



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**INDICADORES BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE PALMA FORRAGEIRA E  
LEGUMINOSAS NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO DE 2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**INDICADORES BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE PALMA FORRAGEIRA E  
LEGUMINOSAS NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

**DAYANNE CAMELO**

Zootecnista

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO DE 2020**

**DAYANNE CAMELO**

**INDICADORES BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS DE PALMA FORRAGEIRA E  
LEGUMINOSAS NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Comitê de orientação:

Prof. Dr. José Carlos Batista Dubeux Júnior - Orientador

Prof. Dr. Mário de Andrade Lira Júnior

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Mércia Virginia Ferreira dos Santos

**RECIFE – PE**

**FEVEREIRO DE 2020**

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

DAYANNE CAMELO – Filha de Maria de Lourdes Nonato de Souza e José Maria Camelo, nasceu no município de Crateús – CE, em 06 de fevereiro de 1994. Em janeiro de 2013 ingressou na primeira turma do curso de Zootecnia do Instituto Federal do Ceará (IFCE) *campus* Crateús, onde desenvolveu atividades de monitoria, extensão e iniciação científica. Em novembro de 2017 recebeu o título de Zootecnista. Em abril de 2018 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife, desenvolvendo seus estudos na área de Forragicultura, submetendo-se à defesa de dissertação para obtenção do título de Mestre em Zootecnia no dia 18 de fevereiro de 2020.

Ficha catalográfica

- C181i Camelo, Dayanne  
Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais de palma forrageira e leguminosas no Agreste de Pernambuco / Dayanne Camelo. - 2020.  
57 f.
- Orientador: Jose Carlos Batista Dubeux.  
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, 2020.
1. Composição isotópica. 2. Microbiana biomassa. 3. *Gliricidia sepium* [Jacq.] Steud. 4. *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit. 5. *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.. I. , Jose Carlos Batista Dubeux, orientador. II. Título

CDD 636

**DAYANNE CAMELO**

**INDICADORES BIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS  
AGROFLORESTAIS DE PALMA FORRAGEIRA E LEGUMINOSAS NO AGRESTE  
DE PERNAMBUCO**

Dissertação defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 18 de fevereiro de 2020.

Orientador:

---

Prof. PhD. José Carlos Batista Dubeux Júnior  
University of Florida

Comissão Examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Giselle Gomes Monteiro Fracetto  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Departamento de Agronomia

---

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha  
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE  
Departamento de Zootecnia

**RECIFE - PE  
FEVEREIRO - 2020**

Confie a Jeová tudo que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos.

Provérbios 16:3

Aos meus pais, Lourdes e José Maria, e à minha irmã, Elysne.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Jeová, por iluminar meu caminho e me dar força para percorrê-lo.

Aos meus pais, Lourdes e Jose Maria, à minha irmã Elysne, pelo amor, apoio, compreensão e incentivo em todos os momentos da minha vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade de ingressar no mundo científico.

À Estação Experimental de Caruaru do Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA, pela concessão do espaço e auxílio para execução do experimento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela bolsa concedida.

Ao meu orientador, Prof. José Carlos Batista Dubeux Junior, pela orientação constante e dedicação nesta fase da minha carreira de formação profissional, e pela confiança depositada em mim.

Aos meus co-orientadores: Prof<sup>a</sup>. Mércia Virginia Ferreira dos Santos e Prof. Mário de Andrade Lira Júnior, pelos conhecimentos compartilhados e pela disponibilidade durante todo o mestrado.

Aos professores Giselle Fracetto e Felipe Fracetto, pelo auxílio nas análises microbiológicas.

À University of Florida, por viabilizar as análises isotópicas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ), por compartilharem de forma brilhante seus conhecimentos e experiências ao longo do curso, fazendo-nos responsáveis e mais capacitados para exercer a profissão.

Aos amigos do grupo de pesquisa: Diana Valadares; Géssica Solanna; Nagila Ferreira; Aurielle Medeiros, Chrislanne Carvalho, Pedro Mouzinho, Maikon Lemos, Pedro Henrique e Tafnes Bernardo, por tornarem os cansativos dias de laboratório mais alegres e produtivos.

De forma especial, à família Câmara Lira, Cristina, Jane (*in memoriam*), Carolina, Francisco, Maria Helena, Gilberto, Silvio e Domitila, que me acolheram com carinho e atenção em seu aconchegante lar.

Aos colegas do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD): Suellen Miranda, Toni Carvalho, Osniel Faria e Carla Souza, por toda prestatividade e amizade.

À banca examinadora desta Dissertação, pelas correções e sugestões que contribuíram para complementar este trabalho.

Finalmente, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
Considerações Iniciais.....	3
Referencial Teórico: Alterações na biomassa microbiana e na matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com agroflorestas .....	5
1. Importância dos sistemas agrofloretais.....	6
2. Biomassa microbiana e matéria orgânica como indicadora da qualidade do solo .....	8
3. Atividade microbiana em sistemas agrofloretais .....	10
4. Referências Bibliográficas .....	13
Atividade microbiana do solo em áreas de palma forrageira em monocultivo e em sistemas agrofloretais com leguminosas arbóreas.....	20
Resumo.....	21
Abstract .....	22
Introdução.....	23
Material e Métodos.....	24
Resultados e Discussão .....	29
Conclusões .....	40
Referências Bibliográficas .....	41

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>Tabela 1.</b> Características químicas da área experimental, em outubro de 2018.....	25
<b>Tabela 2.</b> Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas dos solos dos diferentes sistemas de cultivos. ....	39

## LISTA DE FIGURAS

### Página

<b>Figura 1.</b> Precipitação pluviométrica mensal e temperatura máxima, média e mínima da Estação Experimental de Caruaru-IPA durante o período experimental. ....	25
<b>Figura 2.</b> Croqui da área experimental cultivada com palma forrageira consorciada com leguminosas arbóreas e em monocultivo, em Caruaru-PE.....	26
<b>Figura 3.</b> Croqui dos pontos de amostragem do solo nos sistemas consorciados de palma forrageira com leguminosas arbóreas, em Caruaru-PE.....	27
<b>Figura 4.</b> Abundância natural de $^{13}\text{C}$ em diferentes distâncias das leguminosas consorciadas com palma na profundidade 0-10 cm do solo. ....	29
<b>Figura 5.</b> Abundância natural de $^{15}\text{N}$ em diferentes distâncias das leguminosas consorciadas com palma na profundidade 0-10 cm do solo. ....	30
<b>Figura 6.</b> Carbono orgânico total (COT) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 10-20 cm do solo. ....	31
<b>Figura 7.</b> Nitrogênio total (NT) em diferentes períodos do ano na profundidade de 10-20 cm do solo. ....	31
<b>Figura 8.</b> Relação C:N do solo (C:N) em diferentes meses do ano na profundidade de 10-20 cm do solo. ....	32
<b>Figura 9.</b> Respiração basal do solo (RBS) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano nas diferentes profundidades do solo.....	33
<b>Figura 10.</b> Carbono (a) e nitrogênio (b) da biomassa microbiana (CBM e NBM) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo. ....	34
<b>Figura 11.</b> Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) em diferentes distâncias das leguminosas consorciadas com palma nas diferentes profundidades do solo.....	35
<b>Figura 12.</b> Quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo. ....	36
<b>Figura 13.</b> Quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) em diferentes meses do ano na profundidade de 10-20 cm do solo. ....	36
<b>Figura 14.</b> Quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo.....	37
<b>Figura 15.</b> Quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ) em diferentes períodos do ano na profundidade de 10-20 cm do solo. ....	37
<b>Figura 16.</b> Relação C:N microbiano (C:Nmic) em diferentes meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo. ....	38

## RESUMO GERAL

A composição botânica influencia a microbiologia do solo. Assim, é necessário estudar como as diferentes composições de consórcio afetam os parâmetros biológicos do solo e prever os benefícios de sua implantação. Objetivou-se avaliar o efeito da consorciação de leguminosas arbóreas com palma forrageira sobre a biomassa microbiana do solo no Agreste Pernambucano. Os tratamentos testados foram associações de leguminosas e palma forrageira, conforme descritos a seguir: i) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud e palma IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), ii) *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit. e palma IPA-Sertânia e iii) palma IPA-Sertânia. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As coletas de solo foram feitas nos meses de outubro/2018, abril/2019 e julho/2019. Coletaram-se amostras nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm em 0; 1,5; 3,0 e 4,5m de distância das faixas das leguminosas para as parcelas com consórcio. Nas parcelas de monocultivo foram coletadas amostras simples em apenas um ponto paralelo às árvores de leguminosas nas mesmas profundidades descritas anteriormente. Foram realizadas determinações da respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), quociente microbiano (qMIC), relação carbono e nitrogênio microbiano (C:Nmic), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação C:N (C:N) e abundância de  $^{13}C$  e  $^{15}N$  ( $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$ ). A RBS, NBM,  $qCO_2$  e qMIC foram menores ( $P < 0,05$ ) para amostras coletadas em abril/2019 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, 8,74 e 11,45  $\mu g CO_2 g^{-1} dia^{-1}$ ; 21,48 e 31,45  $mg kg^{-1}$ ; 0,05 e 0,05  $\mu g CO_2 g^{-1} CBM dia^{-1}$ ; 1,86 e 1,03%, respectivamente. O CBM e a relação C:Nmic foram menores para amostras coletadas em out/2018 na profundidade de 0-10 cm, e COT na profundidade 10-20 cm. O NT foi maior para amostras coletadas em out/2018. O  $\delta^{13}C$  variou com a distância das árvores, indicando a contribuição dos diferentes grupos de plantas presentes. O  $\delta^{15}N$  também variou com a distância das árvores, apontando maior contribuição do N fixado sob a copa das leguminosas. A atividade microbiana foi similar para amostras coletadas em out/2018 e abr/2019 nos diferentes sistemas de cultivo. A biomassa microbiana foi beneficiada quando se adicionou leguminosas arbóreas ao cultivo de palma durante jul/2019.

**Palavras-chave:** Composição isotópica, *Gliricidia sepium* [Jacq.] Steud, *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit; Microbiana biomassa; *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.

## GENERAL ABSTRACT

Botanical composition influence soil microbiology. Thus, it is necessary to study how different intercropping systems affect soil biological parameters to predict potential benefits of their implementation. The objective was to evaluate the intercropping effect of forage cactus with tree legumes on soil microbial biomass in Agreste Pernambucano. The treatments tested were the association of legumes and forage cactus, as described below: i) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud and forage cactus IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck); ii) *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit. and forage cactus IPA-Sertânia; and iii) forage cactus IPA-Sertânia. The randomized complete block design was used in a split-plot scheme, with four replications. Soil sampling were made in the months of October/2018 April/2019 and July/2019. Samples were collected at depths of 0-10 cm and 10-20 cm at 0; 1.5; 3.0 and 4.5 m away from legume rows in intercropping plots. In the monoculture plots, samples were collected at just one point parallel to the legume trees at the same depths described above. Determinations of soil basal respiration (BSR), microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), metabolic quotient ( $qCO_2$ ), microbial quotient ( $qMIC$ ), ratio carbon and microbial nitrogen (C:N<sub>mic</sub>), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), ratio carbon and nitrogen (C:N), and natural abundance of soil  $^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  ( $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$ ) were performed. The BSR, MBN,  $qCO_2$  and  $qMIC$  were lower ( $P < 0.05$ ) for samples collected in Apr/2019 in the 0-10 and 10-20 cm layers, 8.74 and 11.45  $\mu g CO_2 g^{-1} day^{-1}$ ; 21.48 and 31.45  $mg kg^{-1}$ ; 0.05 and 0.05  $\mu g CO_2 g^{-1} MBC day^{-1}$ ; 1.86 and 1.03%, respectively. The MBC and C / N<sub>mic</sub> ratio were lower for samples collected in Oct/2018 in the 0-10 cm layer, and TOC in the 10-20 cm layer. The TN was higher for samples collected in the Oct/2018. The  $\delta^{13}C$  varied with distance from trees, indicating the contribution of the different groups of plants. The  $\delta^{15}N$  also varied with the distance from the trees, indicating greater contribution of fixed N under the tree legume canopy. Microbial activity was similar for samples collected in the Oct/2018 and Apr/2019 in the different cropping systems. Microbial biomass benefits by adding leguminous tree to forage cactus cultivation during the Jul/2019.

**Keywords:** Isotopic composition; *Gliricidia sepium* [Jacq.] Steud; *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit; Microbial biomass; *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo a Organização das Nações Unidas, alguns tipos de práticas agrícolas (e.g. baixa cobertura do solo, não reposição de nutrientes, baixa adoção de práticas conservacionistas), provocam a erosão o que reduz a produtividade dos solos em 24%. No Brasil, estima-se que mais de 70% dos 173 milhões de hectares de pastagens encontram-se em algum estágio de degradação, resultado do uso e manejo inadequado do solo. Desta forma, existe a necessidade de adotar sistemas sustentáveis que mantenham os processos biológicos do solo que sejam menos dependentes de insumos externos (fertilizantes e herbicidas) e de cultivo mecânico para reduzir os impactos ao meio ambiente e conservar os solos.

