

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id5504>

ARTIGO ORIGINAL

Respiração edáfica em diferentes sistemas de uso e manejo do solo em um Brejo de Altitude no Agreste Paraibano

RESUMO: As flutuações de dióxido de carbono (CO₂) na interface solo-atmosfera incide a necessidade de ensejar determinada atenção aos elementos que influenciam suas elevações, como o uso da terra, sistemas de cultivo e manejo do solo. Assim, objetivou-se avaliar a produção de CO₂ em diferentes sistemas de uso e manejo do solo nos períodos diurno e noturno, bem como verificar a evolução sazonal do CO₂. O estudo foi conduzido durante um período de 12 meses em quatro sistemas de uso da terra, sendo eles: Sistema Agroflorestal (SAF), Remanescente Florestal, Mandala Agrícola e Pastagem. A atividade microbiana foi estimada pela quantificação do dióxido de carbono (CO₂) liberado no processo de respiração edáfica e capturado por solução de hidróxido de potássio (KOH). O estudo decorreu em parcelas subdivididas com nove repetições, em delineamento inteiramente casualizado, de modo que tais parcelas representam os diferentes sistemas e as subparcelas consistem nos períodos (diurno e noturno). Os sistemas de uso da terra e seus respectivos manejos interferem diretamente sobre a atividade microbiana, sendo constatada maior emissão de CO₂ na seguinte ordem decrescente: SAF > Mandala > Pastagem > Floresta. A produção média diária de CO₂ no período noturno foi maior quando comparada ao período diurno. As oscilações da evolução temporal de CO₂ foram influenciadas pelas variações sazonais ao longo dos doze meses de avaliação.

Palavras-chave: agroecossistemas; efluxo; oxidação; sustentabilidade.

Edaphic respiration in different systems of land use and management in a Highland Brejo in the Agreste Paraibano

ABSTRACT: Carbon dioxide (CO₂) fluctuations at the soil-atmosphere interface affect the need to maintain attention to the elements that influence their elevations, such as land use, cultivation systems and soil management. Therefore, it aims to evaluate the production of CO₂ in different systems of

SUBMETIDO 01/03/2021

APROVADO 09/09/2021

PUBLICADO ON-LINE 09/09/2021

PUBLICADO 30/09/2022

EDITORES ASSOCIADOS

Fábio Júnior Araújo Silva e Monaliza
Mirella de Moraes Andrade Cordeiro

 Moisés Bittar de Araújo^[1]

 Alex da Silva Barbosa^[2]

 Thiago de Sousa Melo^[3]

 Vênia Camelo de Souza^[4]

 João Henrique Constantino
Sales Silva^{[5]*}

[1] moises_bittar@hotmail.com

[3] tsm2@academico.ufpb.br

[5] joaohenriqueconst@gmail.com

Programa de Pós-Graduação em
Ciências Agrárias / Universidade
Federal da Paraíba (UFPB), Campus
Bananeiras, Brasil

[2] aldasibarbosa@cchsa.ufpb.br

Departamento de Agricultura /
Universidade Federal da Paraíba
(UFPB) Campus Bananeiras, Brasil

[4] venia_camelo@hotmail.com

Departamento de Ciências Básicas
e Sociais / Universidade Federal da
Paraíba (UFPB), Campus Bananeiras,
Brasil

*Autor para correspondência.

use and management of soil in day and night periods, as well as to verify the seasonal evolution of CO₂. The study was conducted over a period of twelve months in four systems, namely: Agroforestry System, Remaining Forestry, Agricultural Mandala and Pasture. A microbial activity was estimated by the quantification of carbon dioxide (CO₂) released in the built-up respiration process and captured by the KOH solution. The study took place in split plots with nine replications in a completely randomized design, so that the plots represent the different systems and the subplots consist of the periods (daytime and nighttime). Land use systems and their identified residues directly interfere with microbial activity, higher CO₂ emissions were found in the following decreasing order: SAF > Mandala > Pasture > Forest. The average daily production of CO₂ during the night was higher when compared to the day. The fluctuations in the temporal evolution of CO₂ were influenced by seasonal changes over the twelve months of evaluation.

Keywords: *agroecosystems; efflux; oxidation; sustainability.*

1 Introdução

As emissões de gases de efeito estufa para atmosfera representam um dos vilões que contribuem para o aumento da temperatura média global de aproximadamente 0,7 °C. Essa questão ganhou maior notoriedade a partir da década de 1990 e no prelúdio do ano 2000, quando registraram demasiado volume de diversos gases na atmosfera, incluído o CO₂ (HOUGHTON *et al.*, 1983). Na perspectiva de análise do CO₂, surpreendentemente numa escala de tempo, a contar de 1800, houve um aumento expressivo de 280 ppm para 400 ppm – com efeito – até o final dessa década incorre uma profusão de aumento que ultrapassará os 700 ppm (QUÉRÉ *et al.*, 2014). O aumento da concentração de CO₂ na atmosfera terrestre é a principal causa do aquecimento global, representando cerca de 60% das emissões totais de gases do efeito estufa (GEE), práticas recorrentes inerentes aos processos agrícolas que têm forte relação com esse aumento, como por exemplo, a queima da biomassa vegetal associada à conversão da vegetação nativa (pradarias e florestas) para agricultura e a rápida decomposição da matéria orgânica do solo (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007; HOUGHTON *et al.*, 1983).

As mudanças no uso da terra acarretam alterações das propriedades química, física e biológica do solo. Em relação à produção vegetal, uma das mudanças deste uso ocorre mediante a substituição de ecossistemas naturais em agroecossistemas - decorrente da introdução de novas culturas para fins de produção agrícola e pecuária. Tais processos degradantes no solo coeso ao manejo inadequado acabam por reduzir expressivamente o estoque de carbono (C) no solo (LAL *et al.*, 1995). Nessa perspectiva, para Gouvello, Soares-Filho e Nassar (2010), as flutuações de aumento do CO₂ da interface solo-atmosfera incidem a necessidade de ensejar determinada atenção aos tipos de sistemas de uso e os manejos de solo que afetam na quantidade de CO₂ emitido do solo para a atmosfera.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) atuam como modelos de produção alternativos que ofertam vastos benefícios aos processos ecológicos, contribuindo tanto para o aumento da biodiversidade, como também na restauração de áreas degradadas. Esses benefícios são alcançados pelo fato de que os sistemas agroflorestais buscam a otimização da área de cultivo, atribuem a versatilidade das atividades integradoras e, de tal forma, sistematizam o uso da terra e seus componentes, promovendo maior aporte de matéria

orgânica no solo e, conseqüentemente, favorecendo o aumento da biomassa microbiana (SCHEMBERGUE *et al.*, 2017).

