



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CAMPUS III – BANANEIRAS – PB**

ANDERSON MATIAS FRAGOSO

**QUALIDADE DO SOLO E FLUXO DE CO₂ EDÁFICO COMO INDICADORES DA
SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS**

**Bananeiras - PB
2026**

ANDERSON MATIAS FRAGOSO

**QUALIDADE DO SOLO E FLUXO DE CO₂ EDÁFICO COMO INDICADORES DA
SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Agrárias da UFPB como parte das exigências para a obtenção do título de Licenciado em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Alex da Silva Barbosa

Bananeiras - PB
2026

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

F811q Fragoso, Anderson Matias.

Qualidade do solo e fluxo de CO₂ edáfico como
indicadores da sustentabilidade de sistemas agrícolas /
Anderson Matias Fragoso. - Bananeiras-PB, 2026.
28 f. : il.

Orientação: Alex da Silva Barbosa.

TCC (Graduação) - Ciências Agrárias - UFPB/CCHSA.

1. Fatores climáticos. Aquecimento global.
Respiração. I. Barbosa, Alex da Silva. II. Título.

UFPB/CCHSA-BANANEIRAS

CDU 631

ANDERSON MATIAS FRAGOSO

**QUALIDADE DO SOLO E FLUXO DE CO₂ EDÁFICO COMO INDICADORES DA
SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS**

Monografia apresentada e aprovada em 17/08/2026, para obtenção do título de Licenciado em Ciências Agrárias, na Universidade Federal da Paraíba, Campus III.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ALEX DA SILVA BARBOSA**
Data: 02/09/2026 19:00:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Alex da Silva Barbosa
DPA/CCHSA/UFPB
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ADEMIR GUILHERME DE OLIVEIRA**
Data: 31/08/2026 20:00:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr Ademir Guilherme de Oliveira
DPA/CCHSA/UFPB
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **MARIA JANAINA LIRA VITAL**
Data: 02/09/2026 11:23:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Mª Maria Janaina Lira Vital
PPGCAG/UFPB
(Examinadora)

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, à minha família, meu orientador e aos meus amigos da RUM IV.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, à minha mãe, Dona Sebastiana Matias Felix, ao meu pai, Antônio Felix dos Santos, à minha irmã, Elisangela Felix dos Santos, por terem me apoiado nessa jornada, e à minha esposa, Adriele Ferreira da Silva, por ter estado sempre comigo. Agradeço ao meu orientador professor Alex da Silva Barbosa por ter me dado várias oportunidades e por ter acreditado em mim. Obrigado de coração.

RESUMO

As formas de ocupação do solo e as práticas de manejo causam alterações físicas, químicas e biológicas que afetam a sustentabilidade ambiental e econômica das atividades agrícolas. Objetivou-se avaliar a atividade microbiana em cinco sistemas de uso e manejo da terra na Microrregião do Brejo da Paraíba, Brasil. O estudo foi realizado em cinco sistemas de uso e ocupação do solo: área de floresta, sistema agroflorestal (SAF), cultivo orgânico de hortaliças (mandala), monocultivo de palma e área degradada, todos localizados na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Campus III, Bananeiras - PB. A atividade microbiana foi estimada pela quantificação do dióxido de carbono (CO_2) desprendido no processo de respiração edáfica, capturado por solução de KOH. As emissões de CO_2 do solo foram significativamente maiores no período diurno em comparação ao período noturno em todos os sistemas avaliados. Não houve diferença estatística entre os tratamentos no período noturno. Observou-se que o sistema agroflorestal (SAF) apresentou a maior emissão de CO_2 , seguido pela mandala, área degradada, monocultivo de palma e floresta, respectivamente, com diferença de 57,79% entre o maior e o menor valor. Os fatores climáticos, como precipitação e temperatura, influenciaram a dinâmica de decomposição e a emissão de CO_2 pelos microrganismos edáficos.

Palavras-chave: Fatores climáticos. Aquecimento global. Respiração edáfica. Solo.

ABSTRACT

Land use and management practices cause physical, chemical, and biological changes that affect the environmental and economic sustainability of agricultural activities. This study aimed to evaluate microbial activity in five land use and management systems in the Brejo Microregion of Paraíba, Brazil. The study was conducted in five land use systems: a forest area, an agroforestry system (AFS), an organic vegetable production area (mandala), a forage cactus monoculture, and a degraded area, all located at the Federal University of Paraíba (UFPB), Center for Human, Social and Agricultural Sciences, Campus III, Bananeiras, Paraíba, Brazil. Microbial activity was estimated by quantifying carbon dioxide (CO₂) released during the soil respiration process and captured using a KOH solution. Soil CO₂ emissions were significantly higher during the daytime than during the nighttime in all evaluated land use systems. No statistically significant differences were observed among the treatments during the nighttime period. The agroforestry system (AFS) showed the highest CO₂ emission, followed by the mandala system, degraded area, forage cactus monoculture, and forest, respectively, with a 57.79% difference between the highest and lowest values. Climatic factors, such as precipitation and temperature, influenced the decomposition dynamics and the CO₂ emissions released by soil microorganisms.

Keywords: Climatic factors. Global warming. Soil respiration. Soil.

LISTA DE FIGURAS

Nº	Figura	Página
Figura 1	Sistemas de manejo e uso do solo (A) mandala agrícola, (B) floresta, (C) sistema agroflorestal, (D) monocultivo de palma e (E) área degradada.	19-20
Figura 2	Esquematização do método empregado para a captura do CO ₂ desprendido do solo.	20
Figura 3	Distribuição de frequência da temperatura edáfica (°C) (A) e umidade do solo (%) (B) em sistemas sob diferentes sistemas de uso de solo e floresta	22
Figura 4	Evolução do CO ₂ edáfico diurno e noturno em diferentes sistemas de uso da terra, em função do tempo (meses), em áreas de Brejo de Altitude em Bananeiras, Paraíba, Brasil. FL (A), SAF (B), MA (C), MP (D) e AD (E).	23-24

LISTA DE SIGLAS

FL – Floresta

SAF – Sistemas Agroflorestais

MA – Mandala

MP – Monocultivo de Palma

AD – Área Degradada

CCHSA – Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Qualidade do solo	12
2.2 Indicadores biológicos da qualidade do solo	13
2.3 Fluxo de CO ₂ edáfico e respiração do solo	14
2.4 Uso e manejo do solo e seus efeitos sobre a qualidade do solo	15
2.5 Sistemas agrícolas e sustentabilidade do solo	16
2.6 Fatores ambientais que influenciam o fluxo de CO ₂ do solo	17
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
3.1 Caracterização das áreas de estudo	18
3.2 Quantificação do CO ₂ edáfico	20
3.3 Monitoramento da temperatura e umidade edáficas	21
3.4 Análise estatística	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
5. CONCLUSÃO	26
6. REFERÊNCIAS	27

1. INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um processo natural, tendo como principais envolvidos, os gases dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e vapores d'água (H₂O), esses gases são essenciais para a regulação da temperatura no planeta, entretanto sua concentração tem aumentado de forma significativa na atmosfera contribuindo para o aquecimento global (IPCC, 2022).

Nesse contexto, estudos do balanço de carbono fornecem informações cruciais para compreender a dinâmica entre a atmosfera e a terra, os diversos padrões de vegetação e os efeitos da degradação dos ecossistemas terrestres. No Brasil, o bioma Caatinga, desempenha um papel fundamental na manutenção do balanço de energia e do dióxido de carbono (CO₂). A floresta seca da Caatinga abrange 11% do território continental total do Brasil (Costa et al., 2022).