O sistema agroflorestal (SAF) é uma forma de uso sustentável da terra que combina árvores e arbustos com culturas agrícolas ou forrageiras, com a presença ou ausência de animais. O uso de agroflorestas possibilita diversificar a produção (e.g. forragem, madeira, frutos, óleos, resinas), a melhoria do crescimento e da qualidade da forragem, incrementando o aporte de biomassa com baixa relação C:N para o solo. Outros benefícios em relação ao solo incluem menores riscos de erosão, aumento da infiltração de água, melhoria da capacidade de retenção de água, aumento do teor de matéria orgânica no solo, além do auxílio na incorporação gradativa de nutrientes pelas árvores que antes estavam em profundidades do solo inacessíveis às plantas herbáceas. Essas condições impulsionam a atividade biológica do solo, resultando em um ambiente mais resiliente, ou seja, capaz de suportar estresses ambientais. Os sistemas agroflorestais são conhecidos por seus serviços ambientais, como sua eficiência em sequestrar carbono.

Os benefícios de sistemas agroflorestais podem ser maiores quando ocorre a introdução de leguminosas arbóreas. A fixação biológica de nitrogênio por meio da simbiose com bactérias diazotróficas é uma forma econômica de adicionar nitrogênio ao solo, reduzindo os custos com fertilizantes nitrogenados e a pegada de carbono desses sistemas.

As diversas espécies vegetais presentes no SAF geram biomassa com diferentes características químicas, contribuindo distintamente no aporte de material orgânico ao solo, tanto em qualidade (recalcitrância) quanto em quantidade do material (folhas, galhos, frutos, flores). Desse modo, nas agroflorestas tem-se uma mistura de resíduos de rápida e lenta decomposição, ocorrendo uma rápida disponibilização de nutrientes, como também a proteção da superfície do solo, sendo essas características importantes para sustentabilidade do sistema.

A qualidade dos resíduos orgânicos afeta a atividade dos micro-organismos, pois estes são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. A matéria orgânica e a atividade da microbiota têm sido apontadas como características sensíveis às alterações na qualidade do solo, causadas por mudanças no uso e manejo do solo. As agroflorestas favorecem o crescimento da comunidade microbiana, tendo como principal motivo o aporte contínuo de resíduos orgânicos que são fonte de energia para os micro-organismos. Estudos têm demonstrado que solos sob SAFs apresentam valores superiores ao das monoculturas para o conteúdo de carbono orgânico, carbono microbiano e quociente metabólico e microbiano. Outro fator que altera a comunidade microbiana é a cobertura vegetal. Assim, existe a necessidade de avaliar como as diferentes espécies vegetais e seus consórcios afetam os parâmetros biológicos do solo.

Um dos modelos agrofloretais indicados para a região Nordeste é o consórcio de palma forrageira com leguminosas arbóreas. A palma forrageira é base alimentar dos rebanhos para as épocas de seca, por ser adaptada às condições edafoclimáticas da região. Quando utilizada em consórcio propicia melhor aproveitamento de terra; complementa a dieta dos animais juntamente com a palma forrageira, fornecendo fibra e proteína; contribui com a ciclagem de nutrientes pela deposição e decomposição de resíduos orgânicos, incrementando os teores de matéria orgânica do solo. No entanto, pouco se sabe sobre o efeito desta consorciação na biomassa microbiana do solo.

Este estudo parte da hipótese de que a biomassa microbiana é influenciada pelos sistemas de cultivo (Palma forrageira + Leucena, Palma forrageira + Gliricídia, Palma forrageira em monocultivo); a atividade microbiana é favorecida nos sistemas agrofloretais devido à deposição de serapilheira; a origem e a dinâmica da matéria orgânica do solo são modificadas pelos diferentes sistemas de cultivos.

Deste modo, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da consorciação de leguminosas arbóreas com palma forrageira sobre a biomassa e atividade microbiana do solo, bem como analisar as modificações na abundância natural de  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C}$ ) e  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ ) em diferentes sistemas de cultivo no Agreste Pernambucano, em distintos meses do ano.

Assim, a presente dissertação foi organizada em dois capítulos, sendo o Capítulo I referente ao referencial teórico e o Capítulo II às características da biomassa microbiana em solos com palma forrageira e leguminosas arbóreas, em distintos meses do ano.

## **CAPÍTULO 1**

# **REFERENCIAL TEÓRICO: ALTERAÇÕES NA BIOMASSA MICROBIANA E NA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS COM AGROFLORESTAS**

---

## **Referencial teórico: alterações na biomassa microbiana e na matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com agroflorestas**

### **1. Importância dos sistemas agroflorestais**

O sistema agroflorestal (SAF) é uma forma de uso da terra que combina árvores ou arbustos com culturas agrícolas e/ou forrageiras com a presença ou ausência de animais, de maneira a aumentar e diversificar a produção agrícola e florestal, além de conservar os recursos naturais (MICCOLIS et al., 2016). Estima-se que mais de 30% do solo do mundo encontra-se em algum estágio de degradação causados pelas práticas inadequadas de manejo das pastagens e do solo (PENNOCK et al., 2015). Uma das alternativas de impedir o processo de degradação dos solos dá-se por meio da implantação de agroflorestas.

Os SAFs podem contribuir para melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (CORRÊA et al., 2019; UDAWATTA et al., 2014). Por esses sistemas utilizarem uma diversidade de espécies vegetais ocorre uma melhor exploração do solo pelas raízes, além do aumento na quantidade de serapilheira depositada, promovendo um fluxo contínuo de resíduos orgânicos para o solo (FONTES et al., 2010).

Agroflorestas com a presença de leguminosas apresentam como vantagens aumento do teor de nitrogênio no solo por meio da fixação biológica de nitrogênio realizada a partir da associação da leguminosa com rizóbios (ASHWORTH; WEST, 2015). Esta simbiose pode adicionar até 108 kg N ha<sup>-1</sup> por ano (APOLINÁRIO et al., 2015), reduzindo o uso de fertilizantes nitrogenados, sendo uma alternativa econômica para a melhoria das pastagens e ecologicamente correta (MARTINS et al., 2017). Os SAFs também podem promover a deposição de material vegetal com baixa relação C:N e de melhor qualidade que as gramíneas, melhorando, assim, a eficiência da ciclagem de nutrientes do sistema quando comparados a sistemas produtivos sem a presença de árvores (APOLINÁRIO et al., 2014; SILVA et al., 2012).

A presença de leguminosas favorece o aumento da diversidade e densidade dos micro-organismos do solo (EISENHAUER, 2012). Estes micro-organismos mineralizam resíduos orgânicos e disponibilizam nutrientes para as plantas presentes no sistema. As árvores em sistemas agroflorestais influenciam o estrato herbáceo de várias maneiras. Por exemplo, a copa do estrato arbóreo intercepta a luz usada na fotossíntese pelo estrato vegetal mais baixo, resultando na redução ou incremento do crescimento de culturas consorciadas com as árvores. Fatores como microclima, grau de sombreamento, competição das árvores pela umidade e

nutrientes do solo e a tolerância à sombra de espécies sombreadas afetam essas relações (BURNER; BRAUER 2003). As raízes das leguminosas arbóreas são capazes de absorver nutrientes nas profundidades mais profundas do solo, ao contrário das raízes de outras culturas. Esses nutrientes absorvidos pelas árvores são reciclados para a superfície do solo pela deposição da serapilheira (TIESSEN et al., 2003).

Leguminosas forrageiras como Gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud] e Leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.] têm se destacado por serem bastante cultivadas e mais promissoras em regiões tropicais (ANDRADE et al., 2015; SANTANA et al., 2016). Para o sucesso do uso de leguminosas em agroflorestas é essencial a escolha da espécie que se adapte às condições edafoclimáticas da região, alta eficiência com o simbiote que fixa o nitrogênio e capacidade de competir com as outras espécies cultivadas em conjunto (MARTINS et al., 2017).

Em agroflorestas com a presença de leguminosas pode ocorrer a simbiose tripartite, que é interação entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) com leguminosas noduladas pelas bactérias fixadoras de nitrogênio (FBN). Os FMA auxiliam na nodulação e a fixação de nitrogênio pelos rizóbios (LAMMEL et al., 2015). As micorrizas fornecem fósforo de fontes não lábeis para o hospedeiro, enquanto os rizóbios fornecem nitrogênio (GRAY, 2010). Os FMA e a FBN são fundamentais nos ecossistemas naturais por influenciarem a produtividade, nutrição e a resistência a doenças das plantas (FOLLI-PEREIRA et al., 2012). Essa simbiose tripartite também possui um efeito positivo na resistência a seca (EGAMBERDIEVA et al., 2017).

Os sistemas agroflorestais têm sido largamente implantados por serem uma solução para recuperar áreas degradadas. O Brasil possui mais de 13 milhões de hectares com agroflorestas (IBGE, 2017). Um dos modelos indicados para a região Nordeste é o consórcio de palma forrageira com leguminosas arbóreas. A palma forrageira é um importante recurso forrageiro adaptado às condições edafoclimáticas dessa região, suportando prolongados períodos de estiagem em função das suas propriedades fisiológicas, caracterizadas pelo metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), o qual lhe confere uma maior eficiência no uso de água (SANTOS et al., 2013). Fisher e Tuner (1978) relatam que as plantas CAM têm uma eficiência no uso de água de até 11 vezes às das plantas de metabolismo C<sub>3</sub>. Além disso, é rica em carboidratos solúveis e minerais, sendo altamente energética, apresenta elevado conteúdo de água e boa digestibilidade da matéria seca.

No entanto, possui algumas limitações, pois não é possível atender às necessidades do rebanho apenas com utilização da palma, principalmente devido à baixa concentração de fibras

e proteína bruta. Uma das alternativas para suplementar a alimentação dos animais é a consorciação de leguminosas com palma, fornecendo maior quantidade de proteína e fibra, além de promover melhorias na qualidade do solo por meio da fixação biológica de N e da deposição de serapilheira. Estudo realizado por Saraiva (2014) observou que a palma consorciada com Gliricídia ( $21,7 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) apresentou maiores produções de matéria seca em relação ao cultivo isolado ( $15,4 \text{ t MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ).

Muitos estudos têm sido feitos para mostrar os impactos causados pelos sistemas agroflorestais nas características químicas e físicas do solo (APOLINÁRIO et al., 2016; SILVA et al., 2013), porém existe pouca informação sobre a influência das agroflorestas com palma forrageira na biomassa microbiana do solo.

## **2. Biomassa microbiana e matéria orgânica como indicadora da qualidade do solo**

A qualidade do solo é definida como a capacidade do solo funcionar, dentro dos limites de um ecossistema, para garantir sustentabilidade biológica, mantendo qualidade ambiental e promover a saúde animal e vegetal (MATOS et al., 2016). Nos ecossistemas agroflorestais é fundamental o estudo do solo, pois ele é a fonte de nutrientes para as forrageiras e a base de toda a cadeia trófica do sistema.

Uma forma de avaliar a qualidade do solo é por meio da quantificação da biomassa microbiana que é definida como o componente vivo da matéria orgânica do solo, excluindo-se a macrofauna e as raízes das plantas, compreendendo todos os organismos do solo com um volume inferior a aproximadamente  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$  (exceto tecido vegetal) (BROOKES, 2001). Isso representa de 1-5% da matéria orgânica dos solos (ZHANG et al., 2011). A biomassa microbiana desempenha funções essenciais no solo, como catalisação da decomposição e mineralização da matéria orgânica, dinâmica da serapilheira, bem como apresenta um papel importante nos ciclos dos nutrientes, principalmente, carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre (BRANDANI; SANTOS, 2016).

Fatores bióticos (ARAUJO et al., 2019) e abióticos (HURSH et al., 2017) podem causar alterações na atividade da biomassa microbiana e sua composição. Estudos demonstram os efeitos da diversidade vegetal (ZHANG et al., 2011), sistemas de cultivos (SOUZA et al., 2010), práticas de manejo (HOFFMANN et al., 2018), pH, temperatura, umidade (IAMAGUTI et al., 2015), clima (PAZ-FERREIRO et al., 2010), aeração do solo (REIS et al., 2019), qualidade e quantidade de material vegetal depositado no solo, bem como a disponibilidade de nutrientes minerais. Em situações com maior deposição de resíduos orgânicos no solo e com grande quantidade de raízes, ocorre o estímulo da atividade microbiana, resultando em seu aumento

populacional (SOUZA et al., 2010). A biomassa microbiana atua como dreno e fonte de nutrientes; dreno por imobilizar os minerais e fonte quando parte do material acumulado no corpo microbiano é liberado ao ambiente, beneficiando as plantas (KASCHUK et al., 2010). A biomassa microbiana por ser sensível às alterações do ambiente é usada como indicador de qualidade do solo, sendo avaliada por meio das análises, como respiração, quociente metabólico, quociente microbiano e carbono da biomassa microbiana (HOFFMANN et al., 2018).