Nessa perspectiva, é pertinente discorrer que em solos de sistemas agroflorestais, as atividades microbianas são contínuas. Em conformidade com o que pensa Franchini *et al.* (2007), tal frequência constante das atividades metabólicas da microbiota do solo é provocada por meio da falta do revolvimento do solo ao longo do processo temporal contínuo do sistema. Além disso, com a incorporação da fitomassa foliar no solo, por meio das podas dos componentes arbóreos, propicia a elevação do potencial energético do solo, favorecendo a ascensão das atividades microbianas – com efeito – preserva-se a biota do solo (STARK *et al.*, 2008).

Sendo assim, os microrganismos processam de modo eficiente suas atividades metabólicas num ambiente que favorece o seu desenvolvimento por meio da influência ponderada dos aspectos físico-químicos e biológicos, conferidas em resposta à incorporação dos resíduos orgânicos que servem como fonte de energia e nutrientes à biota do solo, assim como conteúdo de água, temperatura mediana do solo, densidade, textura e porosidade. Os SAFs podem formar um ambiente próspero, certo que a microbiota age de modo mais eficaz na incorporação da matéria orgânica e, conseqüentemente, na movimentação dos macros e micronutrientes, bem como na fragmentação dos resíduos orgânicos e à mistura com o solo mineral (DUCATTI, 2002).

Diante da relevância dos Sistemas Agroflorestais, Lopes *et al.* (2015), ao avaliarem o carbono orgânico em SAFs de café para o parâmetro químico carbono orgânico dissolvido (COD), analisado sob profundidade de 0 cm a 5 cm e de 5 cm a 20 cm, encontraram valores correspondentes entre 11,7 g/kg e 40,6 g/kg, tais concentrações estão dentro do padrão estabelecido para solos tropicais, uma vez que as espécies arbóreas implantadas no SAF contribuem para incorporação de C no solo em quantidades substanciais de material residual orgânico depositado neste, tanto na superfície quanto em camadas mais profundas (NOPONEN *et al.*, 2013).

Para mesma variável estudada; porém, avaliando o SAF de cacau, localizado no sul da Bahia, Monroe *et al.*, (2016) observaram um estoque de COS (carbono orgânico do solo) de 180 mg C ha⁻¹ para a camada de 0 cm a 100 cm; comparado com Barreto *et al.* (2011), que avaliaram o SAF de cacau e eritrina e verificaram um estoque de CO equivalente a 93,79 mg C ha⁻¹ na camada de 0 cm a 50 cm. Nesse sentido, é conspícua a capacidade que esse tipo de sistema tem de armazenar quantidades vultosas de C no solo no decorrer do tempo; facultando um sistema de produção que desempenha mais a função de sumidouro de carbono do solo.

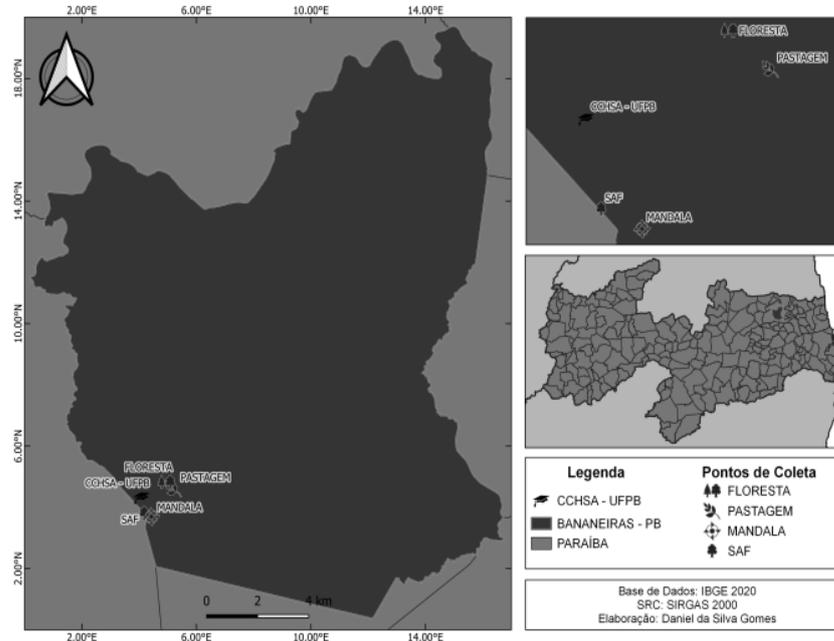
Diante do exposto, objetivou-se avaliar a produção média diária de CO₂ diurno e noturno em resposta aos sistemas de uso da terra e manejo do solo por intermédio da respiração edáfica, além de verificar a evolução do CO₂ ao longo do tempo.

2 Método da pesquisa

O estudo foi desenvolvido no Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias (CCHSA), da Universidade Federal da Paraíba, Campus III, Bananeiras (PB). O município está localizado na mesorregião do Agreste da Paraíba, apresentando uma sazonalidade climática bem demarcada: uma estação chuvosa, que vai de março a agosto, e uma estação seca, de setembro a fevereiro (CAMPOS; QUEIROZ, 2006). A fertilidade dos solos do município varia entre média e alta e sua vegetação é formada por floresta com espécies subcaducifólicas e caducifólicas, típicas de áreas de agreste (PETERSEN; SILVEIRA;

ALMEIDA, 2002). A respiração edáfica foi avaliada em quatro sistemas de uso e manejo de solo nas imediações do CCHSA/UFPB, sendo eles: sistema agroflorestal, mandala agrícola, pastagem e remanescente de Mata Atlântica (Figura 1).

Figura 1 ►
Mapa de localização das áreas experimentais distribuídas no CCHSA/UFPB, Bananeiras (PB).
Fonte: dados da pesquisa



2.1 Descrição das áreas experimentais

Para assegurar a descrição dos aspectos históricos, composição vegetal e das atividades de manejo desenvolvidas nas respectivas áreas experimentais, foi feito um levantamento de dados a fim de obter informações acerca das características de cada sistema de uso da terra, mediante consulta aos servidores terceirizados e técnicos administrativos do CCHSA/UFPB. A classificação e as características inerentes ao solo das áreas foram referenciadas com base na região em que estas áreas estão inseridas; solos classificados de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006).