Nesse contexto, a degradação do solo é o resultado da soma de fatores geológicos, climáticos, biológicos e humanos que levam à redução do seu potencial físico, químico e biológico colocando em risco a biodiversidade e à sobrevivência da humanidade. A mudança no uso da terra é uma ameaça para a conservação ambiental, pois causa a degradação do solo afetando suas funções e serviços ecossistêmicos.(Cavalcante, 2022)

A demanda por carbono faz com que esses organismos utilizem uma via metabólica dependente de oxigênio, como a respiração celular para obtenção de energia ou por meio da respiração celular. As raízes também realizam respiração mitocondrial e, portanto, podem ser associadas a respiração global do solo.(Lucena, 2024)

Dessa forma, a respiração do solo constitui um importante componente da dinâmica do carbono nos ecossistemas. Dessarte, ao quantificar-se as emissões de CO₂ do solo pode-se compreender os processos que envolvem a decomposição do carbono e da matéria orgânica (Lourengo et al., 2022)

Entretanto, a compreensão desses processos ainda apresenta limitações. A falta de estudos aprofundados sobre as trocas gasosas que englobam a emissão de dióxido de carbono e o influxo de oxigênio no solo, juntamente com a escassez de investigações sobre a resposta da respiração do solo às condições climáticas pode limitar a compreensão da respiração do solo e a influência da atividade microbiana e respiração radicular.(Lucena, 2024) Contudo, poucos estudos ao longo do tempo demonstraram preocupação com o influxo de O₂ da atmosfera terrestre para a atmosfera do solo (Vicentini et al., 2019; De Lucena et al., 2023; Vicentini et al. 2023).

Além disso, as características da vegetação e as condições ambientais podem influenciar a atividade biológica do solo. Assim, é possível que um efeito de elevação na comunidade bacteriana do solo seja também devido ao efeito da vegetação embora estudos mostrem que as comunidades distintas em gradiente de elevação sobre o mesmo tipo de vegetação (Cui et al., 2019; Di Musciano et al., 2022).

Diante das alterações provocadas pelo uso e manejo do solo, torna-se relevante compreender como diferentes sistemas podem interferir na dinâmica do carbono. Contudo, dependendo do manejo e do tempo de conversão dessas áreas, esses sistemas futuramente podem se tornar mais conservacionista em termos da dinâmica do carbono. (Silva, 2024).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Qualidade do solo

O solo constitui um ambiente dinâmico, no qual ocorrem processos físicos, químicos e biológicos fundamentais para o funcionamento dos ecossistemas e para a produção agrícola. Entre esses processos, destacam-se a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e as trocas gasosas que ocorrem no sistema solo-atmosfera. Nesse contexto, a manutenção das características do solo é fundamental para garantir suas funções ecológicas e produtivas, sendo a qualidade do solo um aspecto importante para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

A qualidade do solo está relacionada à capacidade desse ambiente de desempenhar suas funções, mantendo condições adequadas para o desenvolvimento das plantas e para a ocorrência dos processos ecológicos. De acordo com Dávila et al. (2025), os atributos biológicos do solo podem ser utilizados como indicadores de processos resultantes de perturbações nas atividades do ecossistema, contribuindo para prever a qualidade do solo e do sistema. Na agricultura, esses indicadores permitem avaliar interações ecossistêmicas e auxiliar na compreensão do funcionamento dos agroecossistemas.

A avaliação da qualidade do solo pode envolver diferentes características, entre elas atributos relacionados à matéria orgânica, fertilidade e atividade biológica. Lucena (2024), ao avaliar diferentes usos do solo, observou que atributos como matéria orgânica do solo (MOS), soma de bases (SB) e pH apresentaram relação com as diferenças encontradas na dinâmica respiratória entre os sistemas avaliados. Esses resultados demonstram que as características químicas e orgânicas do solo estão relacionadas ao funcionamento dos processos que ocorrem nesse ambiente.

A matéria orgânica apresenta importância particular para o funcionamento do solo por estar relacionada à disponibilidade de carbono e aos processos de ciclagem de nutrientes. Albuquerque et al. (2025) destacam que as propriedades físico-químicas do solo desempenham papel central na dinâmica do carbono e do nitrogênio em florestas secas, influenciando a acumulação de matéria orgânica, a fertilidade e os processos ecológicos associados. Dessa maneira, modificações nas características do solo podem repercutir sobre a dinâmica do carbono e sobre o funcionamento do ambiente edáfico.

Além dos atributos químicos e orgânicos, as características biológicas representam importante componente da qualidade do solo. Dávila et al. (2025) verificaram que indicadores microbiológicos acompanharam alterações relacionadas à diversidade vegetal e ao estado do ecossistema, evidenciando a possibilidade de utilizar esses atributos na avaliação da qualidade do solo. Assim, a análise integrada de características químicas, orgânicas e biológicas permite uma compreensão mais ampla do estado do ambiente edáfico.

A qualidade do solo também está diretamente relacionada às alterações promovidas pelo uso da terra. Cavalcante (2022) aponta que a mudança no uso do solo representa uma ameaça à conservação ambiental, pois pode provocar degradação e afetar funções e serviços ecossistêmicos. Nesse sentido, a avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso e manejo constitui uma ferramenta importante para identificar alterações no funcionamento do ambiente e compreender os efeitos das práticas agrícolas sobre sua sustentabilidade.

2.2 Indicadores biológicos da qualidade do solo

O solo apresenta elevada diversidade de organismos, entre os quais os microrganismos desempenham funções fundamentais para a manutenção dos processos ecológicos. Esses organismos participam da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes, estabelecendo relações com a disponibilidade de elementos como carbono, nitrogênio e fósforo. Lucena (2024) caracteriza o solo como um ambiente rico em microrganismos associado à dinâmica global da reciclagem de nutrientes, destacando a importância da atividade respiratória desses organismos para o funcionamento do sistema edáfico.

A atividade microbiana constitui, portanto, uma importante característica biológica do solo e pode responder às mudanças provocadas pelas condições ambientais e pelas práticas de manejo. Cavalcante (2022) verificou que as condições locais, incluindo fatores bióticos e abióticos, exercem influência sobre a dinâmica de grupos bacterianos cultiváveis. O estudo também identificou relação entre a abundância microbiana e os teores de carbono, nitrogênio e fósforo do solo, sendo o pH um dos fatores com maior influência sobre as abundâncias bacterianas.

Essas relações demonstram que os microrganismos estão diretamente associados às condições do ambiente edáfico e podem responder a alterações em seus atributos. Nesse sentido, atributos microbiológicos podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, uma vez que apresentam capacidade de refletir alterações ocorridas no sistema.

Dávila et al. (2025) destacam que os atributos biológicos podem indicar processos resultantes de perturbações nas atividades do ecossistema e contribuir para prever a qualidade do solo e do sistema. Entre os indicadores microbiológicos avaliados pelos autores estão o carbono da biomassa microbiana, o nitrogênio da biomassa microbiana, a respiração basal do solo e atividades enzimáticas. Os resultados demonstraram que a diversidade de espécies vegetais em sistemas agroflorestais pode influenciar os indicadores de qualidade do solo, acompanhando o estado do ecossistema e sua atividade microbiológica.

A diversidade vegetal pode influenciar a atividade microbiana por meio da quantidade e da qualidade dos materiais orgânicos disponibilizados ao solo. De acordo com Dávila et al. (2025), diferentes espécies vegetais fornecem materiais como folhas, raízes e galhos, que variam em qualidade e quantidade e podem alterar a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de substratos para os microrganismos. Assim, a composição e a diversidade da vegetação podem interferir nas condições biológicas do solo.