A qualidade do solo pode ser monitorada pela quantificação da respiração dos microorganismos pela liberação de  $\text{CO}_2$ , representando a oxidação da matéria orgânica pela microbiota aeróbia (bactérias e fungos). Em situações de equilíbrio ecológico, ocorre menor perda de carbono na forma de  $\text{CO}_2$  para atmosfera, sendo incorporada uma fração significativa de carbono ao tecido microbiano durante a decomposição da matéria orgânica, resultando em solos com baixo coeficiente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), relação entre respiração e carbono da biomassa microbiana, inferindo em um sistema próximos do estado de equilíbrio ou mais eficiente (TÓTOLA; CHAER, 2002). No entanto, altas taxas respiratórias decorrentes de um grande “pool” de substratos lábeis resultam em uma intensa decomposição da matéria orgânica. Da mesma forma, a rápida oxidação de um pequeno “pool”, por exemplo, quebra de agregados do solo por intermédio da aração, expõe a matéria orgânica que antes se encontrava protegida da ação microbiana (TÓTOLA; CHAER, 2002). O  $q\text{CO}_2$  compreende o quanto do carbono incorporado ao solo é perdido para atmosfera pela biomassa ativa para manter o carbono microbiano. Outra medida interessante é o quociente microbiano ( $q\text{MIC}$ ), calculado pela relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT), na qual é possível analisar o quanto do COT está na forma microbiana (MARTINS et al., 2010).

Estimativas indicam que a agricultura foi responsável por emitir 5,3 milhões de toneladas de  $\text{CO}_2$  equivalente em 2011 (TUBIELLO et al., 2014). De acordo com o IPCC (2007), o Protocolo de Quioto define o  $\text{CO}_2$  como um dos gases responsáveis pelo aquecimento global. Calcula-se que 84% do  $\text{CO}_2$  emitido por uma floresta é originado no solo; desse modo, torna-se fundamental estimar com maior precisão o balanço interno do carbono nas florestas tropicais para um melhor entendimento da dinâmica da respiração do solo de florestas, bem como o efeito sobre a mudança climática global (PANOSSO et al., 2012).

O carbono e o nitrogênio presentes na biomassa microbiana também são utilizados como indicadores da qualidade do solo, tanto em sistemas agrícolas como em áreas de vegetação nativa. Em estudos realizados nos diferentes biomas brasileiros, de maneira geral, os autores notaram haver relação entre o teor de carbono e o nitrogênio presentes na biomassa microbiana

e o tipo de vegetação (SIQUEIRA NETO et al., 2010; MAIA et al., 2010; FRAZÃO et al., 2010). Outro fator muito importante a ser avaliado nas agroflorestas é quantificar a real interferência deste sistema na dinâmica da MOS, isso é possível pelas análises de abundância natural do  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ .

A determinação isotópica da abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  é utilizada para identificar a origem da matéria orgânica do solo (GUARESCHI et al., 2012), ou seja, a vegetação existente e as modificações da cobertura vegetal que a área foi submetida (LOSS et al., 2014). O  $\delta^{13}\text{C}$  nas folhas das espécies vegetais varia em função do ciclo fotossintético usado para produzir carboidratos a partir de  $\text{CO}_2$  e água. Plantas com metabolismo  $\text{C}_3$  apresentam valores  $\delta$  entre -24 a -30‰ (VOGEL, 1993), plantas  $\text{C}_4$  variam entre 10 - 14‰ e plantas CAM obrigatórias são comparáveis as plantas  $\text{C}_4$ , -13‰, enquanto as CAM facultativas variam de -10 a -28‰, dependendo das variações ambientais (CRAYN et al., 2004).

Quanto à abundância natural de  $\delta^{15}\text{N}$ , indica o grau de decomposição de compostos nitrogenados e humificação da matéria orgânica do solo (LIAO et al., 2006). Quando ocorrem reações de mineralização, nitrificação, desnitrificação, volatilização e assimilações de N pelas plantas, têm-se maior decomposição e perda do isótopo mais leve de N ( $^{14}\text{N}$ ), deixando a matéria orgânica restante enriquecida em átomos de  $^{15}\text{N}$  (TEMPLER et al., 2007). Áreas com menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  podem estar associadas à maior quantidade de matéria orgânica do solo (MENDONÇA et al., 2010).

### **3. Atividade microbiana em sistemas agroflorestais**

Os sistemas agroflorestais favorecem as propriedades biológicas do solo (YADAV et al., 2010). Muitos estudos comprovam que em agroflorestas existe maior biomassa microbiana e maior diversidade de micro-organismos, característica crucial para a produtividade de qualquer agroecossistema (AZAR et al., 2013; GUIMARÃES et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2017). Isso ocorre devido aos efeitos positivos das árvores como maior quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo, bem como maior exsudação radicular (ZHANG et al., 2011). As árvores favorecem a formação de um melhor microclima acima e abaixo do solo em torno das raízes das plantas, alterando as propriedades biológicas do solo (MUNIZ et al., 2011). A diversidade de espécies vegetais permite uma maior diversidade e/ou abundância de FMA que as monoculturas (CARDOSO; KUYPER, 2006), auxiliando as bactérias diazotróficas na fixação de nitrogênio, especialmente em solos tropicais (FREITAS et al., 2010).

A cobertura vegetal e as práticas de manejo adotadas na agricultura estão entre os fatores responsáveis pelas variações na comunidade bacteriana do solo (DING et al., 2013). Vallejo et

al. (2012) observaram a predominância de bactérias em pastagem convencional [*Cynodon plectostachyus* K. (Schum.)], enquanto que em sistemas silvipastoris intensivo utilizando *C. plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. e *Prosopis juliflora* Sw. (DC) houve dominância de biomassa fúngica. Isso comprova que a composição da comunidade microbiana é alterada pelas mudanças de uso do solo. O efeito das plantas tem sido observado, especialmente na rizosfera, onde há influência direta dos exsudatos radiculares (Sugiyama et al., 2014). Os micro-organismos também são influenciados pelas características físico-químicas do solo (KURAMAE et al., 2012; QU et al., 2016).

Nas agroflorestas, a taxa respiratória microbiana é influenciada por diversos fatores, como cobertura vegetal, profundidade, manejo, sistema de cultivo e estação do ano. Em sistemas com leguminosas, os micro-organismos possuem menor respiração em comparação com gramíneas, provavelmente devido ao efeito do sistema radicular. As agroflorestas são reconhecidas por manejos menos intensivo, ocorrendo um acréscimo de 40% de biomassa radicular em relação ao cultivo convencional, resultando em maior atividade microbiana (DIAS et al., 2010). A respiração microbiana reduz com o aumento da profundidade do solo de 2739 para 1344 mg kg<sup>-1</sup>, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, respectivamente. A redução da atividade microbiana com a profundidade do solo indica que a atividade biológica está mais concentrada nas profundidades superficiais do solo, devido a maior concentração e disponibilidade de compostos orgânicos que estimulam os micro-organismos (DADALTO et al., 2015). Outra razão que a respiração microbiana é maior em agroflorestas do que em monocultivo é a maior quantidade de serapilheira nas agroflorestas, proporcionando uma fonte de carbono prontamente disponível (Silva et al., 2010). Assis Junior et al. (2003) observaram valores de 489 mg CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> e 360 mg CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup> h<sup>-1</sup> em solos cultivados com Eucalipto + Pastagem e Eucalipto em monocultivo, respectivamente, o que pode estar relacionado à rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas (TU et al., 2006).

A respiração microbiana nos sistemas agroflorestais sofre alterações durante a estação seca e chuvosa. Durante a estação chuvosa em solos sob Caatinga densa, ocorre maior liberação de CO<sub>2</sub> e aumento da comunidade microbiana em relação à época seca, com valores de 3,3 e 3,2 mg kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente. Essa diferença pode ser atribuída à atividade radicular dos estratos herbáceo e subarbustivo que crescem nesse período (MARTINS et al., 2010). Também durante a estação chuvosa, o conteúdo de água do solo está próximo à capacidade de campo, facilitando, assim, a solubilidade dos substratos (DAVIDSON et al., 2002).

Outra causa de variação na taxa respiratória ocorre durante os períodos diurno e noturno (SILVA et al., 2010), em que, durante o dia, há maior radiação solar e altas temperaturas, tendo

como consequência a intensificação da atividade microbiana, aumentando a velocidade de decomposição de matéria orgânica no solo (ARAÚJO et al., 2009).

O aumento da diversidade de grupos funcionais e riqueza de espécies vegetais pode contribuir com o aumento da atividade microbiana. Um sistema agroflorestal composto por *Urochloa brizantha* Stapf. cv. Marandu + *Cocos nucifera* (L.) apresentou maior valor de CBM em relação ao monocultivo de Marandu, 62,6 e 58,9 mg kg<sup>-1</sup> de solo, respectivamente. Isso se deve à maior presença de serapilheira, bem como a rizosfera das diversas culturas que contribuem pela maior disponibilidade de substratos orgânicos para a microbiota do solo (AZAR et al., 2013). Porém, em alguns casos, durante o período seco, o teor de CBM é similar na agrofloresta (414,6 mg kg<sup>-1</sup>) e no monocultivo (398,0 mg kg<sup>-1</sup>), devido ao baixo conteúdo de água presente no solo (CUNHA et al., 2011). No Quênia, Belsky et al. (1989) notaram acréscimo de 35% a 60% na biomassa microbiana sob as copas da *Adansonia digitata* L. e *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne comparado às áreas de pastagem, devido a um microclima mais favorável para os micro-organismos do solo.

Na Zona da Mata Mineira, Almeida et al. (2007) compararam a influência de diferentes usos de solo (SAF com café, vegetação nativa e sistema convencional) na biomassa microbiana do solo. Foi observada diminuição na biomassa microbiana do solo sob o sistema convencional (103,0 mg kg<sup>-1</sup>), porém o SAF (208,0 mg kg<sup>-1</sup>) foi similar à vegetação nativa (313,0 mg kg<sup>-1</sup>).

Estudo realizado por Chander et al. (1998) identificou incremento na quantidade de CBM e na atividade enzimática no solo cultivado há 12 anos com SAF, quando comparado aos sistemas convencionais. Segundo os mesmos autores, isso está relacionado à disponibilidade de resíduos orgânicos fornecerem energia para as populações microbianas.

Nas agroflorestas, a presença das árvores possibilita o sombreamento, criando um microclima que favorece a atividade dos micro-organismos (CARVALHO et al., 2016). Também há flutuações dos valores de CBM em decorrência das estações. Durante a estação chuvosa, por exemplo, ocorre maior teor de carbono da biomassa microbiana devido ao aumento da quantidade de água e de nutrientes no solo (ARAÚJO et al., 2003).

O uso de agroflorestas também possibilita o incremento de carbono orgânico no solo ao longo do tempo em relação ao monocultivo (AZAR et al., 2013), visto que nas agroflorestas ocorre constante aporte de serapilheira. Essa característica é essencial para a sustentabilidade do sistema, pois a matéria orgânica influencia as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SPARLING, 1997).

Os teores de carbono orgânico variam em função da sazonalidade do ambiente. Martins et al. (2010) observaram aumento em torno de 45% no período chuvoso, em comparação ao

período seco em áreas de clima semiárido. Esse aporte de carbono ao solo provavelmente está relacionado ao crescimento de herbáceas, que encerram seu ciclo rapidamente, contribuindo para significativo aumento do teor de carbono, principalmente devido à decomposição de raízes finas.

O  $qCO_2$  também é alterado pelas estações do ano, ocorrendo maiores valores na estação seca que na estação chuvosa. No entanto, em estudo realizado por Silva et al. (2012), que compararam diferentes uso de solo, não houve diferença significativa para  $qCO_2$  durante a época chuvosa, ou seja, ocorreu padrão similar de mineralização da biomassa microbiana em áreas agrícolas ( $5,4 \text{ mg CBM h}^{-1}$ ) e agroflorestais ( $5,2 \text{ mg CBM h}^{-1}$ ).

O  $qCO_2$  tende a aumentar à medida que as florestas se tornam menos complexas em estrutura e composição, sugerindo que quanto menor a complexidade dos sistemas, menor é a eficiência na renovação do carbono microbiano, gerando, assim, importantes implicações para o funcionamento do ecossistema, uma vez que grande parte do carbono fica alocado no solo, diminuindo a respiração do mesmo que fica retido como matéria orgânica do solo ou biomassa vegetal (MARTINS et al., 2010).

Para o  $qMIC$  é comum observar um aumento da estação seca para a chuvosa. Silva et al. (2012) observaram aumento do  $qMIC$  durante a estação chuvosa em áreas agrícolas (Mandioca) e agroflorestais (Mandioca + Banana + Milho + Crotalaria), em comparação a estação seca, com valores de 0,50% para 1,00% e 1,00% para 1,50%, respectivamente. Os valores foram superiores a 1% do carbono do solo, conforme preconizado por Jenkinson e Ladd (1981), que relatam que em condições normais o  $qMIC$  inferiores a 1% podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana. No entanto, o contrário foi observado em um estudo desenvolvido por Martins et al. (2010), que observaram redução dos valores  $qMIC$  do período seco para o chuvoso, 2,56% no período seco e 1,60% no chuvoso. Possivelmente essa redução tenha ocorrido em razão da mineralização da biomassa microbiana, reduzindo, assim, sua comunidade.