- A pastagem está localizada geograficamente em latitude/longitude 6°45'00''S, 35°38'21''W. O tamanho da área é de 1,15 ha, com o tempo de formação e tipo de vegetação formado por uma área coberta com vegetação nativa espontânea como o capim-luca (*Sporobolus indicus* (L.) R.Br.) e algumas espécies herbáceas e algumas jaqueiras (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). A classificação e características do solo – Latossolo Amarelo Distrófico típico – particularizam-se por ter um perfil com profundidade excessiva, bem drenada, que retém água de modo moderado e classe textural franco-argilo-arenosa. O manejo, operações e instalações nos últimos três anos é de uma área coberta com pasto nativo e plantas invasoras sem submissão de práticas e técnicas de manejo da forragem; em 2015 foi assegurada a tentativa de recuperar a área com a implantação do capim-massai (*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K.Simon & S.W.L.Jacobs) para, posteriormente, oportunizar a entrada dos animais na pastagem, porém, com a falta de tratamentos culturais, houve a infestação de plantas invasoras tornando a área imprópria. Em 2019, aproximadamente na terceira semana de abril, foi realizada a aragem e gradagem do solo;

- Sistema Agroflorestal – Localização geográfica (latitude/longitude): 6°45'25''S, 35°38'53''W. Tamanho da área: 0,68 ha. Tempo de formação e tipo de vegetação: aproximadamente 14 anos, contendo gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.) como espécie vegetal principal e cultura do café sendo a espécie secundária (*Coffea* sp.). Classificação e características do solo: Podzólicos – caracterizam-se por apresentar perfil profundo, textura argilosa e fertilidade natural média a alta. Manejo, operações e instalações nos últimos três anos: tratos culturais – capina; colheita da cultura do café; equipamento de irrigação por gotejamento instalado um tempo depois do plantio da cultura do café; presença de armadilha para captura da macrofauna;
- Mandala Agrícola – Localização geográfica (latitude/longitude): 6°45'29''S, 35°38'45''W. Tamanho da área: 0,38 ha. Tempo de formação e tipo de vegetação: por volta de 15 anos, formado pela mescla de hortaliças, plantas medicinais e frutíferas. Classificação e características do solo: Podzólicos – caracterizados por apresentarem perfil profundo, textura argilosa e fertilidade natural média a alta. Manejo, operações e instalações nos últimos três anos: plantio de culturas anuais – milho, macaxeira, feijão e hortaliças, alface, coentro, couve, cebolinha; técnica de rotação de culturas entre as culturas anuais e hortaliças nas zonas de plantio; capinas, podas e repicagem; irrigação manual; colheita da matéria prima das culturas, como também das frutíferas; técnicas de manejo do solo – cultivo mínimo e sistema de plantio direto; adubação orgânica e correção do solo;
- Remanescente de Floresta – Localização geográfica (latitude/longitude): 6°45'56''S, 35°38'25''W. Tamanho da área: 1,76 ha. Tempo de formação e tipo de vegetação: remanescente de floresta com vegetação nativa constituída essencialmente por biriba-branca (*Eschweilera ovata* (Cambess.) Mart. ex Miers), pitombeira (*Talisia esculenta* (A. St.-Hil.) Radlk), jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), entre outras não identificadas. Classificação e características do solo: Latossolo Amarelo Distrófico típico – particulariza-se por ter um perfil com profundidade excessiva, bem drenada, retém água de modo moderado e classe textural franco-argilo-arenosa. Manejo, operações e instalações nos últimos três anos: sucessão ecológica sem interferência de atividades antropogênicas.

2.2 Delineamento experimental

O estudo da respiração edáfica do solo decorreu em parcelas subdivididas com nove repetições em delineamento inteiramente casualizado, de modo que as parcelas representam os diferentes sistemas e, as subparcelas consistem nos períodos (diurno e noturno) de avaliação do CO₂ desprendido do solo. As avaliações do CO₂ foram realizadas mensalmente ao longo de 12 meses, onde oportunizaram ao estudo, análises de variações do CO₂ para as duas estações do ano: seca e chuvosa. Para cada parcela foi determinado nove pontos de amostras para assegurar a captura do CO₂, contidos em minicercados arranjados na zona interna central das parcelas; para cada parcela integrou três minicercados, contendo em cada um deles três pontos amostrais. Sucederam 18 leituras em cada parcela, sendo nove para a captura do CO₂ diurno (de 5 horas às 17 horas) e os outros nove para o CO₂ noturno (de 17 horas às 5 horas), perfazendo 72 unidades experimentais, equivalendo-se 36 unidades para avaliações do CO₂ noturna enquanto que o restante destina-se ao efluxo de CO₂ diurno.

Para quantificar as variações do CO₂ nos respectivos sistemas de uso da terra, empregou-se o método químico de Grisi (1978), resultando na concessão da captura do

CO₂ emitido do solo utilizando uma solução alcalina. O gás é tomado por uma solução de hidróxido de potássio (KOH) 0,5 N e titulado com ácido clorídrico (HCL) 01 N em consonância com a utilização da fenolftaleína e alaranjado de metila a 1%, determinados como indicadores (MORITA; ASSUMPCÃO, 1993). Por conseguinte, também se utilizou testemunhas – frascos controles – para os quatro sistemas de uso da terra mantidos hermeticamente fechados, para também serem submetidos ao processo de titulação. O método para assegurar a captura do CO₂ no solo, de acordo com a metodologia do autor, consta na utilização de câmara ou cilindro de proteção invertido, contendo em seu interior o frasco com a solução KOH 0,5 N. Porém, nesse estudo a metodologia aplicada sofreu alterações, sendo utilizados baldes de plásticos em vez dos materiais citados pelo autor.

Para quantificar o CO₂ desprendido do solo aplicou a seguinte equação (Equação 1):

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

$$A'CO_2 = ACO_2 * \left(\frac{4}{3} * \frac{10.000}{h} + S \right) \text{ em mg} \quad (1)$$

na qual A'CO₂ é a absorção de CO₂; A é a diferença, em ml, entre a 1ª e a 2ª viragem da coloração da amostra; B é a diferença, em ml, entre a 1ª e 2ª viragem da coloração do controle ou testemunha; h é o período de permanência da amostra no solo (horas); S é a área de abrangência do balde.

2.3 Análise química do solo

Para análise química do solo (Tabela 1) determinou-se a coleta de subamostras (amostras simples) na profundidade de 0 cm -20 cm de solo, onde foram acondicionadas em sacolas plásticas para em seguida serem depositadas em um recipiente a fim de realizar a homogeneização para formar uma amostra composta. Depois de concluídas as etapas: coleta das amostras, acondicionamento e homogeneização, as amostras compostas foram conduzidas para o laboratório de análise química do solo no CCHASA/UFPB, obedecendo à metodologia conforme a literatura (EMBRAPA, 1999).