A disponibilidade de carbono também possui relação direta com a atividade microbiana. Cavalcante (2022) observou maior interação entre a abundância microbiana e os teores de carbono orgânico em localidades que apresentavam maior disponibilidade desse elemento. Dessa forma, a matéria orgânica e a disponibilidade de carbono constituem componentes importantes para o funcionamento da comunidade microbiana e, consequentemente, para a qualidade biológica do solo.

Entre os indicadores biológicos, a respiração do solo apresenta particular importância por estar relacionada ao metabolismo dos organismos edáficos. A produção de CO₂ resultante da atividade respiratória fornece informações sobre a dinâmica biológica do solo e permite avaliar respostas associadas ao uso, manejo e às condições ambientais. Dessa maneira, o fluxo

de CO₂ pode ser considerado uma variável relevante para complementar a avaliação da qualidade do solo.

2.3 Fluxo de CO₂ edáfico e respiração do solo

A respiração do solo corresponde ao processo de trocas gasosas que envolve o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono no ambiente edáfico (Lucena, 2024). Esse processo está relacionado à atividade metabólica dos organismos presentes no solo e também à respiração das raízes. Dessa forma, o fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera representa uma resposta do funcionamento biológico do ambiente edáfico.

Os microrganismos utilizam o carbono disponível no solo em processos metabólicos para obtenção de energia, enquanto as raízes realizam respiração mitocondrial e também contribuem para a respiração global do solo (Lucena, 2024). Assim, a emissão de CO₂ não está associada a um único componente do sistema, sendo resultado da contribuição de diferentes fontes respiratórias presentes no ambiente.

Lucena (2024) observou relação entre a emissão de CO₂ e o influxo de O₂ em diferentes condições de cobertura do solo. Em solos vegetados, a emissão de CO₂ e o influxo de O₂ foram superiores aos observados em solos sem vegetação, indicando a participação da cobertura vegetal e das raízes na dinâmica respiratória do sistema. O estudo estimou ainda que a respiração radicular pode representar entre 27 e 48% da respiração do solo.

A relação entre emissão de CO₂ e influxo de O₂ evidencia que a respiração do solo constitui um processo integrado de trocas gasosas. Segundo Lucena (2024), o metabolismo do solo pode ser compreendido a partir do consumo de O₂ e da produção de CO₂, sendo possível relacionar essas variáveis às condições ambientais e aos diferentes usos do solo.

As taxas de emissão de CO₂ também podem variar de acordo com o uso e manejo do solo. Lucena (2024) identificou diferenças na dinâmica respiratória entre pastagens e áreas de reflorestamento com espécies nativas e eucalipto. O quociente respiratório apresentou maiores valores nos reflorestamentos com espécies nativas e eucalipto, enquanto a pastagem manejada apresentou menor taxa de emissão de CO₂. Segundo o autor, as menores taxas observadas na pastagem estiveram associadas a melhorias em atributos do solo, como matéria orgânica, soma de bases e pH.

Silva (2024) também verificou variação das taxas de emissão de CO₂ entre diferentes sistemas de uso do solo. No sistema de eucalipto e na área silvipastoril, a emissão apresentou variação ao longo do tempo, sendo observada correlação positiva entre o fluxo de CO₂ e a temperatura do solo. Além disso, o estudo demonstrou que atributos físicos e químicos, juntamente com fatores ambientais, contribuíram para explicar a variabilidade do fluxo de CO₂.

A emissão de CO₂ apresenta, portanto, potencial para ser utilizada na avaliação da atividade biológica e das condições do solo. Entretanto, sua interpretação deve considerar as características do sistema avaliado e os fatores que controlam a respiração. Uma maior emissão de CO₂ não necessariamente representa isoladamente maior ou menor qualidade do solo, uma vez que a respiração pode ser influenciada pela presença de raízes, pela disponibilidade de substratos, pela umidade, pela temperatura, pela cobertura vegetal e pelas próprias características do solo (Lucena, 2024; Silva, 2024).

Nesse sentido, o fluxo de CO₂ edáfico pode ser utilizado como um indicador complementar da qualidade do solo, especialmente quando analisado conjuntamente com outros atributos. Sua avaliação permite identificar diferenças na atividade respiratória entre sistemas e relacioná-las às condições de uso, manejo e funcionamento biológico do solo.

2.4 Uso e manejo do solo e seus efeitos sobre a qualidade do solo

A alteração do uso da terra pode provocar modificações nas características físicas, químicas e biológicas do solo, refletindo-se em suas funções e serviços ecossistêmicos. Cavalcante (2022) destaca que a mudança no uso do solo constitui uma ameaça à conservação ambiental, podendo resultar em degradação e afetar o potencial físico, químico e biológico do ambiente.

A conversão da vegetação nativa para áreas agrícolas tende inicialmente a acelerar processos relacionados à perda de carbono, alterando o equilíbrio existente no ecossistema. Entretanto, as características do sistema podem ser modificadas ao longo do tempo em função das práticas de manejo adotadas. Silva (2024) destaca que, dependendo do manejo e do tempo de conversão, sistemas agrícolas podem assumir características mais conservacionistas quanto à dinâmica do carbono, apresentando potencial para estocar e estabilizar carbono no solo e, conseqüentemente, apresentar menores taxas de respiração.

O manejo também pode modificar os atributos químicos e orgânicos do solo. Lucena (2024) relacionou o bom manejo de uma área de pastagem a melhorias em atributos como matéria orgânica do solo, soma de bases e pH, condição que esteve associada às menores taxas de emissão de CO₂ observadas no sistema. Esse resultado demonstra que as alterações promovidas pelo manejo podem refletir tanto nas características do solo quanto na dinâmica respiratória.

A mudança no uso do solo também apresenta efeitos sobre os organismos edáficos. Cavalcante (2022) verificou que as condições locais e as alterações no uso da terra influenciaram a dinâmica populacional de grupos bacterianos, demonstrando a sensibilidade dos organismos aos distúrbios ambientais. O pH apresentou influência importante sobre as abundâncias bacterianas, enquanto a disponibilidade de carbono orgânico esteve associada à interação entre os microrganismos e os nutrientes do solo.

A cobertura vegetal constitui outro fator importante na relação entre manejo e qualidade do solo. A manutenção de diferentes espécies vegetais pode proporcionar maior diversidade e quantidade de resíduos orgânicos, fornecendo substratos para os microrganismos e contribuindo para a ciclagem de nutrientes. Dávila et al. (2025) verificaram que a diversidade funcional das espécies presentes em sistemas agroflorestais influenciou a atividade microbiana e os indicadores de qualidade do solo.

Dessa maneira, diferentes formas de uso e manejo podem produzir respostas distintas sobre o solo. Sistemas submetidos a maior diversidade vegetal e práticas conservacionistas podem apresentar condições favoráveis à manutenção da atividade biológica e da matéria orgânica, enquanto alterações mais intensas na cobertura e no uso podem comprometer funções do ambiente. A avaliação conjunta dos atributos do solo e do fluxo de CO₂ permite, portanto, identificar respostas relacionadas ao funcionamento dos diferentes sistemas agrícolas.

2.5 Sistemas agrícolas e sustentabilidade do solo

A sustentabilidade dos sistemas agrícolas está diretamente relacionada à capacidade de conciliar a produção com a conservação dos recursos naturais e a manutenção das funções do solo. Nesse contexto, a qualidade do solo constitui um dos componentes fundamentais para o funcionamento sustentável dos agroecossistemas, uma vez que alterações em suas propriedades podem comprometer processos ecológicos e produtivos.