#### 4. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, E. F. et al. Biomassa microbiana em sistemas agroflorestais na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 739–742, 2007.

ANDRADE, B. M. S. et al. Uso da gliricídia (*Gliricidia sepium*) para alimentação animal em Sistemas Agropecuários Sustentáveis. **Scientia Plena**, v. 11, n. 4, p. 1-7, 2015.

APOLINÁRIO, A. X. O. et al. Litter decomposition of signalgrass grazed with different stocking rates and nitrogen fertilizer levels. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 2, p. 622–627, 2014.

APOLINÁRIO, V. X. O. et al. Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral System. **Crop Science**, v. 56, n. 3, p. 1356-1363, 2016.

APOLINÁRIO, V. X. O. et al. Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm-climate silvopasture systems. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1915-1921, 2015.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; ABARKELI, R. B. Effect of glyphosate on the microbial activity of two Brazilian soils. **Chemosphere**, v. 52, p. 799–804, 2003.

ARAÚJO, K. D. et al. 2009. Liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em área de Caatinga no semiárido da Paraíba. **Geoambiente**, n. 12, p. 42-53, 2009.

ARAUJO, T. D. S. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019.

ASHWORTH, A. J.; WEST, C. P. Biologically fixed nitrogen in legume intercropped systems: Comparison of nitrogen difference and nitrogen-15 enrichment techniques. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2419-2430, 2015.

ASSIS JÚNIOR, S. L. et al. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2003.

AZAR, G. S.; ARAÚJO, A. S. F.; OLIVEIRA, M. E.; AZEVÊDO, D. M. M. R. Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e sivilpastoril. **Semina: Ciência Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2727-2736, 2013.

BELSKY, A. J.; AMUNDSON, R. G.; DUXBURY, J. M. The effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology*, v. 26, p. 1005–1024, 1989.

BRANDANI, C. B.; SANTOS, D. G. Transformações do carbono no solo. In: ANDREOTE, F. D.; CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do solo**, 2 ed. p. 221, 2016.

BROOKES, P. C. The soil microbial biomass: concept, measurement and applications in soil ecosystem research. **Microbes and Environments**, v. 16, n. 3, p. 131–140, 2001.

BURNER, D. M., BRAUER, D. K. Herbage response to spacing of loblolly pine trees in a minimal management silvopasture in southeastern USA. **Agroforestry Systems**, v. 57, n. 1, p. 69–77, 2003.

CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.116, n. 1-2, p. 72-84, 2006.

CARVALHO, G. L. et al. Trees modify the dynamics of soil CO<sub>2</sub> efflux in coffee agroforestry systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 224, p. 30-39, 2016.

CERRI, C. C. et al. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 831-843, 2009.

CHANDER, K.; GOYAL, S.; NANDAL, D. P.; KAPOOR, K. K. Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system. **Biology and Fertility of Soils**, v.27, n. 2, p. 168–172, 1998.

CORRÊA, F. L. O.; ALMEIDA, C. M. V. C.; MÜLLER, M. W.; MASCARENHAS, A. R. P. 2019. Fertilidade do solo sob diferentes usos agrofloretais na região central de Rondônia, Brasil. **Desafios-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, v. 6, n. 4, p. 3-11, 2019.

CRAYN, D.M.; WINTER, K.; SMITH, A. C. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit In: the Neotropical family Bromeliaceae. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, p. 3703 – 3708, 2004.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 603-611, 2011.

DADALTO, J. P. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 3, p. 506-513, 2015.

DAVIDSON, E. A.; SAVAGE, K.; VERCHOT, L. V.; NAVARRO, R. 2002. Minimizing artifacts and biases in chamber-based measurements of soil respiration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.113, n. 1, p.21-37, 2002.

DIAS, A. T. C.; RUIJVEN, J. V.; BERENDSE, F. Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. **Oecologia**, v. 163, n. 3, p. 805-813, 2010.

DING, G. C. et al. Changes of soil bacterial diversity as a consequence of agricultural land use in a semi-arid ecosystem. **Plos One**, v. 8, n. 3, p. 1-10, 2013.

EGAMBERDIEVA, D.; WIRTH, S.; ABD-ALLAH, E. F. 2017. Tripartite interaction among root-associated beneficial microbes under stress. In: SAMINA, M. (ed) **Rhizotrophs: plant growth promotion to bioremediation**. Springer Berlin Heidelberg. p. 219–236, 2017.

EISENHAEUER, N. Aboveground–belowground interactions as a source of complementarity effects in biodiversity experiments. **Plant and Soil**, v. 351, n. 1, p. 1–22, 2012.

FISHER, R.A.; TUNER, N.C. Plant productivity in the arid and semiarid zones. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 29, p. 277-317, 1978.

FOLLI-PEREIRA, M. S. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663-1679, 2012.

FONTES, S. J.; BARRIOS, E.; SIX, J. Earthworms, soil fertility and aggregate-associated soil organic matter dynamics in the Quesungual agroforestry system. **Geoderma**, v. 155, n. 3-4, p. 320–328, 2010.

FRAZÃO, L. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 10, p. 1198-1204, 2010.

FREITAS, A. D. S. Biological nitrogen fixation in tree legumes of the Brazilian semi-arid Caatinga. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 3, p. 344-349, 2010.

GRAY, V. M. The role of the C:N:P stoichiometry in the carbon balance dynamics of the legume-AMF-*Rhizobium* tripartite symbiotic association. In: MAHESHWARI, D. K. **Plant Growth and Health Promoting Bacteria**, p. 387-416, 2010.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 909-920, 2012.

GUIMARAES, G. P.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; MENDONCA, E. D. S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em Latossolos sob cultivos com cafeeiros agroflorestais de agricultores familiares. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, p. 1-6, 2016.

GUIMARÃES, N. D. F. et al. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, É. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAÚJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.

HURSH, A. et al. The sensitivity of soil respiration to soil temperature, moisture, and carbon supply at the global scale. **Global Change Biology**, v. 23, p. 2090-2103, 2017.

IAMAGUTI, J. L. et al. Preparo do solo e emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 497-504, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. IBGE. 2017.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. In: SOLOMON, S. et al. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 996, 2007.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. M. Soil biochemistry. 5. ed., p. 415-471, 1981.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010.

KURAMAE, E. E. et al. Soil characteristics more strongly influence soil bacterial communities than land-use type. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 79, n. 1, p. 12–24, 2012.

LAMMEL, D. R. et al. Woody *Mimosa* species are nodulated by *Burkholderia* in ombrophylous forest soils and their symbioses are enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). **Plant and Soil**, v. 393, n. 1-2, p. 123-135, 2015.

LIAO, J. D.; BOUTTON, T. W.; JASTROW, J. D. Organic matter turnover in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland: Evidence from natural  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ . **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 11, p. 3197-3210, 2006.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  em sistemas de manejo conservacionista no cerrado. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 604-615, 2014.

MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 177-184, 2010.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.

MARTINS, C. M.; MARTINS, S. C. S.; BORGES, W. L. 2017. Correção da acidez, adubação e fixação biológica. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi: do plantio à colheita**. Ed. UFV, 2017. Cap. 5, p. 89-112.

MATOS, E. R.; DURRER, A.; ANDREOTE, F. D. Ecologia microbiana. In: ANDREOTE, F. D.; CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do solo**, 2 ed. p. 221, 2016.

MENDONÇA, L. A. R. Identificação de mudanças florestais por  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 314-319, 2010.

MICCOLIS, A. et al. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – World Agroforestry, p. 10-14, 2016.

PANOSSO, A. R. et al. Soil  $\text{CO}_2$  emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under slash-and-burn and green harvest. **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 190 – 196, 2012.

PAZ-FERREIRO, J. et al. Effect of management and climate on biochemical properties of grassland soils from Galicia (NW Spain). **European Journal of Soil Biology**, v. 46, n. 2, p. 136-143, 2010.

PEÑA, M. L. P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; ANJOS, A. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**, v. 35, n. 1, p.117-127, 2005.

PENNOCK, D.; MCKENZIE, N.; MONTANARELLA, L. **Status of the World's Soil Resources**. Technical Summary FAO, p. 607, 2015.

QU, T. B. et al. Impacts of grazing intensity and plant community composition on soil bacterial community diversity in a steppe grassland. **Plos One**, v. 11, n. 7, p.1-16, 2016.

REIS, D. A. et al. Grau de dispersão, biomassa microbiana e carbono orgânico de um latossolo cultivado com soja sob plantio convencional e direto no cerrado (Savana) do oeste da Bahia, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 363-375, 2019.

SANTANA, Y. A. G. et al. Dietas volumosas para ruminantes constituídas pelos fenos de capim-tifton 85 e de Leucena. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 6, n. 15, p. 1352-1356, 2016.

SANTOS, D. C. et al. Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 111-121, 2013.

SARAIVA, F.M. **Desenvolvimento e acúmulo de nutrientes de palma forrageira (*Nopalea*) em diferentes sistemas de cultivo**. 104p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, 2014.

SILVA, A. B. et al. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, p. 502-511, 2013.

SILVA, H. M. S. et al. Signalgrass litter decomposition rate increases with inclusion of calopo. **Crop Science**, v. 52, n. 3, p. 1416–1423, 2012.

SILVA, M. S. C.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G. SILVA, C. F. Estoque de Serapilheira e Atividade Microbiana em Solo sob Sistemas Agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 431-441, 2012.

SILVA, R. R. D. et al. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Soil carbon stocks under no-tillage mulch-based cropping systems in the Brazilian Cerrado: An on-farm synchronic assessment. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 187-195, 2010.

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

SPARLING, G. P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R. (Eds.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, p. 97-120, 1997.

SUGIYAMA, A. et al. Changes in the bacterial community of soybean rhizospheres during growth in the field. **Plos One**, v. 9, n. 6, p. 1-9, 2014.

TEMPLER, P.H.; ARTHUR, M. A.; LOVETT, G. M.; WEATHERS, K. C. Plant and soil natural abundance  $\delta^{15}\text{N}$ : indicators of relative rates of nitrogen cycling in temperate forest ecosystems. **Oecologia**, v. 153, n. 2, p. 399-406, 2007.

TIESSEN, H.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; WICK, B. Organic matter transformations and soil fertility in a treed pasture in semiarid NE Brazil. *Plant and Soil*, v. 252, n. 1, p. 195-205, 2003.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ V. (eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276, 2002.

TU, C.; RISTAINO, J. B.; HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 2, p. 247-255, 2006.

TUBIELLO, F. N. et al. **Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks**. FAO Statistics Division. p.75, 2014.

UDAWATTA, R. P. et al. Soil quality indicators of a mature alley cropping agroforestry system in temperate North America. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 2539–2551, 2014.

VALLEJO, V. E. et al. Effect land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 150, p. 139-148, 2012.

VOGEL, J. C. Variability of carbon isotope fractionation during photosynthesis. In: EHLERINGER, J. R.; HALL, A. E.; FARQUHAR, G. D. (ed.). **Stable isotopes and plant carbon – Water relations**. San Diego: Academic Press, p. 29-38, 1993.

YADAV, R. S. et al. Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 3, p. 195–202, 2010.

ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SONG, Z. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, v. 161, n. 3-4, p. 115-125, 2011.

## **CAPÍTULO 2**

### **ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO EM ÁREAS DE PALMA FORRAGEIRA EM MONOCULTIVO E EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM LEGUMINOSAS ARBÓREAS**

---

## **Atividade microbiana do solo em áreas de palma forrageira em monocultivo e em sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas**

**RESUMO** – A riqueza e a diversidade de espécies vegetais podem influenciar a microbiologia do solo. Assim, é necessário estudar como as diferentes composições de consórcio afetam os parâmetros biológicos do solo e prever os benefícios de sua implantação. Objetivou-se avaliar o efeito da consorciação de leguminosas arbóreas com palma forrageira sobre a microbiota do solo no Agreste Pernambucano. Os tratamentos testados foram associações de leguminosas e palma forrageira, conforme descritos a seguir: i) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud e Palma IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), ii) *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit. e Palma IPA-Sertânia e iii) Palma IPA-Sertânia. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. A parcela principal foi constituída pelos diferentes sistemas de cultivo e a sub-parcela composta pelas quatro distâncias da fileira central das leguminosas (0,0; 1,5; 3,0; e 4,5 m). As coletas de solo foram feitas nos meses de outubro/2018, abril/2019 e julho/2019. Coletaram-se amostras nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm em 0; 1,5; 3,0 e 4,5 m de distância das faixas das leguminosas para as parcelas com consórcio. Nas parcelas de monocultivo foram coletadas amostras simples em apenas um ponto paralelo às árvores de leguminosas nas mesmas profundidades descritas anteriormente. Foram realizadas determinações da respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM), nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), quociente microbiano ( $qMIC$ ), relação carbono e nitrogênio microbiano (C:Nmic), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), relação C:N (C:N) e abundância de  $^{13}C$  e  $^{15}N$  ( $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$ ). Os RBS, NBM,  $qCO_2$  e  $qMIC$  foram menores ( $P < 0,05$ ) para amostras coletadas em abril/2019 nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, 8,74 e 11,45  $\mu g CO_2 g^{-1} dia^{-1}$ ; 21,48 e 31,45  $mg kg^{-1}$ ; 0,05 e 0,05  $\mu g CO_2 g^{-1} CBM dia^{-1}$ ; 1,86 e 1,03%, respectivamente. O CBM e a relação C:Nmic foram menores para amostras coletadas em out/2018 na profundidade de 0-10 cm, e COT na profundidade 10-20 cm. O NT foi maior para amostras coletadas em out/2018. O  $\delta^{13}C$  variou com a distância das árvores, indicando a contribuição dos diferentes grupos de plantas presentes. O  $\delta^{15}N$  também variou com a distância das árvores, indicando maior contribuição do N fixado sob a copa das leguminosas. A atividade microbiana foi similar para amostras coletadas em out/2018 e abr/2019 nos diferentes sistemas de cultivo. A biomassa microbiana foi beneficiada quando se adicionou leguminosas arbóreas ao cultivo de palma durante jul/2019.