Tabela 1 ▼
Resultado da análise química do solo dos sistemas de uso da terra. pH, Potencial hidrogeniônico; P, Fósforo assimilável; K⁺, Potássio trocável; Na⁺, Sódio trocável; H⁺ + Al⁺, Acidez trocável; Ca²⁺, Cálcio trocável; Mg²⁺, Magnésio trocável; SB, Somatório de bases; CTC, Capacidade de troca de cátions; VC, Percentual de saturação por bases; M.O, Matéria orgânica; C.O, carbônico orgânico.
Fonte: dados da pesquisa

| Sistemas | pH (H ₂ O) | P mg/dm ³ | K ⁺ | Na ⁺ | H ⁺ + Al ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SB | CTC | V % | M.O g/kg | C.O |
|----------|-----------------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|------------------|------------------|------|-------|--------|-------------|-------|
| SAF | 6,32 | 12,23 | 211,75 | 0,01 | 6,11 | 2,3 | 3 | 5,85 | 11,96 | 48,94 | 38,73 | 22,47 |
| Floresta | 5,43 | 6,28 | 56,15 | 0,07 | 6,44 | 1,2 | 1,8 | 3,21 | 9,65 | 33,31 | 38,73 | 22,47 |
| Mandala | 5,88 | 172,24 | 214,87 | 0,09 | 2,15 | 5,1 | 2,3 | 8,04 | 10,18 | 78,94 | 35,52 | 20,6 |
| Pastagem | 6,04 | 15,25 | 207,85 | 0,01 | 2,31 | 1,3 | 3,3 | 5,14 | 7,45 | 69,00 | 13,79 | 8 |

2.4 Análise Estatística

Para a análise estatística, a princípio se investigou a normalidade do erro por meio do teste de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov. Em seguida, realizou-se a verificação da homogeneidade da variância aplicando-se o teste de Bartlett. O conjunto dos valores observados não aderiu à normalidade, haja vista foi processada a transformação dos valores do conjunto de dados em logaritmo natural. Seguidamente atestou a *two-way*

análise de variância (ANOVA) aos dados transformados, bem como a comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) com o auxílio do *software* estatístico R, versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2017). Por intermédio do programa Excel, foi construído o gráfico de linha poligonal para indicar a série temporal e explicar as flutuações do fluxo de CO₂ ao longo do tempo.

3 Resultados

O resumo do quadro ANOVA (Tabela 2) denota a comprovação da significância ao nível de 5% para a variável resposta estudada. Verificou-se significância para efeito de interação entre os tratamentos (sistemas e períodos), assim como para cada tratamento isoladamente. Dessa forma, entende-se que os diferentes sistemas de uso da terra e os períodos exercem efeito dependente sobre as atividades metabólicas dos micro-organismos presentes no solo, influenciando as flutuações do efluxo de CO₂.

Tabela 2 ►

Resumo da análise de variância (ANOVA) da produção média diária do CO₂ nos diferentes sistemas de uso da terra no Brejo de Altitude em Bananeiras (PB).

FV - Fontes de variação;
GL - Grau de liberdade;
SQ - Soma de quadrados;
QM - Quadrados médios;
CV - Coeficiente de variação;
***, **, * - significativo a $p < 0,0001$, $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

Fonte: dados da pesquisa

| FV | GL | SQ | QM |
|---------------------|----|---------|-------------|
| Sistemas | 3 | 0,26564 | 0,088546*** |
| Erro (a) | 32 | 0,04780 | 0,001494 |
| Período | 1 | 0,13090 | 0,130901*** |
| Sistemas x períodos | 3 | 0,07289 | 0,024298*** |
| Erro (b) | 32 | 0,02736 | 0,000855 |
| Total | 71 | 0,54459 | |
| CV 1 | % | | 1,80 |
| CV 2 | % | | 1,36 |

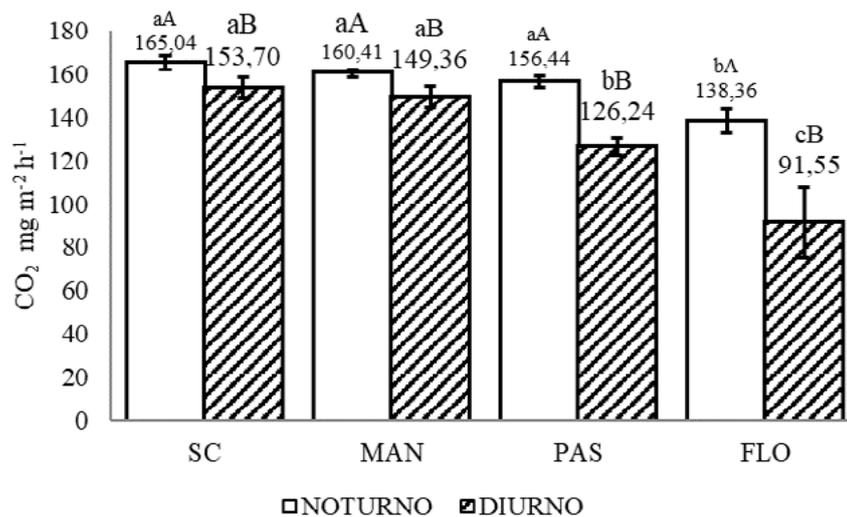
Conforme expresso na Figura 2, percebe-se que, para todos os sistemas de uso da terra, em virtude de seus diferentes manejos do solo, a produção média diária de CO₂ no período noturno diferenciou estatisticamente ($p < 0,05\%$) das flutuações do efluxo do CO₂ diurno, sendo que o maior valor observado foi registrado no SAF com café apresentando um valor de 165,04 mg.m⁻².h⁻¹ e o menor desprendimento de CO₂ no fragmento de floresta, que indicou uma produção de 138,36 mg m⁻².h⁻¹. Em contrapartida, nesse mesmo período noturno houve apenas diferenças estatísticas ($p < 0,05\%$) dos sistemas de uso da terra (SAF, MAN e PAS) em função apenas do ecossistema florestal.