A degradação do solo resulta da interação de fatores naturais e antrópicos capazes de reduzir seu potencial físico, químico e biológico. Cavalcante (2022) ressalta que a mudança no uso da terra pode comprometer a conservação ambiental ao afetar o solo, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. Assim, a adoção de sistemas capazes de conservar as propriedades do solo representa uma estratégia importante para a sustentabilidade agrícola.

A diversidade de espécies vegetais constitui uma característica relevante para a manutenção dos processos ecológicos nos sistemas de produção. Em sistemas agroflorestais, Dávila et al. (2025) verificaram que a diversidade vegetal esteve relacionada aos indicadores de qualidade do solo e à atividade microbiológica. Os diferentes tipos de plantas forneceram materiais orgânicos variados, capazes de influenciar a disponibilidade de substratos, a decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes.

A estabilidade dos agroecossistemas pode estar relacionada, portanto, à diversidade vegetal e à manutenção dos processos biológicos do solo. Dávila et al. (2025) concluíram que a diversidade de espécies em sistemas agroflorestais pode favorecer a estabilidade do sistema, expressa por meio dos bioindicadores do solo, possibilitando acompanhar seu estado e auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao manejo.

A dinâmica do carbono também constitui um componente importante da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Albuquerque et al. (2025) destacam que as características topográficas, a composição florística e as propriedades físico-químicas do solo desempenham papel central na dinâmica do carbono e do nitrogênio em florestas secas. Os autores também ressaltam a importância desses processos para estratégias de manejo sustentável e conservação dos ecossistemas.

No contexto da Caatinga e das florestas sazonalmente secas, a dinâmica do carbono apresenta importância adicional devido ao papel desses ambientes na regulação do ciclo do carbono e na conservação da biodiversidade. Da Silva et al. (2024) destacam que as estimativas dos fluxos de carbono em florestas tropicais sazonalmente secas possibilitam compreender os padrões de troca de carbono em áreas com diferentes fisionomias vegetais. Dessa forma, o acompanhamento da dinâmica do carbono pode contribuir para compreender o funcionamento desses ambientes e subsidiar estratégias de conservação.

A relação entre microrganismos e carbono também apresenta importância para a sustentabilidade do solo. Vieira (2023) destaca o papel dos microrganismos em processos relacionados ao sequestro e armazenamento de carbono, evidenciando a importância da qualidade do solo para esses processos. Embora o sequestro e o estoque de carbono constituam aspectos distintos do fluxo de CO₂ aqui avaliado, a dinâmica do carbono e a atividade microbiana estão relacionadas ao funcionamento do solo e devem ser consideradas na avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Nesse sentido, a utilização de indicadores de qualidade do solo associados ao fluxo de CO_2 pode fornecer informações sobre o funcionamento dos sistemas de produção. A comparação entre diferentes formas de uso e manejo permite verificar como a intervenção agrícola, a cobertura vegetal, a diversidade de espécies e as condições ambientais se relacionam com a qualidade do solo e com sua atividade respiratória.

2.6 Fatores ambientais que influenciam o fluxo de CO_2 do solo

O fluxo de CO_2 do solo apresenta variações relacionadas às condições ambientais e às características do próprio sistema edáfico. Entre os fatores que influenciam a dinâmica respiratória destacam-se a temperatura e a umidade do solo, além da cobertura vegetal e das condições relacionadas à atividade das raízes e dos microrganismos.

A temperatura do solo apresenta relação com a atividade respiratória e pode contribuir para explicar as variações temporais da emissão de CO_2 . Lucena (2024) observou que a dinâmica temporal do influxo de O_2 esteve relacionada à variabilidade da temperatura do solo, especialmente em áreas de pastagem. O autor também verificou variabilidade de curto prazo na emissão de CO_2 , no influxo de O_2 , na temperatura e na umidade do solo.

Resultados semelhantes foram observados por Silva (2024), que identificou correlação positiva entre a temperatura do solo e o fluxo de CO_2 em áreas de eucalipto e sistema silvipastoril. No sistema de eucalipto, a temperatura apresentou correlação significativa com a emissão de CO_2 , enquanto no sistema silvipastoril também foi observada relação linear positiva entre as duas variáveis. Esses resultados evidenciam a importância da temperatura para a compreensão da variabilidade do fluxo de CO_2 .

A umidade do solo também está relacionada ao comportamento da respiração edáfica. Lucena (2024) observou forte associação entre a emissão de CO_2 e a umidade do solo tanto em condições de solo sem vegetação quanto em condições de solo vegetado. O autor verificou ainda a possibilidade de descrever a emissão de CO_2 em função da umidade do solo, evidenciando a importância desse fator para a dinâmica das trocas gasosas.

A cobertura vegetal interfere nas condições ambientais do solo e também na própria respiração do sistema. Em estudo realizado por Lucena (2024), a emissão de CO_2 e o influxo de O_2 foram superiores em solo vegetado quando comparados ao solo sem vegetação. A maior respiração observada sob vegetação esteve relacionada à participação das raízes e à dinâmica da atividade fotossintética. O influxo de O_2 em solo vegetado apresentou associação com a radiação fotossinteticamente ativa, reforçando a relação entre a vegetação e a dinâmica respiratória do solo.

A variação temporal ao longo do dia também pode modificar as taxas de emissão. Lucena (2024) verificou que, em condições avaliadas durante diferentes horários, os maiores valores de emissão de CO_2 e influxo de O_2 ocorreram entre 10h e 15h. Essa variação demonstra que a respiração do solo responde às mudanças nas condições ambientais ao longo do dia.

Dessa forma, a interpretação do fluxo de CO_2 deve considerar a interação entre fatores ambientais, características do solo e condições de uso e manejo. A temperatura, a umidade, a cobertura vegetal e a presença de raízes podem modificar a atividade respiratória e contribuir para as diferenças observadas entre sistemas. Silva (2024) reforça essa relação ao demonstrar

que atributos do solo e condições climáticas constituíram fatores determinantes para explicar a variabilidade das emissões de CO₂.

Assim, a avaliação do fluxo de CO₂ edáfico associada às condições de temperatura e umidade do solo permite compreender com maior precisão as diferenças na atividade respiratória entre sistemas agrícolas. A integração dessas informações contribui para a utilização do fluxo de CO₂ como indicador complementar da qualidade do solo e para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Caracterização das áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido em cinco sistemas de ocupação da terra, situados no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias (CCHSA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus III, Bananeiras, Paraíba. O município de Bananeiras está localizado na **microrregião do Brejo Paraibano** e na **mesorregião do Agreste Paraibano**, no domínio da Caatinga, marcado por grande heterogeneidade ambiental e apresentando uma sazonalidade climática bem demarcada: uma estação chuvosa, que vai de março a agosto, e uma estação seca, de setembro a fevereiro, caracterizando-se por uma precipitação pluvial monomodal e em gradiente de leste a oeste, em virtude do Planalto da Borborema, que barra as massas de ar úmido vindas do litoral e que se deslocam em direção ao Sertão. Essa variabilidade também se reflete nos diferentes tipos de solos. Verifica-se, ainda, uma grande heterogeneidade pedológica, tanto no sentido horizontal quanto vertical, o que gera uma ampla multiplicidade de ambientes, contribuindo para uma composição florística diversa e adaptada a essas variabilidades geoambientais (Petersen; Silveira; Almeida, 2002).

O estudo foi realizado em cinco sistemas de uso e ocupação do solo: uma área de floresta, um sistema agroflorestal (SAF), uma área de cultivo orgânico de hortaliças (mandala), uma área de monocultivo (palma) e, por último, uma área degradada. Todos os sistemas estão localizados na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias, Campus III, Bananeiras - PB.