**Palavras-chave:** *Gliricidia sepium* [Jacq.] Steud; *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit. Micro-organismos edáficos; Variáveis microbiológicas.

## Soil microbial activity under forage cactus in monoculture and in agroforestry systems using tree legumes

**ABSTRACT** – Species richness and diversity of plant functional groups can influence soil microbiology. Thus, it is necessary to study how different intercropping systems affect soil biological parameters to predict potential benefits of their implementation. The objective was to evaluate the intercropping effect of forage cactus with tree legumes on soil microbial biomass in Agreste Pernambucano. The treatments tested were the association of legumes and forage cactus, as described below: i) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud and forage cactus IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck); ii) *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit. and forage cactus IPA-Sertânia; and iii) forage cactus IPA-Sertânia. The randomized complete block design was used in a split-plot scheme, with four replications. The main plot consisted of different cultivation systems and the subplots were the four distances from the central row of legumes (0.0; 1.5; 3.0; and 4.5 m). Soil sampling were made in the months of October/2018 April/2019 and July/2019. Samples were collected at depths of 0-10 cm and 10-20 cm at 0; 1.5; 3.0 and 4.5 m away from legume rows in intercropping plots. In the monoculture plots, samples were collected at just one point parallel to the legume trees at the same depths described above. Determinations of soil basal respiration (BSR), microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), metabolic quotient ( $qCO_2$ ), microbial quotient ( $qMIC$ ), ratio carbon and microbial nitrogen (C:N<sub>mic</sub>), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), ratio carbon and nitrogen (C:N), and natural abundance of soil  $^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  ( $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$ ) were performed. The BSR, MBN,  $qCO_2$  and  $qMIC$  were lower ( $P < 0.05$ ) for samples collected in Apr/2019 in the 0-10 and 10-20 cm layers, 8.74 and 11.45  $\mu g CO_2 g^{-1} day^{-1}$ ; 21.48 and 31.45  $mg kg^{-1}$ ; 0.05 and 0.05  $\mu g CO_2 g^{-1} MBC day^{-1}$ ; 1.86 and 1.03%, respectively. The MBC and C / N<sub>mic</sub> ratio were lower for samples collected in Oct/2018 in the 0-10 cm layer, and TOC in the 10-20 cm layer. The TN was higher for samples collected in the Oct/2018. The  $\delta^{13}C$  varied with distance from trees, indicating the contribution of the different groups of plants. The  $\delta^{15}N$  also varied with the distance from the trees, indicating greater contribution of fixed N under the tree legume canopy. Microbial activity was similar for samples collected in the Oct/2018 and Apr/2019 in the different cropping systems. Microbial biomass benefits by adding leguminous tree to forage cactus cultivation during the Jul/2019.

**Keywords:** *Gliricidia sepium* [Jacq.] Steud; *Leucaena leucocephala* [Lam.] de Wit; Edaphic microorganisms; Microbiological analyzes.

## Introdução

Sistemas agroflorestais são consórcios de árvores, arbustos, culturas agrícolas, culturas forrageiras e/ou animais em uma mesma área (MICCOLIS et al., 2016). Estes sistemas são alternativas sustentáveis de uso e manejo dos recursos naturais. Algumas das vantagens das agroflorestas são redução dos riscos de degradação inerentes à atividade agrícola, otimização da produtividade (MACHADO FILHO; SILVA, 2012), além de proporcionar melhorias no sequestro de carbono atmosférico (BOREUX et al., 2016) e na qualidade do solo (DUBEUX JÚNIOR et al., 2014).

Nos sistemas agroflorestais comumente utilizam-se leguminosas arbóreas, visto que possuem a capacidade de fixar nitrogênio (N) atmosférico por meio da simbiose com bactérias diazotróficas, podendo adicionar ao solo até 108 kg N ha<sup>-1</sup> por ano (APOLINÁRIO et al., 2015), diminuindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados (FREITAS et al., 2015). Um modelo de sistema agroflorestal é o cultivo de leguminosas arbóreas com palma forrageira (NEFZAOU et al., 2011).

A palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) é uma alternativa viável na alimentação animal na região semiárida com produtividade em torno de 19,8 toneladas de MS ha<sup>-1</sup> por ano quando adubada (SOUZA et al., 2017). No Brasil, estima-se que há, aproximadamente, 600 mil hectares cultivados com palma forrageira (DUBEUX JÚNIOR et al., 2013). Ao utilizá-la em consórcio com leguminosas, isso permite a complementação dos níveis de proteína e fibra da dieta dos animais (GOVEIA et al., 2016); incrementa a disponibilidade de N ao sistema; além de promover maior deposição de serapilheira, raízes e nódulos das leguminosas (XAVIER et al., 2011), favorecendo o processo de ciclagem de nutrientes, pela adição de material de baixa relação C:N e, portanto, de rápida decomposição e mineralização (SILVA et al., 2013), bem como promove melhorias nas características químicas, físicas e biológicas do solo.

Estudos evidenciam que a cobertura vegetal e as práticas de manejo adotadas na agricultura estão entre os fatores responsáveis pelas variações na comunidade microbiana do solo (DING et al., 2013). Os micro-organismos, por serem responsáveis por diversas funções ecológicas do ambiente e sensíveis às mudanças de uso do solo (ALVES et al., 2011), são comumente utilizados como indicadores da qualidade do solo, por meio de análises, como carbono da biomassa microbiana, respiração microbiana e quociente metabólico. A matéria orgânica também é utilizada como indicadora da qualidade do solo devido a sua capacidade de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo essencial para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Uma das formas de avaliar sua dinâmica é por meio da sua composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ).

Azevedo et al. (2019) avaliaram as variedades de palma forrageira Palmepa PB1 (*Nopalea cochenillifera* Salm. Dyck), PB3 [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] e PB4 (*Nopalea cochenillifera* Salm. Dyck) no semiárido brasileiro e observaram que nas áreas cultivadas com as variedades PALMEPA PB1 e PB4 houve redução no quociente metabólico em relação a PB3, indicando menor emissão de CO<sub>2</sub> e maior incorporação de carbono nas células microbianas. Desse modo, fica evidente que a cobertura vegetal altera a biomassa microbiana, sendo necessários estudos que busquem cultivares e/ou consórcios que favoreça os microorganismos do solo.

Este estudo parte da hipótese de que a biomassa microbiana é influenciada pelos sistemas de cultivo (Palma forrageira + Leucena, Palma forrageira + Gliricídia, Palma forrageira em monocultivo); a deposição de serapilheira presente nos sistemas agroflorestais favorece a atividade microbiana, assim como os períodos de maior precipitação; a origem e a dinâmica da matéria orgânica do solo é alterada pelos diferentes sistemas de cultivos.

Deste modo, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito da consorciação de leguminosas arbóreas com palma forrageira sobre a biomassa e atividade microbiana do solo, bem como analisar as modificações na abundância natural de <sup>13</sup>C (δ<sup>13</sup>C) e <sup>15</sup>N (δ<sup>15</sup>N) desses sistemas de cultivo no Agreste Pernambucano, em distintos meses do ano.

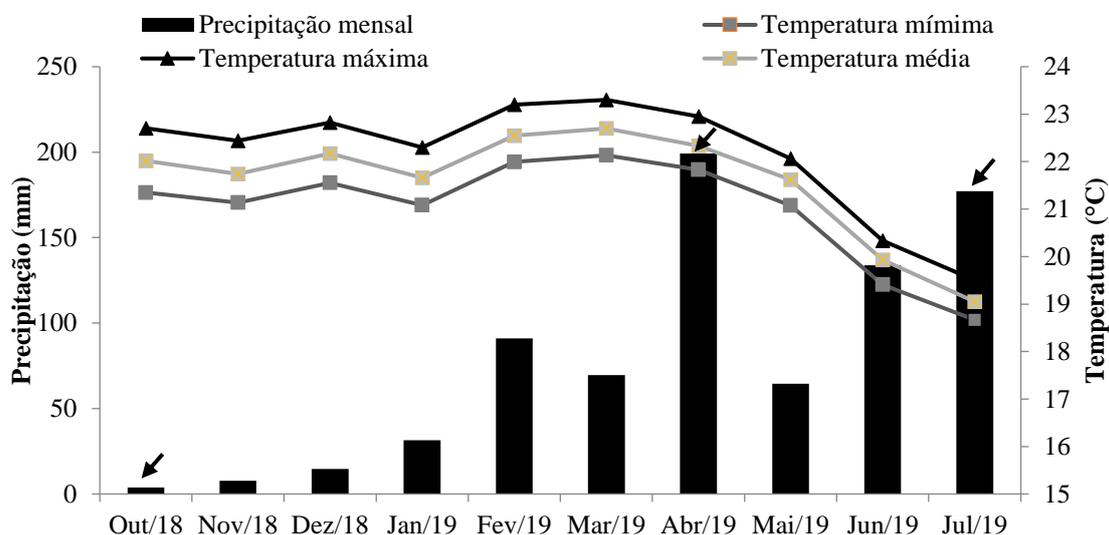
## **Material e Métodos**

### *Descrição da área experimental*

Este estudo foi realizado na Estação Experimental de Caruaru do Instituto Agronômico de Pernambuco, IPA (8° 14' S e 35° 55' W). O solo predominante da área experimental é o Neossolo Regolítico (EMBRAPA, 2018), cujas características químicas estão descritas na Tabela 1. O clima do local é do tipo BSh, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado como semiárido seco e quente, com precipitação média de 727,1 mm/ano. Os dados de precipitação mensal correspondente ao período experimental (outubro de 2018 a julho de 2019) são mostrados na Figura 1, com um total de 793,30 mm.

**Tabela 1.** Características químicas da área experimental em outubro de 2018

Sistemas de cultivo	Distâncias (m)	pH	P	Ca	Mg	Na	K	Al	H
		H <sub>2</sub> O	mg/dm <sup>3</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>					
0-10 cm									
Leucena + Palma	0	5,13	35	2,09	0,91	0,06	0,45	0,19	4,32
	4,5	5,10	79	2,44	0,95	0,12	0,32	0,16	5,12
Gliricídia + Palma Palma	0	5,03	31	2,03	0,93	0,09	0,30	0,19	4,47
	4,5	5,25	66	2,81	0,93	0,10	0,28	0,14	4,19
		5,03	105	2,45	0,65	0,65	0,27	0,17	1,37
10-20 cm									
Leucena + Palma	0	5,18	34	2,35	0,88	0,06	0,42	0,18	2,81
	4,5	4,93	60	1,99	1,00	0,10	0,23	0,25	3,52
Gliricídia + Palma Palma	0	4,75	32	1,64	0,90	0,10	0,29	0,29	3,26
	4,5	5,10	57	2,15	0,90	0,11	0,23	0,16	3,13
		5,13	80	3,13	0,77	0,77	0,22	0,17	1,23

**Figura 1.** Precipitação pluviométrica mensal e temperatura máxima, média e mínima da Estação Experimental de Caruaru-IPA durante o período experimental.

As setas indicam os meses de amostragem.

Fonte: Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA.

#### Tratamentos, delineamento e manejo experimental

Foram testados os tratamentos: i) Palma IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) e Leucena [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.]; ii) Palma IPA Sertânia e Gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud]; iii) monocultivo de Palma IPA Sertânia (Figura 2).



