FREDDI, O.D.A.S.; GAZÁLES, A.P.; CARVALHO. M.A.C.; SOARES, M.B.; TAVANTI,

T.R.; GALINO, F.S. What is the impact of pasture reform on organic carbon compartments and CO₂ emissions in the Brazilian Cerrado. **Catena**, v. 194, 104702, 2020.

TREVISAN, R.; MATTOS, M. L. T.; HERTER, F. G. Atividade microbiana em argissolo vermelho-amarelo distrófico típico coberto com aveia preta (*Avena sp.*) no outono, em um pomar de pessegueiro. **Científica Rural**, v. 7, p. 83-89, 2002.

QUINTÃO, J. M. B.; CANTINO, R. Z.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; MARACAHIPES, L.; BUSTAMANTE, M. M. C. 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>.

YANG, X.; MENG, J.; LAN, Y.; CHEN, W.; YANG, T.; YUAN, J.; LIU, S.; HAN, J. Effects of maize stover and its biochar on soil CO₂ emissions and labile organic carbon fractions in Northeast China. *Agric. Ecosyst. Environ.* v, 240, p. 24–31, 2017.

APÊNDICE



A - Área degradada.



B - Sistema Agroflorestal (SAF).



C - Área de cultivo de manga.



D – Área de cultivo de cana.



E - Disposição das parcelas em cada ambiente.