Os sistemas avaliados foram:

Sistema I – Mandala agrícola: área com aproximadamente 17 anos de implantação, na qual há permanente adição de adubo orgânico, sobretudo oriundo de dejetos de ruminantes (esterco bovino e caprino) (Figura 1A). O sistema é irrigado diariamente, sem muitos critérios técnicos, e não há cobertura morta nos canteiros, deixando o solo exposto. As principais culturas agrícolas cultivadas nesse sistema são: pimentão (*Capsicum annuum* L.), alface (*Lactuca sativa* L.), cenoura (*Daucus carota* L.), beterraba (*Beta vulgaris* L.) e couve (*Brassica oleracea* L.), além de plantas medicinais não identificadas.

Sistema II – Floresta: remanescente florestal ecotonal de Brejo de Altitude em estágio secundário de regeneração, composto predominantemente por espécies nativas da Mata Atlântica, como biriba-branca (*Eschweilera ovata* (Cambess.) Mart. ex Miers), pitombeira (*Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk.) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), dentre outras espécies arbóreas não identificadas (Figura 1B). O remanescente abriga importantes espécies autóctones representativas dessa tipologia vegetal, de grande relevância filogenética e ecológica, contribuindo para a conservação da fauna e da flora locais.

Sistema III – Sistema Agroflorestal (SAF): área com aproximadamente 17 anos de implantação, tendo a gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.) como espécie principal e o café (*Coffea arabica* L.) como cultura secundária nas entrelinhas, devido à sua exigência por sombreamento, característica de espécies de sub-bosque (Figura 1C). Nesse agroecossistema, a poda das árvores é realizada com frequência, aumentando significativamente o aporte de matéria orgânica ao solo.

Sistema IV – Monocultivo de Palma: área com aproximadamente 4 anos de implantação, cultivada com palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*) e palma (*Nopalea cochenillifera*), utilizadas na alimentação animal (Figura 1D).

Sistema V – Área degradada: área sem uso agrícola, utilizada para o depósito de resíduos sólidos e entulhos do campus, apresentando apenas gramíneas como vegetação predominante (Figura 1E).

Figura 1: Sistemas de manejo e uso do solo (A) mandala agrícola, (B) floresta, (C) sistema agroflorestal, (D) monocultivo de palma e (E) área degradada.





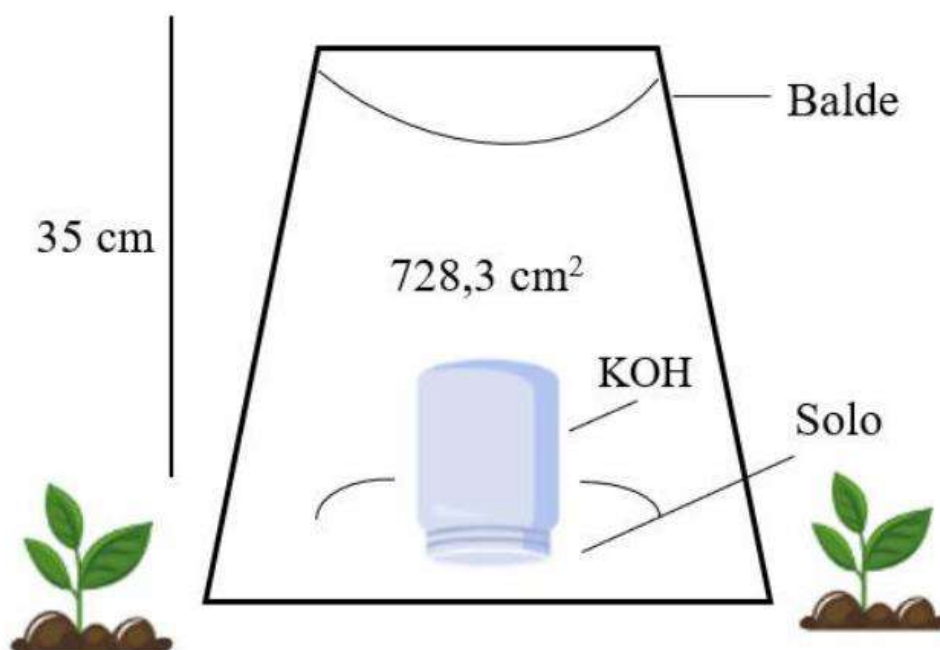
Fonte: Ariel Brasileiro, 2022

3.2 Quantificação do CO₂ edáfico

O monitoramento da respiração edáfica foi realizado entre o 21º e o 23º dia dos meses de fevereiro de 2022 e junho de 2022, durante o período chuvoso na região. Para quantificar o dióxido de carbono liberado em cada sistema, utilizou-se a metodologia proposta por Grisi (1978), na qual o CO₂ liberado do solo é capturado por uma solução de hidróxido de potássio (KOH – 0,5 N) e, em seguida, quantificado por meio de titulação com ácido clorídrico (HCl – 0,1 N), tendo como indicadores a fenolftaleína e o alaranjado de metila, ambos a 1% de concentração (Morita; Assumpção, 1972).

Na captura de CO₂, os recipientes contendo 10 mL da solução de KOH permaneceram em campo, cobertos individualmente por um balde invertido, durante 12 horas em cada turno: diurno (05h00 às 17h00) e noturno (17h00 às 05h00). Utilizaram-se, ainda, duas amostras-controle para cada área, as quais permaneceram fechadas durante todo o processo para evitar trocas gasosas e, ao final, passaram pelo processo de titulação. Os baldes possuíam diâmetro de 34,0 cm e altura de 35 cm, cobrindo uma área de 7.283,4 cm². As bordas dos baldes foram enterradas no solo para evitar trocas gasosas.

Figura 2. Esquematização do método empregado para a captura do CO₂ desprendido do solo



Fonte: Ariel Brasileiro, 2022

A determinação do CO₂ absorvido foi feita por meio da seguinte equação:

$$ACO_2 = (A - B) * 2 * 2,2 \text{ em mg}$$

$$A'CO_2 = ACO_2 * \left(\frac{4}{3} * \frac{10.000}{h} + S \right) \text{ em mg}$$

Em que: **A'CO₂** – absorção de CO₂; **A** – diferença entre a 1ª e a 2ª etapa da titulação da amostra (mL); **B** – diferença entre a 1ª e a 2ª etapa da titulação da amostra-controle (mL); **h** – período de permanência da amostra no solo (horas); **S** – área de abrangência do balde (cm²).

Para cada sistema de uso da terra foram delimitados três transectos, com uma área de aproximadamente 2,5 m², a uma distância mínima de 25 metros entre um transecto e outro. Cada transecto possuía três pontos amostrais (n = 9 pontos amostrais por sistema). Os parâmetros climáticos, como precipitação e temperatura média no município durante todo o período experimental, foram averiguados mediante consulta ao banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021). A precipitação acumulada e a temperatura média foram de aproximadamente 45 mm e 24,7 ± 2 °C, respectivamente.

3.3 Monitoramento da temperatura e umidade edáficas

A temperatura do solo foi aferida a 10 cm de profundidade em cada transecto, por meio de um termômetro do tipo espeto Instrutherm® TE-400. Partindo do pressuposto de que a temperatura do solo permanece praticamente estável (25 ± 1 °C) entre os sistemas durante todo o período noturno (observação baseada em testes preliminares), optou-se por aferir a temperatura do solo semanalmente, ao meio-dia (12h00). A escolha do horário se deu pelo fato de que, nesse período, ocorre a maior incidência da radiação ultravioleta sobre a superfície terrestre, podendo ser verificada, portanto, a influência da cobertura da terra (proporcionada pelo dossel das plantas) sobre a temperatura média e a amplitude térmica nos sistemas avaliados.