Verificou-se que os dois sistemas de produção SAF com café e Mandala suscitaram os maiores valores de liberação de CO₂ (Figura 2), independente da influência dos turnos, todavia esses dois sistemas não diferem significativamente ($p < 0,05\%$) entre si. Mesmo assim, as variações de liberação de CO₂ no SAF com café e Mandala exercem efeitos estatisticamente diferentes sobre o efluxo de CO₂ diurno, quando comparado aos demais sistemas de uso da terra – Pastagem e Fragmento de floresta – para o SAF com café corresponde a 21,7% e 67,8% superior as liberações de CO₂ diurno oriundos dos solos pastagem e floresta, enquanto o sistema de uso da terra Mandala a taxa de efluxo de CO₂ representa uma ascendência de 18,3% e 63,1%.

Figura 2 ►

Distribuição das variações médias do efluxo do CO₂ dos diferentes sistemas de uso e manejo do solo em áreas de Brejo de Altitude do município de Bananeiras (PB). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. SC – SAF com café; MAN – Mandala; PAS – Pastagem; FLO – Fragmento de Floresta; barras de desvio padrão da média. Letras minúsculas comparam os sistemas de uso da terra para cada período, letras maiúsculas comparam os períodos dentro de cada sistema de uso da terra.

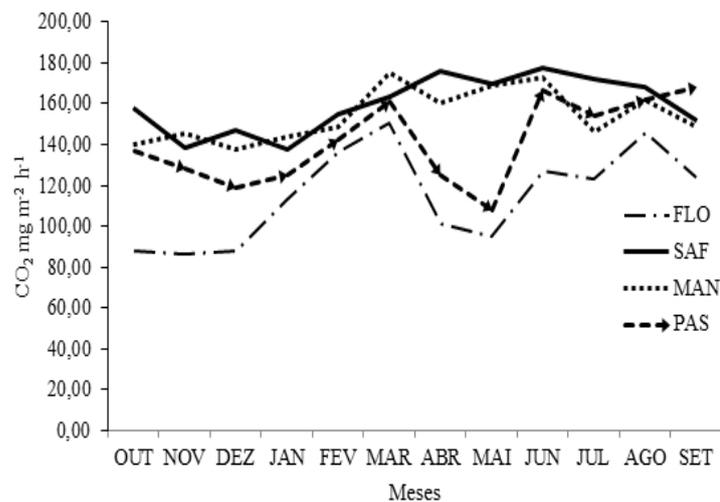
Fonte: dados da pesquisa



A taxa de produção média diária total (noturno + diurno) de CO₂ do SAF foi de 159,47 mg.m⁻².h⁻¹, alcançando um valor mais alto em conformidade ao valor de produção e liberação de CO₂, 70,16 mg m⁻² h⁻¹. Em resposta a evolução temporal da produção total (diurno + noturno) do CO₂ desprendido do solo (Figura 3) referente aos sistemas de uso da terra, os valores com menor e maior variação foram 86,57 mg.m⁻².h⁻¹ e 177,7 mg.m⁻².h⁻¹, observados na Floresta e no Sistema Agroflorestal, respectivamente. Esses valores correspondem a 10,41 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ e 21,32 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ e 3.799,65 kg.ha⁻¹ ano⁻¹ e 7.783,28 kg.ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Figura 3 ►

Evolução temporal da média total (diurno + noturno) do efluxo de CO₂ entre outubro/2018 e setembro/2019 nos sistemas de uso da terra e manejo do solo em áreas de Brejo de Altitude no município de Bananeiras (PB). FLO (Floresta), SAF (Sistema Agroflorestal) MAN (Mandala), PAS (Pastagem). Fonte: dados da pesquisa



Observou-se que entre os meses de abril e maio houve um pico de produção de CO₂ no sistema de uso da terra sob pastagem, 166,48 mg.m⁻².h⁻¹, respectivamente (Figura 3). As maiores produções de CO₂ observadas ao longo do tempo foram atestadas nos sistemas de uso da terra SAF com café e Mandala, visto que para o SAF com café, o mês de junho revelou maior liberação de CO₂ com 177,7 mg.m⁻².h⁻¹ quando comparado aos demais, enquanto a maior produção de CO₂ para Mandala foi correspondente a 175,24 mg.m⁻².h⁻¹ no mês de março (Figura 3).

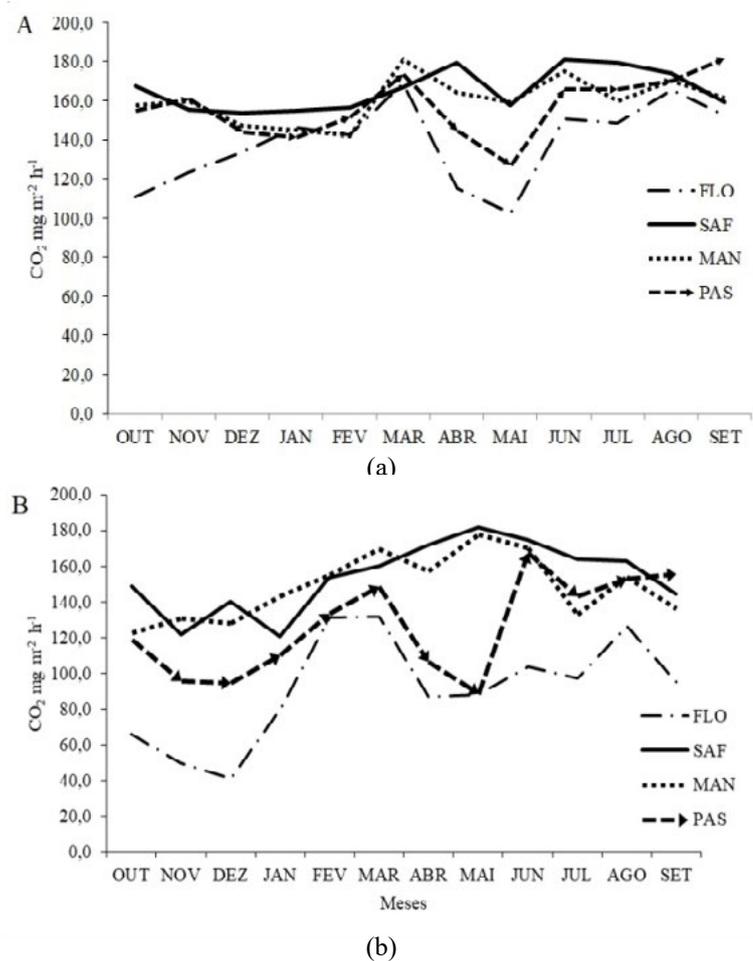
A variação temporal para o fluxo de CO₂ emanado do solo SAF com café (Figura 3) endossa a percepção de um crescimento para esta variável, dado que nas primeiras ocorrências de meses sucederam numa razoável oscilação, a contar do mês de fevereiro, onde se iniciou um progresso de produção: 154,9 mg.m⁻².h⁻¹; 163,3 mg.m⁻².h⁻¹; e 175,6 mg.m⁻².h⁻¹, ao passo que do mês junho em diante transcorreu um declínio de produção de CO₂ numa tendência uniforme. Assim, as flutuações temporais da liberação de CO₂ do solo SAF com café estabeleceram equilíbrio nas liberações.