**Figura 2.** Croqui da área experimental cultivada com palma forrageira consorciada com leguminosas arbóreas e em monocultivo, em Caruaru-PE

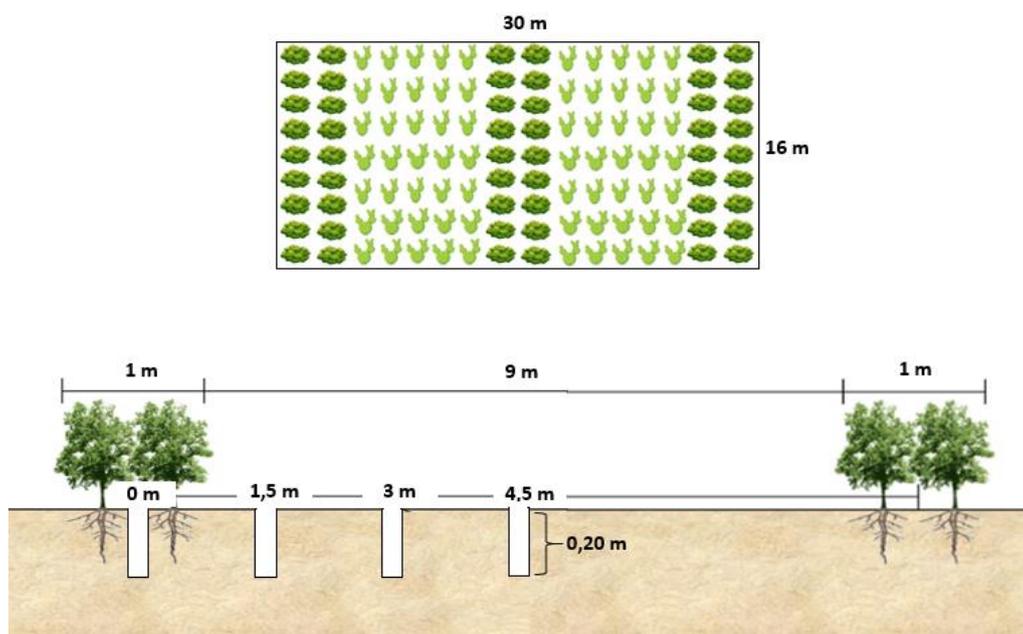
P+L=Palma consorciada com Leucena, P+G=Palma consorciada com Gliricidia, P=Palma em monocultivo.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. A parcela principal foi formada pelos diferentes sistemas de cultivo e a sub-parcela constituída pelas quatro distâncias da fileira central das leguminosas (0,0; 1,5; 3,0; e 4,5 m).

A implantação do experimento ocorreu em março de 2011 quando as leguminosas foram plantadas em três fileiras duplas espaçadas de 9 x 1 x 0,5 m, com o plantio da palma IPA Sertânia entre as fileiras duplas e em monocultivo, no espaçamento de 1 x 0,25 m (MIRANDA et al., 2019). Nas parcelas consorciadas, a densidade de leguminosas foi de 192 plantas por parcela e de 384 plantas de palma, enquanto que no cultivo isolado a densidade foi de 480 plantas de palma, por parcela. Desde 2012, a área experimental foi adubada com quatro tipos de esterco, conforme descritos a seguir: 1. Esterco bovino (MO = 425 g kg<sup>-1</sup>; N= 12,67 g kg<sup>-1</sup>; P = 5,77 g kg<sup>-1</sup>; K = 14,76 g kg<sup>-1</sup>); 2. Esterco caprino (MO = 550 g kg<sup>-1</sup>; N= 16,33 g kg<sup>-1</sup>; P = 5,87 g kg<sup>-1</sup>; K = 10,66 g kg<sup>-1</sup>); 3. Esterco ovino (MO = 575 g kg<sup>-1</sup>; N= 16,65 g kg<sup>-1</sup>; P = 7,2 g kg<sup>-1</sup>; K = 13,1 g kg<sup>-1</sup>); e 4. Cama de aviário (MO = 875 g kg<sup>-1</sup>; N= 29,33 g kg<sup>-1</sup>; P = 21,53 g kg<sup>-1</sup>; K = 17,42 g kg<sup>-1</sup>). Tais adubações orgânicas foram realizadas no início do período chuvoso, tiveram como base o teor de nitrogênio (N), atendendo a recomendação de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N. Em 2017 e 2018, a adubação foi substituída por apenas esterco bovino (MO= 412 g kg<sup>-1</sup>; N= 15 g kg<sup>-1</sup>; P = 4,9 g kg<sup>-1</sup>; K = 14,9 g kg<sup>-1</sup>). Anualmente também foi feito o manejo manual das plantas invasoras, sendo o material roçado utilizado como cobertura morta.

### *Amostragem e variáveis analisadas*

A coleta de solo foi realizada nos meses de outubro de 2018, abril e julho de 2019. As amostras foram coletadas nas profundidades 0-10 e 10-20 cm a 0,0; 1,5; 3,0; e 4,5 m da fileira central de leguminosas, para as parcelas com consórcio (Figura 3). As parcelas de monocultivo foram amostradas em apenas um ponto paralelo as leguminosas, nas mesmas profundidades descritas anteriormente. As amostras foram levadas para Laboratório de Forragicultura (UFRPE) e mantidas em refrigerador até a análise.



**Figura 3.** Croqui dos pontos de amostragem do solo nos sistemas consorciados de palma forrageira com leguminosas arbóreas, em Caruaru-PE

A respiração basal do solo (RBS) foi avaliada pela quantificação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) liberado pelo processo de respiração microbiana, sendo incubado 20 g de solo durante 7 dias, extraído com solução de  $\text{NaOH}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  e titulado com  $\text{HCl}$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$  (MENDONÇA; MATOS, 2005).

Os teores de C e N da biomassa microbiana (CBM e NBM) foram estimados empregando-se o método da irradiação-extração. Foram pesadas 20g de solo, levadas para micro-ondas por três minutos, ocorrendo a lise das células microbianas. Posteriormente, a extração foi realizada com sulfato de potássio  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . Após isso, os extratos de CBM sofreram a oxidação, com dicromato de potássio  $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ ; e a titulação, com sulfato ferroso amoniacal  $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ . Para os extratos de NBM foram determinados pelo método de Kjeldahl (ISLAM; WEIL, 1998).

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi calculado pela razão entre a RBS e o CBM (ANDERSON; DOMSCH, 1993), usado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos micro-organismos do solo. O quociente microbiano ( $qMIC$ ) foi obtido pela razão entre o CBM e o carbono orgânico total (COT). A dinâmica do C e N da biomassa microbiana foi discutida com base nas relações entre CBM e NBM (C:Nmic).

Para a análise de composição isotópica, as amostras da profundidade de 0-10 cm foram moídas em moinho de bola MM400 (Retsch, Newton, PA, EUA) até as partículas de solo atingirem tamanho menor que 100  $\mu m$ . Foram determinados os valores de C e N totais utilizando o analisador CHNS pelo método de combustão a seco, Dumas (Vario Micro Cube; Elementar, Hanau, Alemanha) acoplado a um espectrômetro de massa de razão isotópica (IsoPrime 100, IsoPrime, Manchester, UK) para analisar  $\delta^{13}C$  e  $\delta^{15}N$ , realizada no Laboratório da University of Florida, em Marianna-FL. Os resultados de  $^{13}C$ , oriundos de quatro repetições, foram expressos na forma de delta  $\delta^{13}C$  (‰), em relação ao padrão internacional PDB (Belemnite da formação Pee Dee). Já os resultados de  $^{15}N$  foram expressos na forma de delta  $\delta^{15}N$  (‰), em relação ao padrão  $\delta^{15}N$  do ar (0,3663‰). Foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\delta = \frac{[R_{amostra} - R_{padr\tilde{a}o}]}{R_{padr\tilde{a}o}}$$

Em que:

$\delta$ : Isótopo (‰)

R amostra: Razão isotópica da amostra ( $^{13}C:^{12}C$  e  $^{15}N:^{14}N$ )

R padrão C: Razão isotópica do padrão (PDB)

R padrão N: Ar atmosférico

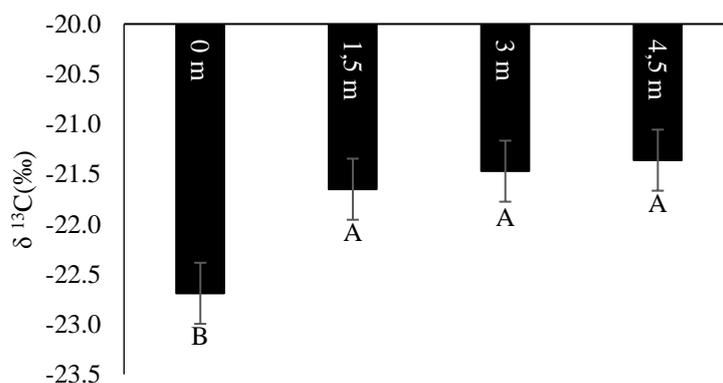
### *Análise estatística*

Os dados obtidos dos diferentes sistemas, distâncias e dos diferentes períodos de avaliação foram submetidos à análise de variância utilizando o Proc mixed do SAS/STAT® 14.1 (SAS, 2015). Blocos foram considerados efeitos aleatórios. Efeitos fixos incluíram sistemas de cultivo, estação e distâncias de amostragem. Para contrastar o sistema de palma em monocultivo com os sistemas integrados foi utilizado o valor médio das distâncias coletadas. Para testar o efeito das distâncias foi usado somente os valores dos sistemas consorciados. As médias dos tratamentos foram comparados pelo PDIFF e ajustadas para Tukey ( $P < 0,05$ ). As correlações de

Pearson entre as variáveis foram analisadas com auxílio do PROC CORR do SAS<sup>®</sup>, versão University, a 5% e 1% de probabilidade. Para tal, foram consideradas as médias de todas as variáveis, referentes aos meses de coleta, totalizando 72 pontos por correlação.

### Resultados e Discussão

Para o  $\delta^{13}\text{C}$ , observou-se efeito significativo apenas do local de coleta em relação às distâncias das leguminosas na profundidade de 0-10 cm ( $P=0,0001$ ). Nos sistemas consorciados sob a copa observou-se menor valor de  $\delta^{13}\text{C}$  (Figura 4), sendo verificada variação de -22,69 ‰ (0 m) a -21,36 ‰ (4,5 m). Essa variação significa uma mudança na origem da matéria orgânica do solo. Os menores valores encontrados sob a copa das árvores indicam a influência do resíduo orgânico oriundo das leguminosas, já que as plantas  $\text{C}_3$  variam entre -20 e -34‰ (MARTINELLI et al., 1998).

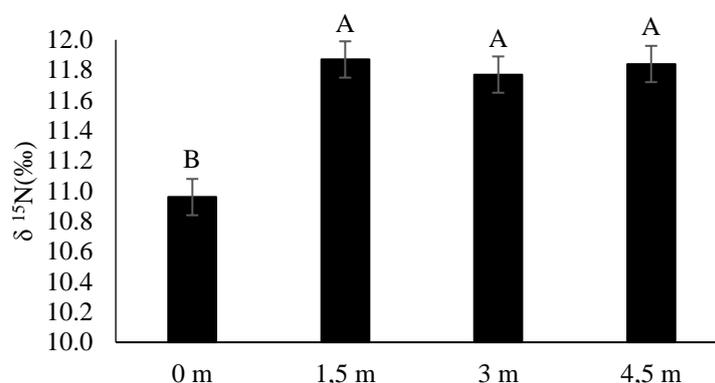


**Figura 4.** Abundância natural de  $^{13}\text{C}$  em diferentes distâncias das leguminosas consorciadas com palma na profundidade 0-10 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P<0,05$ ) pelo PDIFF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

No entanto, à medida que se distancia das árvores, a origem da matéria orgânica é modificada (Figura 4), provavelmente originando-se da palma forrageira, bem como de gramíneas invasoras, pois as plantas CAM apresentam reduzida deposição de serapilheira, porém contribuem com a deposição radicular e exsudatos radiculares, uma vez que a palma forrageira é uma planta perene, mantendo seu sistema radicular ativo ao longo dos anos (LEÓN-GONZÁLEZ et al., 2018). Além disso, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de plantas CAM obrigatórias são similares as plantas  $\text{C}_4$  em torno de -13‰ (CRAYN et al., 2004). Menor (2018), estudando o  $\delta^{13}\text{C}$  de diferentes clones da palma forrageira dos gêneros *Nopalea* e *Opuntia* no Agreste de Pernambuco, encontrou valores entre -14,43 e -13,22‰, comprovando seu metabolismo CAM obrigatório.

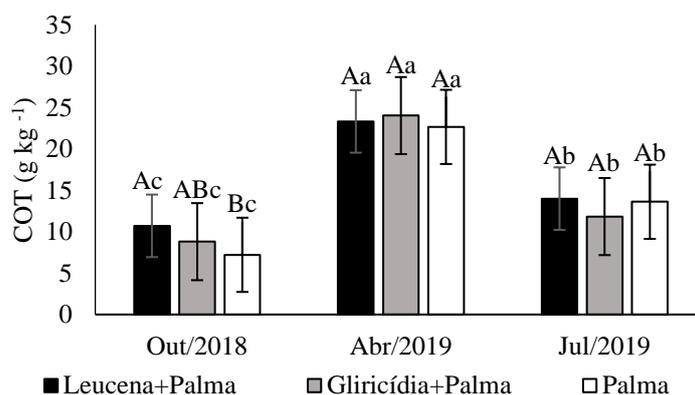
Para o  $\delta^{15}\text{N}$  também se observou efeito significativo da distância na profundidade de 0-10 cm ( $P=0,0001$ ). No solo, sob a copa das leguminosas, notaram-se menores valores de  $\delta^{15}\text{N}$  (Figura 5), em relação às demais distâncias. A redução dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  pode ser explicada pelo fato de as plantas que fazem associação simbiótica com diazotróficos utilizarem nitrogênio atmosférico que possui sinal isotópico zero. Esse menor valor também indica o acúmulo de matéria orgânica sob a copa, oriunda da deposição de serapilheira das árvores de leguminosas. À medida que se afasta das árvores ocorre o enriquecimento do  $\delta^{15}\text{N}$  no solo, indicando matéria orgânica em avançado estágio de humificação (DIJKSTRA et al., 2004) e menores teores de nitrogênio no solo.