A determinação do teor de umidade do solo foi realizada simultaneamente com a análise da temperatura da superfície. A umidade do solo foi aferida mediante a coleta de amostras simples de solo, na profundidade de 0-10 cm, em cada transecto. As amostras de solo foram levadas ao laboratório para serem pesadas em balança de precisão de 0,0001 g. Em seguida, foram inseridas em cápsulas de alumínio e acondicionadas em estufa a 105 ± 1 °C por um período de 24 h. O teor de umidade do solo foi calculado utilizando-se a seguinte equação:

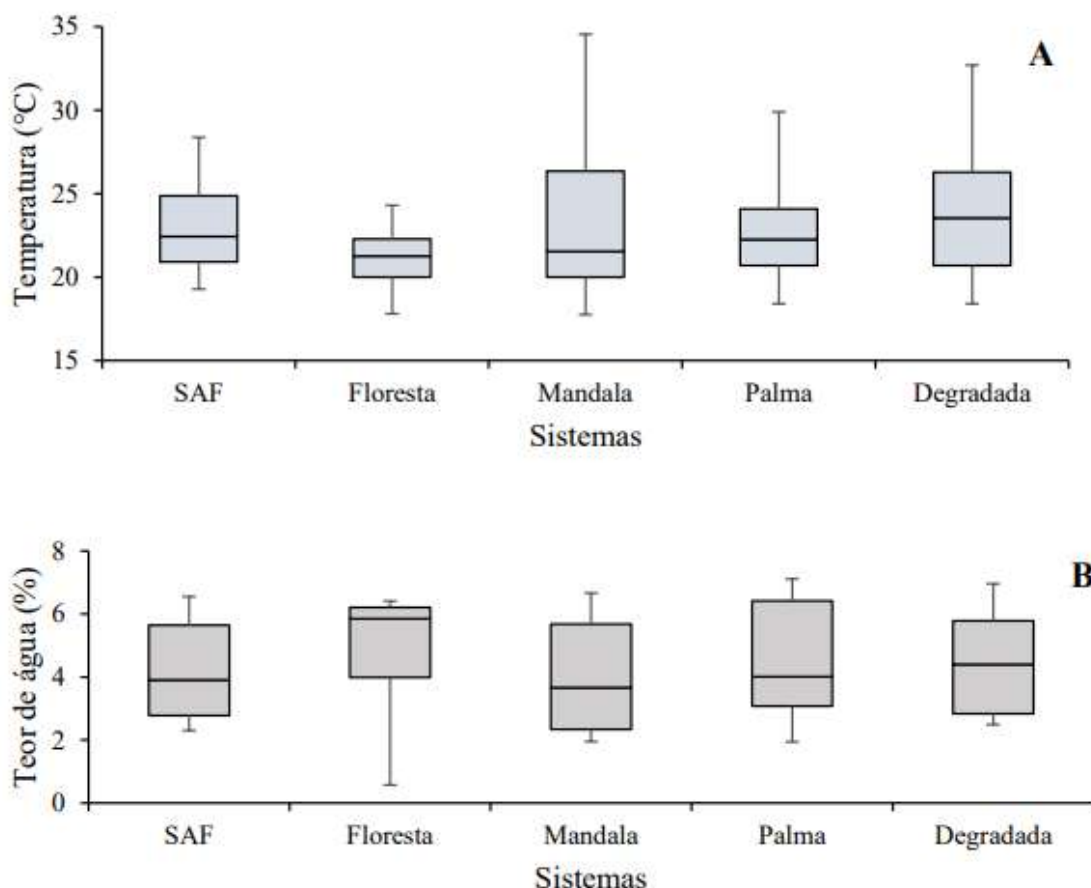
$$U\% = \left(\frac{Pu - Ps}{Ps} \right) . 100$$

Em que: U% – percentual de umidade do solo; Pu – peso úmido (g) e Ps – peso seco (g).

Ao se analisar a temperatura edáfica (Figura 3A) em cada sistema de cultivo e área de floresta, nota-se que as maiores temperaturas foram observadas na AD, com mediana igual a 23,0 °C, seguido pelos sistemas SAF, MP, MA e FL, com medianas de 22,05; 22,0 21,05 e 21,00 °C, respectivamente. Por outro lado, os maiores valores de conteúdo de água do solo (Figura 3B) foram observados na seguinte ordem crescente: MA (3%), SAF (4%), MP (4%), AD (4,5%) e FL (6%). Estas são características interessantes, pois evidencia que os sistemas de uso da terra que possuem cobertura vegetal densa apresentam baixas temperaturas edáfica, entretanto, ao que se diz respeito ao teor de água (Figura 3B), foi observado que os

sistemas de uso de terra FL (5,5%) e AD (4,5%) possuem um elevado conteúdo de água no solo, enquanto as demais áreas SAF, MP e MA possuem 4,0%, 4,0% e 3,5%, respectivamente, com isso essas características podem influenciar a dinâmica de decomposição dos resíduos vegetais que são depositados na superfície do solo, sobretudo, pela atividade dos microorganismos edáficos.

Figura 3. Distribuição de frequência da temperatura edáfica (°C) (A) e umidade do solo (%) (B) em sistemas sob diferentes sistemas de uso de solo e floresta



3.4 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 repetições por tratamento (áreas), seguindo o arranjo fatorial de 5×2 (sistema $\times$ turno). Utilizaram-se os testes de Shapiro-Wilk e de Bartlett para verificar a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, respectivamente. Refutada a hipótese de igualdade entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para analisar a diferença entre as médias. A análise estatística foi realizada mediante o uso do software estatístico R, versão 3.4.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o estudo da respirometria de campo, a liberação de CO₂ emanado do solo é significativamente maior durante o período diurno quando comparado ao período noturno, na maioria dos sistemas de uso da terra avaliados (Figura 4). Ao observar as médias de CO₂ em cada sistema, nota-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos no período diurno, sendo emanada uma quantidade entre 40,0 e 280,0 mg m⁻² h⁻¹.

Em relação ao comportamento do nível de CO₂ no período diurno na área de FL (Figura 4A), houve uma regressão linear, em que o nível de CO₂ começa a decair no mês de fevereiro (150 mg m⁻² h⁻¹) e permanece decaindo nos meses subsequentes para (230 mg m⁻² h⁻¹), (220 mg m⁻² h⁻¹), (210,5 mg m⁻² h⁻¹) e (210 mg m⁻² h⁻¹), respectivamente.