Constatou-se que a produção média do efluxo do CO₂ noturno foi praticamente superior em todas as épocas de avaliação nos sistemas de uso (Figura 4a), comparado a produção de CO₂ diurno (Figura 4b), com exceção para os meses de fevereiro e maio, avaliados sob os solos dos sistemas Mandala e SAF. Evidenciou maior variação sob solo Mandala para época de avaliação de março com 180,85 mg.m⁻².h⁻¹, enquanto que o valor máximo de produção de CO₂ noturno emitido sob o solo SAF com café registrou a segunda maior produção ao mês de junho 175,24 mg.m⁻².h⁻¹, respectivamente.

Figura 4 ►

Evolução temporal do efluxo do CO₂ noturno (a) e diurno (b) entre outubro/2018 e setembro/2019 nos sistemas de uso da terra e formas de manejo do solo em áreas de Brejo de Altitude no município de Bananeiras (PB). FLO (Floresta), SAF (Sistema Agroflorestal) MAN (Mandala), PAS (Pastagem).

Fonte: dados da pesquisa



Para as variações do efluxo do CO₂ diurno (Figura 4b) observa-se que nos sistemas de uso da terra os valores médios de produção de CO₂ foram mais expressivos ao longo do ano, em termo de distanciamento de valores, isto é, o efluxo de CO₂ diurno distanciou-se mais, principalmente, do SAF com café e Mandala, em relação à evolução temporal do efluxo de CO₂ noturno. O solo do Remanescente de Floresta alcançou os menores valores de desprendimento de CO₂, registrando a menor variação no mês de dezembro/2018

com 41,4 mg.m⁻².h⁻¹ (Figura 4b) para o CO₂ diurno e 102,3 mg.m⁻².h⁻¹ no mês de maio referente ao CO₂ noturno (Figura 4a).

4 Discussão

O valor médio do efluxo do CO₂ noturno no presente trabalho, considerando todos os sistemas, foi de 155,06 mg.m⁻².h⁻¹, valor compatível com o resultado alcançado no trabalho de Santos *et al.* (2016), com média de liberação de CO₂ noturno equivalente à 166,47 mg.m⁻².h⁻¹, em um estudo que analisou a respiração microbiana num sistema de uso da terra localizado no semiárido de Alagoas. Outros valores que também se aproximaram desse trabalho em relação às variações de desprendimento de CO₂ entre os períodos, sendo também atestada maior liberação de CO₂ no turno noturno com 132,83 mg.m⁻².h⁻¹, foram observadas por Araújo *et al.* (2009), que investigaram a produção de CO₂ nos turnos diurno e noturno em dois períodos de avaliação em área de caatinga.

A liberação de CO₂ emanado do solo, resultante da atividade microbiana, pode estar associada a uma série de aspectos que influenciam no desprendimento do CO₂ do solo, tais como: estrutura e composição da vegetação, densidade, características físico-químicas do solo e a biomassa de organismos (SUNDARAPANDIAN; KIRTHIGA, 2011). Gomes *et al.* (2021) também verificaram influência dos sistemas de ocupação da terra na cinética de liberação de CO₂ edáfico. De acordo com estes autores, as emissões de CO₂ aumentam à medida que a temperatura do solo se eleva, com tendência à maior liberação no final da tarde, sendo que áreas mais antropizadas tendem a liberar maior quantidade de CO₂ para a atmosfera.

Os resultados que reportam em médias maiores de liberação do CO₂ no período noturno podem estar associados à queda substancial da temperatura durante o período noturno. Tal redução intercorre no aumento da umidade relativa do ar, provocando o acréscimo do conteúdo de água no solo, certo que irá intensificar as atividades microbianas do solo acarretando em maior volume de produção de CO₂ (POGGIANI *et al.*, 1977; CORREIA *et al.*, 2009). Maiores desprendimentos de CO₂ decorrem em função dos distúrbios ecológicos, uma vez que no período noturno as variações de temperatura são menores. Desse modo, conserva-se o conteúdo de água no solo propiciando uma condição melhor de ambiente para as atividades microbianas de modo a intensificar a produção de CO₂ (SOUTO *et al.*, 2009).

O SAF com café e o sistema Mandala instigaram maiores produções de CO₂. Tal resultado é que ambos os sistemas de uso condicionam forte ascensão de atividade microbiana por consequência da elevação de ciclagem de nutrientes que ocorre pela adição constante de matéria orgânica no solo (ROSCOE; MERCANTE; SALTON, 2006), além disso, segundo Martins e Matsumoto (2010), em sistemas orgânicos os microorganismos heterotróficos oportunizam maiores taxas de respiração celular, a julgar que esses dois sistemas de uso da terra são submetidos a práticas de manejo sustentável com ênfase nos princípios ecológicos para produção vegetal.

Como testemunhado no tópico dos resultados, o desprendimento do CO₂ sob solo SAF com café e Mandala – no período diurno – teve maior ascendência ($p < 0,05\%$) como resultado, supostamente explicado em resposta a influência da temperatura de modo mais atuante sobre as atividades microbiológicas, bem como decorrente do incremento exponencial de resíduos vegetais incorporados no solo dos respectivos sistemas de produção; propiciando maior disponibilidade de energia e nutrientes à população microbiana (KANG; KIM; LEE, 2000). Verifica-se que ambos os sistemas (SAF com café e Mandala) obtiveram teores altos de matéria orgânica (Tabela 1), o que explica a

intensidade da respiração do solo que remete as maiores produções de CO₂. O aumento da temperatura favorece a mudança na dinâmica da mineralização e decomposição da matéria orgânica, acelerando o processo de degradação que, sobretudo, promoverá o aumento do fluxo de CO₂ (ARAÚJO *et al.*, 2007).