**Figura 5.** Abundância natural de  $^{15}\text{N}$  em diferentes distâncias das leguminosas consorciadas com palma na profundidade 0-10 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P<0,05$ ) pelo PDIFF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

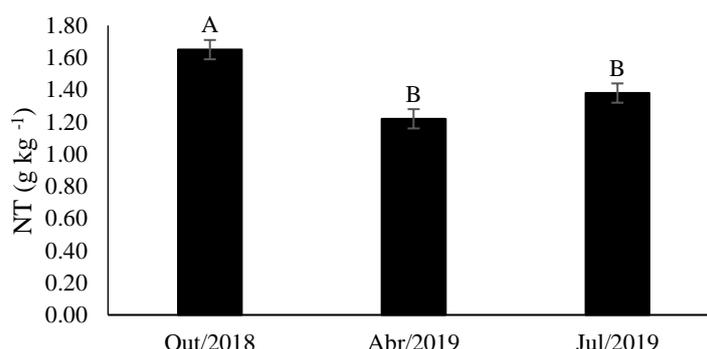
Quanto ao COT, observou-se interação significativa entre os sistemas de cultivo e os meses do ano somente na profundidade de 10-20 cm ( $P=0,021$ ). No solo da profundidade da 10-20 cm (Figura 6), a coleta realizada em abr/2019 apresentou maior teor de COT ( $23,3 \text{ g kg}^{-1}$ ) em todos sistemas estudados. Tal resultado indica incremento de resíduos orgânicos usados como substrato pelos micro-organismos do solo. Também indica que o carbono presente no solo é lixiviado no período de maior precipitação e preso na profundidade subsuperficial, já que na profundidade de 0-10 apresentou teores de COT em torno de  $9,6 \text{ g kg}^{-1}$ . Esses sistemas, com oito anos de implantação, apresentaram teores de COT superiores aos observados por Iwata et al. (2012), que avaliaram sistema agroflorestal com treze anos de adoção ( $21,9 \text{ g kg}^{-1}$ ).



**Figura 6.** Carbono orgânico total (COT) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 10-20 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada período do ano, letras minúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada sistema ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Quanto ao NT, não foi observada diferença significativa na profundidade de 0-10 cm ( $P=0,142$ ); já para a profundidade de 10-20 cm ( $P=0,0001$ ) houve efeito apenas dos meses do ano, sendo maior durante o out/2018 em torno de 26%, em relação aos demais meses (Figura 7). Tal incremento de nitrogênio pode ser atribuído à deposição de serrapilheira das leguminosas. Como mecanismo para minimizar a perda de água por evapotranspiração, essas árvores perdem suas folhas geralmente no final da estação chuvosa e durante o período seco (ALONSO et al., 2015). A adição de material de baixa relação C:N resulta na rápida decomposição e mineralização do material (SILVA et al., 2013), aumentando os teores de nutrientes do solo, principalmente nitrogênio.

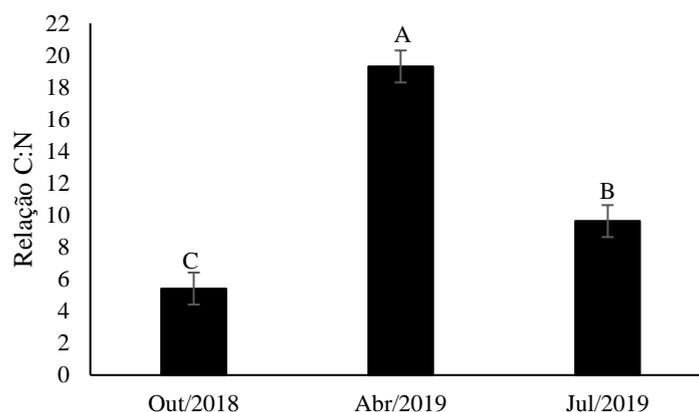


**Figura 7.** Nitrogênio total (NT) em diferentes períodos do ano na profundidade de 10-20 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

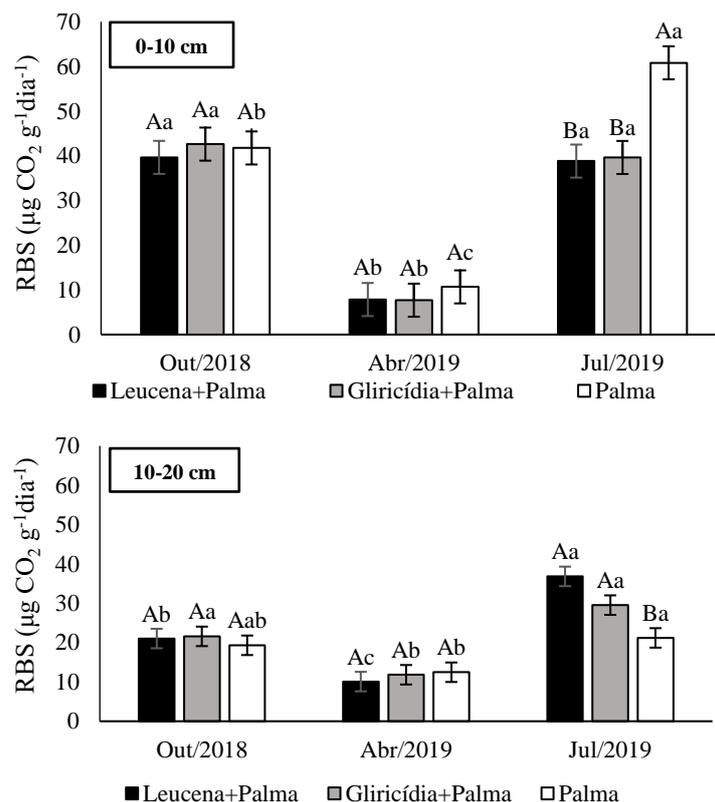
Para a relação C:N do solo (Figura 8) não foi observada diferença significativa na profundidade de 0-10 cm ( $P=0,817$ ); já para a profundidade de 10-20 cm ( $P=0,0001$ ) houve

efeito apenas dos meses do ano. A maior relação C:N foi encontrada no mês de abr/2019 (19:1), provavelmente pelo fato de as primeiras chuvas já terem ocorrido e, com isso, a mineralização dos resíduos orgânicos existente no solo, restando apenas o material pobre em N. Os meses de out/2018 e jul/2019 apresentaram os menores valores de relação C:N (7:1), comprovando a influência da serrapilheira das leguminosas (baixa C:N), que tendem a serem depositadas principalmente no final da estação chuvosa e durante o período seco (ALONSO et al., 2015). Em todos os meses avaliados, a mineralização foi superior a imobilização (<20:1), indicando uma maior disponibilidade de nutrientes (BRANDANI; SANTOS, 2016).



**Figura 8.** Relação C:N do solo (C:N) em diferentes meses do ano na profundidade de 10-20 cm do solo. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo PDIFF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Para respiração microbiana, observou-se interação significativa entre os sistemas de cultivo e os meses do ano nas profundidades de 0-10 ( $P = 0,045$ ) e 10-20 cm ( $P = 0,007$ ). Os solos dos sistemas consorciados apresentaram maior atividade microbiana (Figura 9) nos meses de out/2018 (41,1 e 21,3  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) e jul/2019 (39,2 e 33,1  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em relação ao mês de abr/2019 (7,7 e 10,9  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). A alta respiração microbiana observada durante out/2018 pode estar associada ao fato de o solo ter sido incubado com capacidade de campo a 60%; assim, ao adicionar a água, que é o principal fator limitante da decomposição da matéria orgânica (SILVA et al., 2012), juntamente com resíduos orgânicos acumulados durante esse período estimulam a atividade microbiana. Essa alta respiração também indica situação de estresse na microbiota, em consequência da baixa umidade do solo (Figura 1), uma vez que esses micro-organismos estão respirando mais durante a decomposição da matéria orgânica para suprir suas exigências nutricionais.



**Figura 9.** Respiração basal do solo (RBS) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano nas diferentes profundidades do solo.

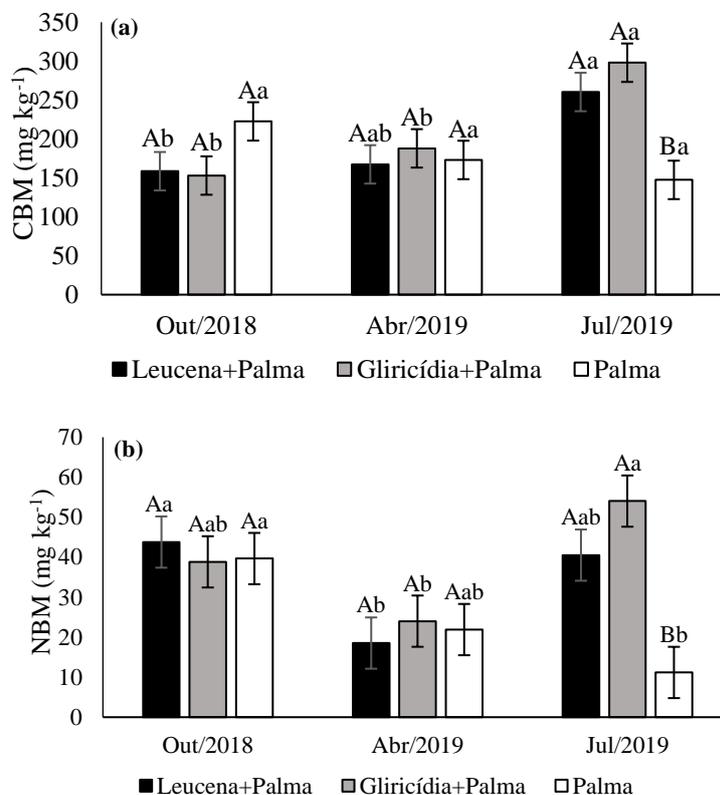
Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada período do ano, letras minúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada sistema ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Durante jul/2019, os solos dos sistemas consorciados apresentaram menor emissão de  $\text{CO}_2$  (Figura 9) na profundidade de 0-10 cm ( $39,2 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), sendo o contrário observado na profundidade de 10-20 cm ( $33,1 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). Isso provavelmente está relacionado à maior deposição de serapilheira, já que a Leucena e a Gliricídia são caducifólias (AGUIAR et al., 2019), o que promove intensa cobertura vegetal do solo e aporte de matéria orgânica nessa estação. Este aporte de matéria orgânica propicia melhores condições microbiológicas do solo.

A maior emissão de  $\text{CO}_2$  no cultivo palma em monocultivo (Figura 9) durante jul/2019 ( $60,8 \mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) pode ter sido causada pela remoção de plantas invasoras, podendo estar associada à deposição do material roçado, utilizado como substrato pelos micro-organismos. Esse resultado foi observado por Melloni et al. (2013), em quais estudos ocorreu maior respiração ao solo submetido à capina manual em relação ao solo sem capina.

Também houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e os meses do ano para o CBM na profundidade de 0-10 cm ( $P=0,005$ ), não sendo observada diferença significativa na profundidade de 10-20 cm ( $P=0,884$ ). Os solos dos diferentes sistemas consorciados apresentaram maior CBM, aproximadamente  $279,1 \text{ mg kg}^{-1}$  em Jul/2019 (Figura 10a), evidenciando a similaridade entre as leguminosas utilizadas. Isso também pode ser

atribuído à queda das folhas das árvores que são caducifólias (AGUIAR et al., 2019). Esse aporte de serapilheira, juntamente com a chuvas que ocorrem neste período (Figura 1), provavelmente favoreceu a mineralização da matéria orgânica, resultando em maior incorporação de carbono nas células microbianas.