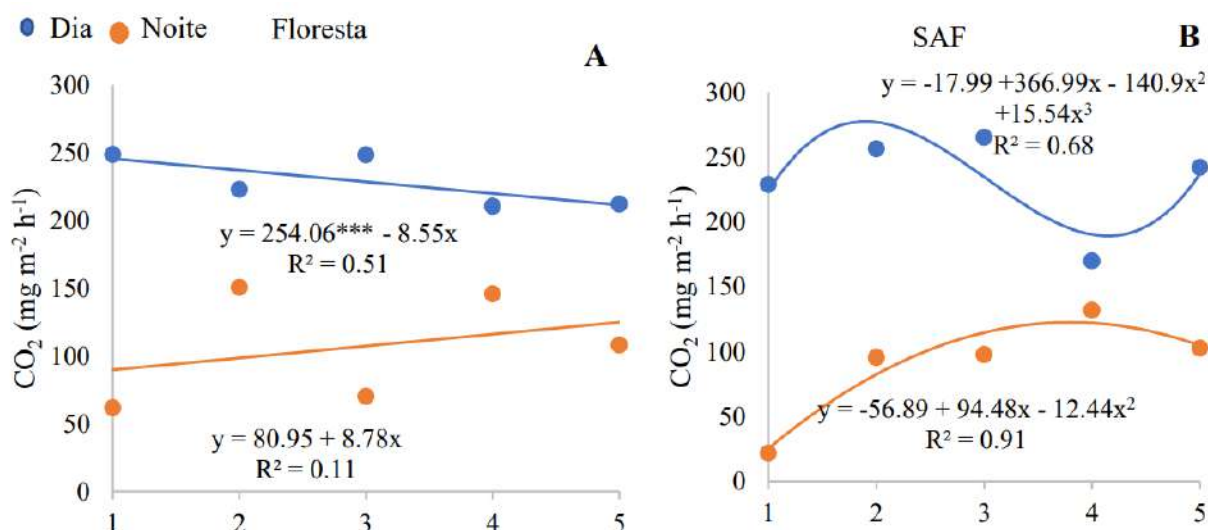
Na área do SAF (Figura 4B), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro, março e abril, o nível de CO₂ foi subindo de (220 mg m⁻² h⁻¹), (240,5 mg m⁻² h⁻¹) e (260 mg m⁻² h⁻¹), sofrendo uma queda no mês de maio (160,5 mg m⁻² h⁻¹) e, posteriormente, subindo de novo no mês de junho (240 mg m⁻² h⁻¹).

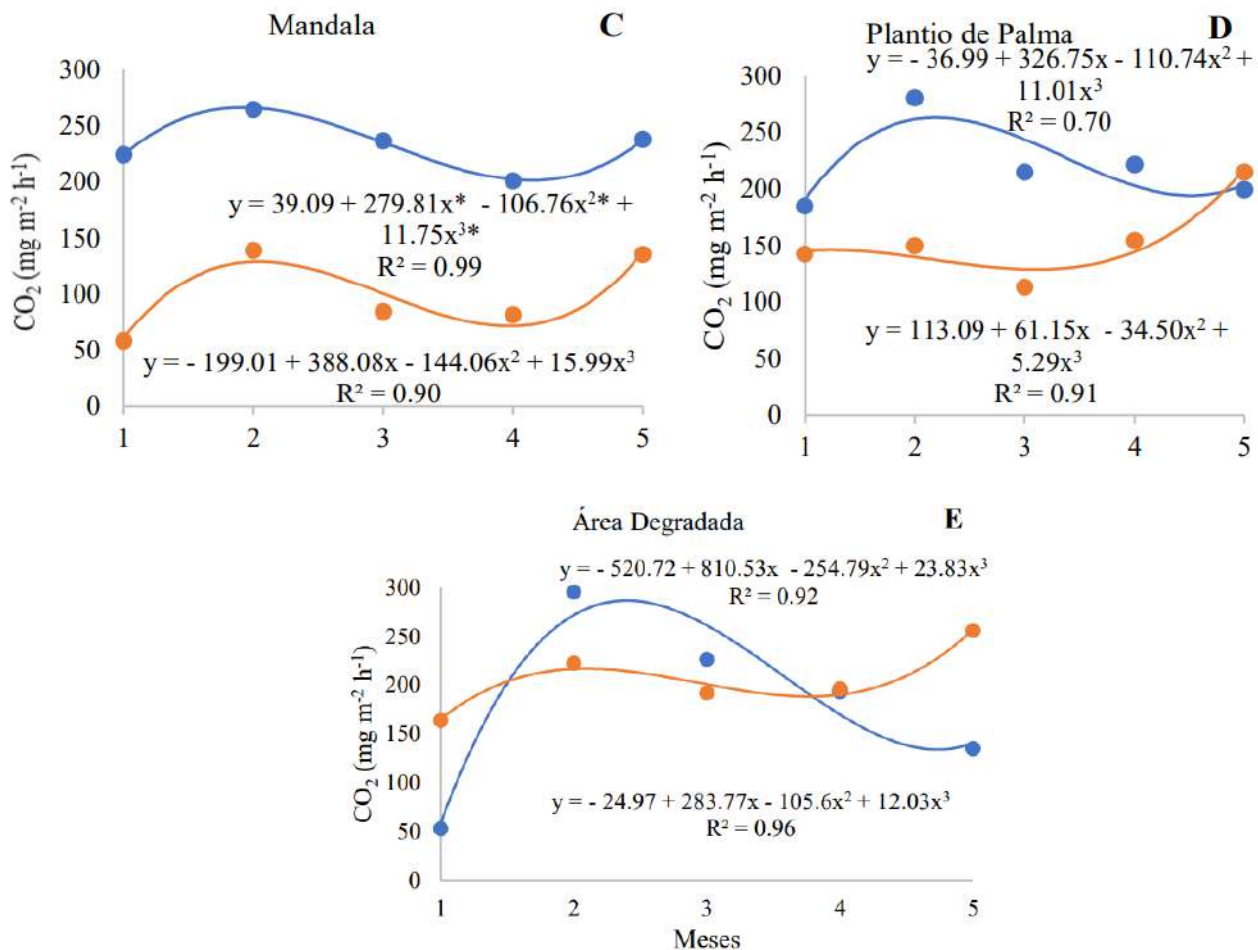
Na área MA (Figura 4C), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro e março, o nível de CO₂ foi subindo de (220 mg m⁻² h⁻¹) para (260 mg m⁻² h⁻¹), decaindo nos meses de abril e maio para (220 mg m⁻² h⁻¹), (200 mg m⁻² h⁻¹) e, por fim, voltando a subir no mês de junho para (220 mg m⁻² h⁻¹).

Na área MP (Figura 4D), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro e março, o nível de CO₂ foi subindo de (180 mg m⁻² h⁻¹) para (270 mg m⁻² h⁻¹), decaindo no mês de abril (210 mg m⁻² h⁻¹), subindo de novo no mês de maio para (220 mg m⁻² h⁻¹) e, por fim, voltando a cair no mês de junho para (190 mg m⁻² h⁻¹).

Na última área, AD (Figura 4E), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro e março, o nível de CO₂ foi subindo de (40 mg m⁻² h⁻¹) para (280 mg m⁻² h⁻¹), decaindo nos meses de abril, maio e junho para (220 mg m⁻² h⁻¹), (190 mg m⁻² h⁻¹) e, por fim, (130 mg m⁻² h⁻¹).

Figura 4. Evolução do CO₂ edáfico diurno e noturno em diferentes sistemas de uso da terra, em função do tempo (meses), em áreas de Brejo de Altitude em Bananeiras, Paraíba, Brasil. FL (A), SAF (B); MA (C); MP (D); AD (E).





No entanto, ao observar os sistemas no período noturno, constata-se que, na área FL (Figura 4A), houve uma regressão linear no nível de CO_2 edáfico, em que, no mês de fevereiro, o nível de CO_2 estava em $(90 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, aumentando nos meses de março, abril, maio e junho, até atingir $(120 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$.

Na área do SAF (Figura 4B), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro, março e abril, o nível de CO_2 foi subindo de $(220 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, $(240,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ e $(260 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, sofrendo uma queda no mês de maio $(160,5 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ e, posteriormente, subindo de novo no mês de junho $(240 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$.

Na área MA (Figura 4C), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro e março, o nível de CO_2 foi subindo de $(220 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ para $(260 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, decaindo nos meses de abril e maio para $(220 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, $(200 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ e, por fim, voltando a subir no mês de junho para $(220 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$.

Na área MP (Figura 4D), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro e março, o nível de CO_2 foi subindo de $(140 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ para $(150 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, decaindo no mês de abril $(120 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, subindo de novo nos meses de maio e junho para $(160 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ e $(210 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, respectivamente.