A evolução temporal do efluxo de CO₂ diurno e noturno verificados no solo SAF com café se manteve constante. Uma teoria plausível que explica essas variações consiste que os solos de sistemas agroflorestais se aproximam das condições naturais, sendo mais estáveis por se tratar do uso eficiente dos recursos naturais, em que tais sistemas apresentam uma potencialização de produção de biomassa vegetal foliar (serapilheira) sobre o solo e na camada subterrânea, o que resulta maior presença de raiz ao longo de todo ano que infere certa constância de atividade microbiana no solo (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2008; PEZARICO *et al.*, 2013).

Em relação ao manejo de solo no sistema de uso Mandala, destaca-se a prática da adubação orgânica no sistema, ao passo que são adicionados periodicamente adubos orgânicos no solo da área constituídos de diversos materiais orgânicos como capim, palha, esterco, turfa e outros. A prática da adubação orgânica é considerada o ponto chave para a fertilidade do solo, certo que fornece elementos nutritivos às plantas contribuindo para o seu crescimento, além do mais, nutrientes e energia são fornecidos aos micro-organismos e, sobretudo, favorece a dinâmica do solo, otimizando as propriedades químicas, físicas e biológicas (BRAGA, 2010).

A divergência de oscilações do efluxo de CO₂ no SAF com café ao SAFs, mencionados nesse trabalho, sobrevém devido as mudanças na dinâmica do carbono no solo que, de acordo com Alves *et al.* (2011), são influenciadas pelo acúmulo de resíduos dispostos no solo provenientes das espécies arbóreas, ao passo que faculta maior aporte de material orgânico, o que coopera para maiores contingentes de nutrientes e energia e com efeito viabiliza o desenvolvimento da população microbiota, evidenciando maiores flutuações de CO₂. Portanto, possa ser que o SAF com café, devido apresentar teor alto de matéria orgânica no solo, aludida à influência positiva dos elementos climáticos, viabilize condições satisfatórias para a reprodução e crescimento microbiano do solo. Para Moreno *et al.* (2007), as atividades microbianas no solo endossam uma provável relação inconstante que varia em resposta da passagem do tempo; certo que os processos operacionais utilizados pela agricultura e/ou pecuária provocam perturbações na biota do solo que reflete maiores emissões de CO₂ (PANOSSO *et al.*, 2008).

O sistema Pastagem, diante de suas características, interfere nas elevações do CO₂ para os dois turnos, onde diferenciou ($p < 0,05$) em detrimento da floresta, ou seja, a taxa média de produção de CO₂ desprendida do solo da pastagem – referente a esse estudo – a propósito liberações expressivas acima dos valores de flutuações da floresta. Uma das hipóteses aceita é que o solo da pastagem comporte uma estrita abundância de biomassa microbiana que, por artifício do satisfatório volume radicular de plantas herbáceas no solo, certamente incide em significativa liberação de CO₂ para atmosfera. Com efeito, os solos de ecossistemas sob pastagem podem alçar emanações de CO₂ quatro vezes maiores que ecossistemas florestais (FEIGL; FERNANDES; RIZZO, 1997; ASSIS *et al.*, 2003).

Outro ponto levantado se dá por ocasião da prática de preparo do solo com a gradagem assegurada no mês de abril para a retirada da vegetação espontânea e, no início do mês seguinte, procedeu-se à aração. Para Costa, Zanatta e Bayer (2008), as práticas agrícolas de aração combinadas com a gradagem impele a ação microbiana direta sobre a matéria orgânica do solo, de modo que acarreta o aumento da entrada de ar nos espaços porosos, favorecendo um maior contato solo-residual vegetal. No entanto, esse processo acaba por exteriorizar o carbono lábil, sendo rapidamente perdido após a prática mecânica. Assim, as emissões de CO₂ são maiores em solo submetidos

à mobilização contínua com relação a sistemas de produção em que o revolvimento é mínimo. Além das perturbações microbianas, ocorre também, singularmente, a ruptura dos agregados danificando a estrutura do solo (SILVA *et al.*, 2015). Apesar do solo sob floresta apresentar um alto teor de matéria orgânica (Tabela 1), a taxa de respiração microbiana foi diminuta, ocasião tal que pode ser explicada em detrimento do sistema florestal ser estável — ocorrendo menos perda de C na forma de CO₂ — visto que se incorpora mais C nos tecidos microbianos, concorrendo para uma melhor eficiência da comunidade microbiana nesse sistema de uso, havendo menores flutuações de efluxo de CO₂ (REIS JÚNIOR; MENDES, 2007).

5 Conclusões

Os sistemas de uso da terra e seus respectivos manejos interferem diretamente sobre as atividades metabólicas dos micro-organismos presentes no solo, influenciando as flutuações do CO₂, obedecendo à seguinte sequência: SAF > Mandala > Pastagem > Floresta.

A produção média diária de CO₂ no período noturno é maior quando comparada ao período diurno.

As oscilações da evolução temporal de CO₂ são influenciadas pelas variações sazonais ao longo dos doze meses de avaliação.

Sugere-se que outros estudos sejam desenvolvidos a fim de avaliar a atividade microbiana em diferentes sistemas de ocupação do solo.

Financiamento

Agradecemos à Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pelo apoio financeiro (Chamada de Propostas de Produtividade em Pesquisa PROPESQ/PRPG/UFPB N° 03/2020, Código do projeto: PVO 13278-2020).

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referências

ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841>.

ARAÚJO, K. D.; ANDRADE, A. P.; RAPOSO, R. W. C.; ROSA, P. R. O.; JUNIOR, E. P. Perdas de CO₂ do solo e variabilidade temporal das condições climáticas no Semi-Árido Paraibano. *Revista Raega*, Curitiba, v. 34, n. 13, p. 99-107, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v13i0.5556>.

ARAÚJO, K. D.; PARENTE, H. N.; CORREIA, K. G.; DANTAS, R. T.; ANDRADE, A. P.; PAZERA JUNIOR, E. Liberação de dióxido de carbono (CO₂) em área de Caatinga no semiárido da Paraíba. **Geoambiente**, Jataí, n. 12, p. 42-53, jan./jun. 2009. DOI: https://doi.org/10.5216/rev_geoambic.v0i12.25982.

ASSIS, J.; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 35-41, fev. 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622003000100005>.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K. S.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, n. 81, p. 213-220, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9300-4>.