Na última área, AD (Figura 4E), houve uma regressão polinomial, em que, nos meses de fevereiro e março, o nível de CO_2 foi subindo de $(160 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ para $(220 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, decaindo no mês de abril para $(190 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ e voltando a subir nos meses de maio e junho para $(190 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$ e $(250 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1})$, respectivamente. Essa diferença na concentração de CO_2 diurno e noturno entre os sistemas pode ser atribuída às características inerentes ao solo de cada área e à forma de uso ou manejo adotado, que, associados aos estímulos do ambiente,

como umidade e temperatura da superfície, exercem influência sobre os processos metabólicos dos organismos edáficos (Gomes et al., 2021).

O equilíbrio entre a entrada e a saída de carbono do solo tem forte influência nas concentrações de CO₂ atmosférico, e a forma de ocupação e manejo do solo pode afetar esse processo natural, modificando o fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera (emissão) ou da atmosfera para o solo (sequestro). Portanto, é crescente o interesse em realizar o sequestro de C em solos agrícolas como uma forma de reduzir o aumento dos níveis de CO₂ na atmosfera (Santos, 2019). Quanto mais carbono houver estocado no solo na forma de matéria orgânica, mais vida haverá no solo, maior será a conservação da umidade e mais nutrientes estarão disponíveis para as plantas.

5. CONCLUSÃO

As diferentes formas de uso e cobertura da terra interferem na respiração edáfica.

Sistemas com maior intervenção antrópica liberam mais CO₂ para atmosfera. Áreas de vegetação natural funcionam como receptoras e poços de CO₂.

O sistema do SAF emite maior quantidade de CO₂, seguido pela MA, AD, MP e FL, nessa ordem.

A emissão de CO₂ é maior no período diurno em relação ao noturno. A temperatura e umidade do solo influenciam na dinâmica e o ciclo do carbono.

6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Alciênia Silva; FREIRE, Fernando José; LEITE, Maria José de Holanda; FREIRE, Clarissa Soares; TERTO, Rennan Salviano. Estoques de carbono e nitrogênio no solo e em espécies florestais ao longo de uma topossequência da floresta seca no Araripe, Pernambuco: uma revisão. In: **Ciências do solo: estratégias inovadoras para gestão e sustentabilidade**. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2025. p. 37-68. DOI: <https://doi.org/10.37885/241218530>.
- CAVALCANTE, Fernando Gouveia. **Influência das condições bióticas e abióticas locais e da mudança no uso do solo sobre a dinâmica populacional de grupos bacterianos cultiváveis e sua relação com os ciclos biogeoquímicos**. 2022. 194 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/79347>. Acesso em: 13 ago. 2026.
- COSTA, Gabriel Brito; MENDES, Keila Rêgo; VIANA, Losany Branches; ALMEIDA, Gabriele Vieira; MUTTI, Pedro Rodrigues; SILVA, Cláudio Moisés Santos e; BEZERRA, Bergson Guedes; MARQUES, Thiago Valentim; FERREIRA, Rosária Rodrigues; OLIVEIRA, Cristiano Prestelo; GONÇALVES, Weber Andrade; OLIVEIRA, Pablo Eli; CAMPOS, Suany; ANDRADE, Maria Uilhiana Gomes; ANTONINO, Antônio Celso Dantas; MENEZES, Rômulo Simões César. Seasonal ecosystem productivity in a seasonally dry tropical forest (Caatinga) using flux tower measurements and remote sensing data. **Remote Sensing**, v. 14, n. 16, p. 3955, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14163955>.
- DÁVILA, Giovanni Alexander Jurado. **Bioindicadores de qualidade do solo em Sistemas Agroflorestais de Sucessão**. 2025. 102 f. Tese (Doutorado em Agroecossistemas) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/269419>. Acesso em: 16 ago. 2026.
- DI MUSCIANO, Michele; RICCI, Lorenzo; DI CECCO, Valter; BRICCA, Alessandro; DI MARTINO, Luciano; FRATTAROLI, Anna Rita. Elevational patterns of plant dispersal ability in Southern Europe. **Plant Biosystems**, v. 157, n. 1, p. 71-79, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2022.2089761>.
- GOMES, D. S.; BARBOSA, A. S.; SANTOS, T. M.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; AQUINO, I. S. Cinética de liberação de CO₂ e decomposição da fitomassa em sistemas de uso e manejo do solo. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e9810111413, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11413>.
- GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, v. 30, n. 1, p. 82-88, 1978.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2022: mitigation of climate change: contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157926>.
- JESUS, J. B. de; KUPLICH, T. M.; BARRETO, Í. D. de C.; GAMA, D. C. Dual polarimetric decomposition in Sentinel-1 images to estimate aboveground biomass of arboreal Caatinga.

Remote Sensing Applications: Society and Environment, v. 29, p. 100897, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100897>.

LOURENÇO, Elloise Rackel Costa; SOUZA, Bartolomeu Israel de; D'ANDREA, Alexandre Fonseca; SOUZA, José João Lelis Leal de. Temporal variation of soil CO₂ emission in different land uses in the Caatinga. **Applied Geography**, v. 140, p. 102661, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102661>.

LUCENA, Wanderson Benerval de. **Respiração solo: conexões entre emissão de CO₂ e o influxo de O₂ do solo com variáveis meteorológicas em diferentes sistemas agrícolas tropicais**. 2024. 135 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2024. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/255672>. Acesso em: 16 ago. 2026.

MORITA, T.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. **Manual de soluções, reagentes & solventes: padronização, preparação, purificação**. 11. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Version 3.4.1. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 16 ago. 2026.

SANTOS, Thiago Cândido dos. **Impactos das mudanças de uso da terra e manejo nos estoques de carbono do solo em diferentes biomas brasileiros**. 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019.

SILVA, Joélia Natália Bezerra da; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano; SILVA, Jéssica Laís Bezerra da; SOARES, Gabriel Antônio Silva; TIBURCIO, Igor Maciel; BARROS, Juliana Patrícia Fernandes Guedes. Estimativas de sequestro de carbono por diferentes métodos em ecossistemas florestais: uma abordagem sobre a floresta tropical sazonalmente seca (Caatinga). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 75-93, 2024. DOI: <https://doi.org/10.66205/rvbma.v12i1.1610>.

SILVA, Renata Amaral da. **Caracterização da relação espaço-temporal da emissão de CO₂ do solo em áreas de eucalipto e silvipastoril com o uso de aprendizado de máquina**. 2024. Tese (Mestrado em Agronomia: Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2024.

VIEIRA, Luana Ferreira. **Aplicação de microrganismos e seus benefícios para sequestro e estoque de carbono no solo**. 2023. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/43179>. Acesso em: 16 ago. 2026.

VILAS BOAS DOS SANTOS, Cloves; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello; MOURA, Magna Soelma Beserra de; SILVA, Ardemírio de Barros; FRANCA-ROCHA, Washington de Jesus Sant'Anna da; CARVALHO, Herica Fernanda de Sousa; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. Validação de um modelo espectral para determinação de fluxos de CO₂ em áreas do Bioma Caatinga. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 3, p. 226-239, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.8.3.2023.4724.226-239>.

Emitido em 02/09/2026

MONOGRAFIA Nº 1/2026 - CCHSA - CCCA (11.01.24.17)
(Nº do Documento: 1)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 04/09/2026 11:11)
LEANDRO RIOS ANDRADE
ASSISTENTE EM ADMINISTRACAO
3152105

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: **1**,
ano: **2026**, documento (espécie): **MONOGRAFIA**, data de emissão: **04/09/2026** e o código de verificação:
f18feae54