BRAGA, G. N. M. A importância e o manejo da adubação orgânica. **Na sala com Gismonti: assuntos sobre Agronomia**, 26 out. 2010. Disponível em: <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2010/10/importancia-e-o-manejo-da-adubacao.html>. Acesso em: 15 dez. 2019.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. Reclassificação dos perfis descritos no levantamento Exploratório-Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 45-50, 2006. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50060107>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CORREIA, K. G.; SANTOS, T. S.; ARAÚJO, K. D.; SOUTO, J. S.; FERNANDES, P. D. Atividade microbiana do solo em quatro estágios sucessionais da Caatinga no município de Santa Terezinha, Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p. 534-549, set./dez. 2009. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=347>. Acesso em: 21 jun. 2022.

COSTA, F.; ZANATTA, J.; BAYER, C. Emissões de gases de efeito estufa em agroecossistemas e potencial de mitigação. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.

DUCATTI, F. **Fauna edáfica em fragmentos florestais e em áreas reflorestadas com espécies da Mata Atlântica**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. DOI: <https://dx.doi.org/10.11606/D.11.2002.tde-06022003-151503>.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia, 1999.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

FEIGL, B. J.; FERNANDES, S. A. P.; RIZZO, R. T. Biomassa microbiana da serapilheira e do solo sob floresta e pastagem em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: SBSC, 1997. CD - ROM.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, R. A.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 18-29, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.12.010>.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1489-1499, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400013>.

GOMES, D. S.; BARBOSA, A. S.; SANTOS, T. M.; SANTOS, S. K.; SILVA, J. H. C. S.; AQUINO, Í. 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, e9810111413, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11413>.

GOUVELLO, C.; SOARES-FILHO, B. S.; NASSAR, A. **Estudo de baixo carbono para o Brasil: uso da terra, mudanças do uso da terra e floresta**. Washington, D.C.: World Bank Group, 2010. p. 70-170. Disponível em: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/823991468015878663?v>. Acesso em: 21 jun. 2022.

GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, v. 30, n. 1, p. 82-88, 1978.

HOUGHTON, R. A.; HOBBIE, J. E.; MELILLO, J. M.; MOORE, B.; PETERSON, B. J.; SHAVER, G. R.; WOODWELL, G. M. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO₂ to the atmosphere. **Ecological Monographs**, v. 53, n. 3 p. 235-262, Sept. 1983. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942531>.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **AR4 Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change**. 2007. Chapter 8. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg3/>. Acesso em: 8 maio 2020.

KANG, S.; KIM, S. S. O.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. **Forest Ecology and Management**, v. 136, n. 1-3, p. 173-184, Oct. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00290-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00290-X).

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. Towards improving the global data base on soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (ed.). **Soils and Global Change**. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995.

LOPES, V. S.; CARDOSO, I. M.; GOMES, L. C.; MOURA, W. M.; FERNANDES, R. B. A.; MENDONÇA, E. S. Carbono orgânico total em solos de lavouras de café em sistemas agroflorestais e a pleno sol. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, p. 7-12, 2015. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/19065>. Acesso em: 21 jun. 2022.

MARTINS NETO, F. L.; MATSUMOTO, S. N. Qualidade do solo e nutrição de plantas em sistemas de produção de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 206-213, set./dez. 2010. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/5416>. Acesso em 20 fev. 2021.

MONROE, P. H. M.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; MARQUES, J. R. B. Soil carbon stocks and origin under different cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 221, p. 99-108, Apr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.022>.

MORENO, S. A. C.; OLIVEIRA, M. L. J.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L. Efeito da calagem e do herbicida glifosato na atividade microbiana de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: SBCS, 2007.

MORITA, T.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. **Manual de soluções, reagentes e solventes**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1993.

NOPONEN, M. R. A.; HEALEYA, J. R.; JEREMY, G. S.; SOTO, G.; HAGGAR, J. P. Sink or source. The potential of coffee agroforestry systems to sequester atmospheric CO₂ into soil organic carbon. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**, v. 175, p. 60-68, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.012>.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SCALA JÚNIOR, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 227-236, jun. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000200003>.

PETERSEN, P.; SILVEIRA, L.; ALMEIDA, P. **Ecosistemas naturais e agroecossistemas tradicionais no Agreste da Paraíba**: uma analogia socialmente construída e uma oportunidade para a conversão agroecológica. 1. ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2002. p. 13-122.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, jan./mar. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>.

POGGIANI, F.; LIMA, W. P.; BALLONI, E. A.; NICOLIELLO, N. Respiração edáfica em plantações de coníferas e folhosas exóticas em área de cerrado do estado de São Paulo. **Revista IPEF**, n. 14, p. 129-148. 1977. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr14/cap05.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2022.

QUÉRÉ, C.; PETERS, G. P.; ANDRES, R. J.; ANDREW, R. M.; BODEN, T. A.; CIAIS, P.; FRIEDLINGSTEIN, P.; HOUGHTON, R. A.; MARLAND, G.; MORIARTY, R. Global carbon budget 2013. **Earth System Science Data**, v. 6, n. 1, p. 235-263, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-6-235-2014>.

R CORE TEAM. **The R Project for Statistical Computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2017. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 1 mar. 2020.

REIS JÚNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007. 40 p. (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111, 205). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/5722562>. Acesso em: 22 ago. 2022.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. 2. ed. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 304 p. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR20061254855>. Acesso em: 22 ago. 2022.

SANTOS, G. R.; SANTOS, É. M. C.; LIRA, E. S.; GOMES, D. L.; ARAUJO, K. D. Respiração microbiana do solo relacionada ao conteúdo de água no solo e a temperatura do solo, na época do equinócio de primavera, em Olho D'Água do Casado, Semiárido de Alagoas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 885-893, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10549>.

SCHEMBERGUE, A.; CUNHA, D. A.; CARLOS, S. M.; PIREZ, M. V.; FARIA, R. M. Sistemas Agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, p. 9-30, jan./mar. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>.

SILVA, D. M.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1585-1594, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150138>.

SOUTO, P. C.; BAKKE, I. A.; SOUTO, J. S.; OLIVEIRA, V. M. Cinética da respiração edáfica em dois ambientes no semi-árido da Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 52-58, jul./set. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1182>. Acesso em: 20 fev. 2021.

STARK, S.; KYTÖVIITA, M.-M.; MÄNNISTÖ, M. K.; NEUMANN, A. B. Soil microbial and microfaunal communities and organic matter quality in reindeer winter and summer ranges in Finnish subarctic mountain birch forests. **Applied Soil Ecology**, v. 40, n. 3, p. 456-464, Nov. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.009>.

SUNDARAPANDIAN, S. M.; KIRTHIGA, J. Soil respiration in different land use systems in Puducherry, India. **Journal of Theoretical and Experimental Biology**, v. 8, n. 1-2, p. 17-28, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3745.8569>.