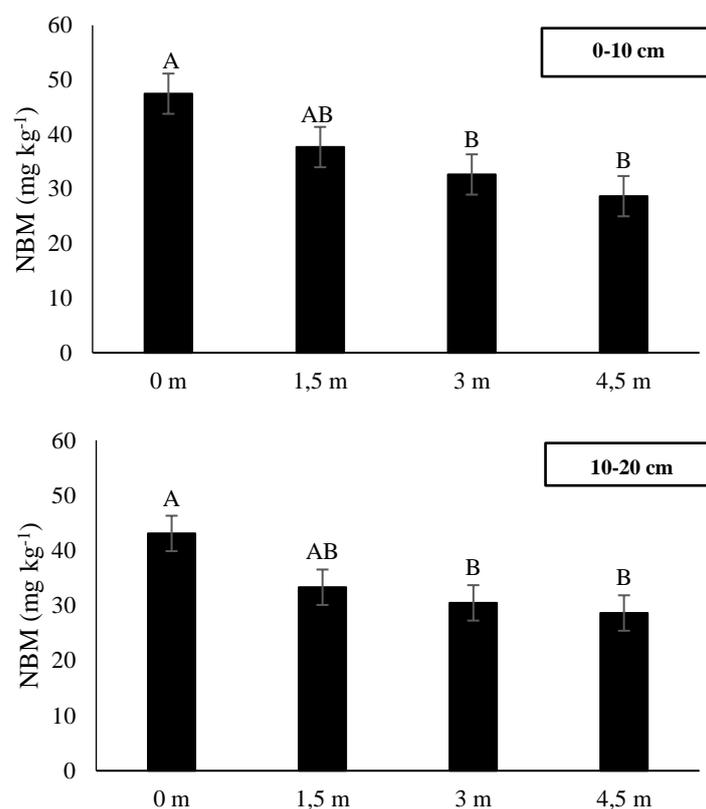
**Figura 10.** Carbono (a) e nitrogênio (b) da biomassa microbiana (CBM e NBM) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada período do ano, letras minúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada sistema ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Quanto ao NBM, foi observada interação significativa entre os sistemas de cultivo e os meses do ano na profundidade de 0-10 cm ( $P = 0,025$ ), o mesmo não ocorrendo na profundidade de 10-20 cm ( $P = 0,170$ ). Durante abr/2019 (Figura 10b), notou-se menor quantidade de NBM em torno de 21,4 mg kg<sup>-1</sup>. Esses resultados tiveram a mesma tendência encontrada por Souza et al. (2010), que avaliaram o NBM do solo em pastagem de inverno e verificaram decréscimo do NBM ao longo das épocas de maior precipitação, provavelmente relacionado por nitrogênio ser facilmente perdido por lixiviação.

O NBM também foi alterado pela distância nas profundidades de 0-10 ( $P = 0,002$ ) e 10-20 cm ( $P = 0,002$ ), em que sob a copa das árvores de Leucena e Gliricídia ocorreu maior teor de NBM (45,2 mg kg<sup>-1</sup>) e à medida que se distancia da copa das árvores esse teor foi reduzido em torno de 40% para a profundidade de 0-10 cm e 34% na profundidade 10-20 cm (Figura 11).

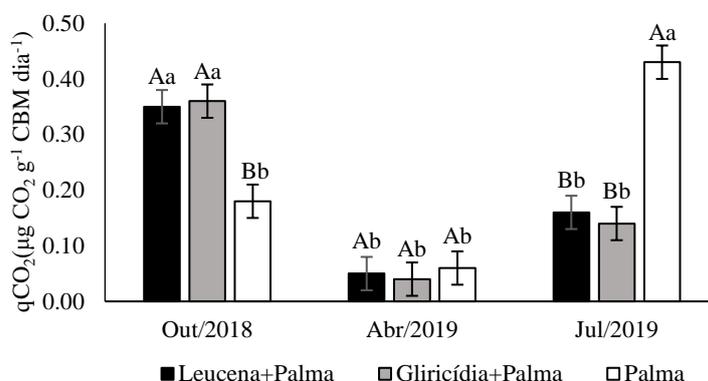
Isso significa maior imobilização do N, constituindo uma das possíveis reservas deste nutriente no solo, embora sua reciclagem e liberação seja mais rápida do que as de outras frações da matéria orgânica do solo (COSER et al., 2007). Yadav et al. (2011) também identificaram maiores valores de N na biomassa microbiana em sistema de uso da terra baseado em *Acacia leucophloea* e *A. nilotica*, em comparação a um tratamento controle (sem árvores), melhorando a atividade microbiana.



**Figura 11.** Nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) em diferentes distâncias das leguminosas consorciadas com palma nas diferentes profundidades do solo. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo PDIFF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Para  $qCO_2$  (Figura 12), também foi observada interação significativa entre sistemas de cultivo e meses do ano ( $P = 0,0001$ ). O solo da profundidade de 0-10 cm apresentou maior  $qCO_2$  em out/2018 nos tratamentos consorciados com palma ( $0,3 \mu g CO_2 g^{-1} CBM dia^{-1}$ ); já em jul/2019, o solo do monocultivo de palma apresentou maior  $qCO_2$  ( $0,3 \mu g CO_2 g^{-1} CBM dia^{-1}$ ). Em abr/2019, o  $qCO_2$  dos solos não diferiu entre os sistemas de cultivo. O aumento dos  $qCO_2$  significa um impacto direto negativo na microbiota do solo, pela formação de um ambiente de estresse. Esse aumento no  $qCO_2$  está associado a uma menor biomassa microbiana, juntamente com altas taxas de respiração durante a decomposição da matéria orgânica. Apesar dos altos valores encontrados, esses são similares aos encontrados por Araujo et al. (2014) em solos sob

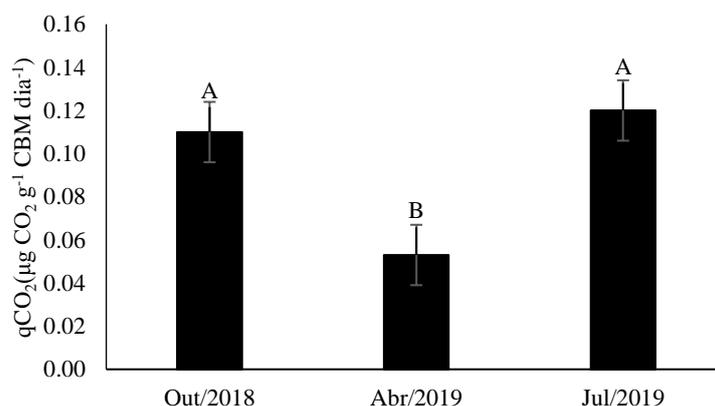
vegetação nativa e pastagem no Agreste Pernambucano, indicando que os sistemas estudados são modelos sustentáveis e benéficos para a biomassa microbiana.



**Figura 12.** Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada período do ano, letras minúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada sistema ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Na profundidade de 10-20 cm foi verificado efeito do mês de coleta ( $P = 0,0001$ ) para  $qCO_2$ , sendo o  $qCO_2$  menor no abr/2019 (Figura 13). Os menores valores de  $qCO_2$  observados neste mês nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm do solo indicam uma maior biomassa microbiana e mais eficiente, decorrente da menor taxa respiratória (baixo gasto energético) durante a utilização do pouco resíduo orgânico disponível, sendo prontamente disponível e incorporado no tecido microbiano (CUNHA et al., 2011).

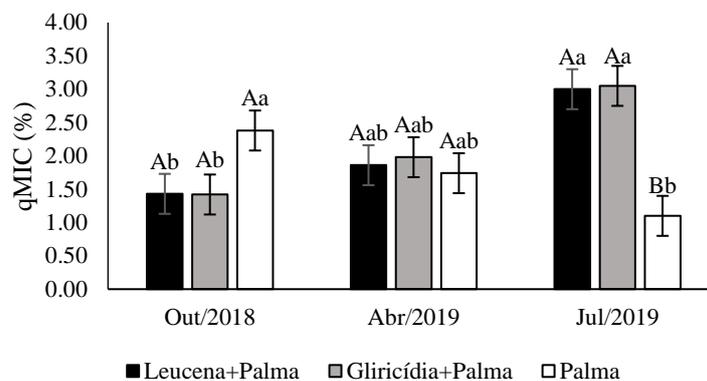


**Figura 13.** Quociente metabólico ( $qCO_2$ ) em diferentes meses do ano na profundidade de 10-20 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Na profundidade de 0-10 cm houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e os meses do ano para o  $qMIC$  ( $P = 0,001$ ). Em out/2018 e abr/2019, os diferentes sistemas de cultivo não diferiram entre si (Figura 14). Para jul/2019, o maior  $qMIC$  foi observado nos consórcios de Leucena e Gliricídia com palma, 3,0% e 3,1%, respectivamente. Esses valores

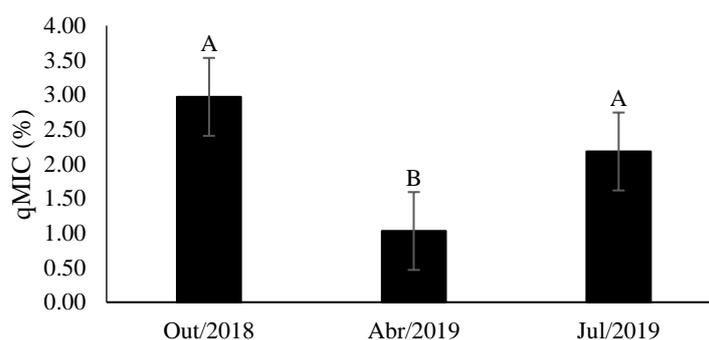
são superiores a 1%, indicando condição favorável para à atividade microbiana (JENKINSON; LADD, 1981). Os valores encontrados nos sistemas consorciados são similares aos observados por Guimarães et al. (2017), que avaliaram uma área em pousio por três anos, e observaram que a maior complexidade vegetal favoreceu o desenvolvimento de uma população microbiana mais estável.



**Figura 14.** Quociente microbiano (qMIC) em diferentes sistemas de cultivos com palma e meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada período do ano, letras minúsculas distintas diferem estatisticamente dentro de cada sistema ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Na profundidade de 10-20 cm foi verificada influência somente dos meses do ano ( $P = 0,0001$ ), ocorrendo diminuição dos valores de qMIC em out/2018 com 2,97% para 1,03% em abr/2019 (Figura 15). Embora a biomassa microbiana tenha sido similar nesses meses, essa microbiota foi menos efetiva em utilizar os resíduos orgânicos disponíveis (MARTINS et al., 2010).

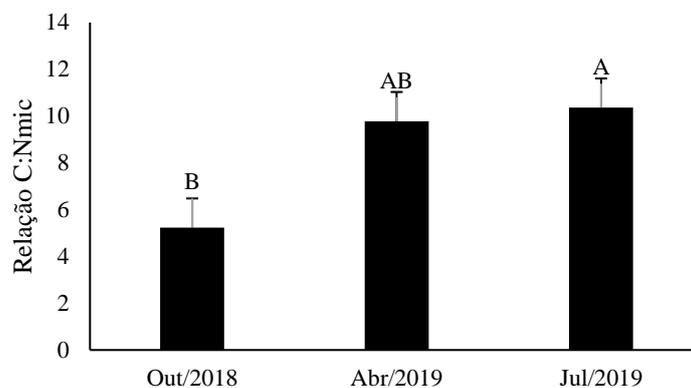


**Figura 15.** Quociente microbiano (qMIC) em diferentes períodos do ano na profundidade de 10-20 cm do solo.

Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo PDIF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

Na profundidade de 0-10 cm ( $P = 0,020$ ) houve uma redução da relação C:Nmic em out/2018 em relação aos outros meses de avaliação (Figura 16). Isso evidencia que a biomassa

microbiana foi enriquecida em nitrogênio, podendo apresentar maior quantidade do nutriente a ser mineralizado. Este enriquecimento pode ser oriundo da adubação orgânica que antecedeu a esse período (LISBOA et al., 2018), bem como da deposição da serapilheira das leguminosas comum durante este mês (MIRANDA, 2018). Essa serapilheira, por apresentar menor relação C:N, é rapidamente decomposta e mineralizada pelos micro-organismos (ARF et al., 2018).



**Figura 16.** Relação C:N microbiano (C:Nmic) em diferentes meses do ano na profundidade de 0-10 cm do solo. Letras maiúsculas distintas diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) pelo PDIFF ajustado para Tukey. As barras indicam o erro padrão da média.

A alteração na relação C:N da biomassa microbiana também pode estar associada a mudanças na comunidade microbiana, visto que cada grupo de organismo apresenta diferentes relações C:N. Por exemplo, a relação C:N dos fungos é de 7 a 12, enquanto que a das bactérias fica de 3 a 6 (BRUMME; KHANNA, 2009). A predominância da comunidade fúngica durante o mês de abr/2019 e jul/2019 (Figura 16) concorda com o estudo feito por Holland et al. (2013), que encontraram maior densidade de fungos em solos sob cultivo de uva irrigada, uma vez que esses micro-organismos apresentam metabolismo aeróbio, sendo seu desenvolvimento favorecido em ambientes de maior umidade, ocorrendo maior produção de hifas. A alteração na relação C:N da biomassa microbiana comprova que a composição da comunidade microbiana do solo e, conseqüentemente, o nível de imobilização e mineralização dos nutrientes do solo são afetados pelos meses do ano e pelo sistema de cultivo.

Analisando as relações entre as variáveis, encontrou-se correlação positiva entre C:Nmic e CBM e negativa com NBM (Tabela 2). A relação C:N correlacionou-se com COT e NT, positivamente e negativamente, respectivamente. Essas correlações constituem uma autocorrelação (correlação entre uma variável e um índice obtido a partir desta variável). O COT estimado representa tanto as fontes solúveis como os compostos de média e de alta recalcitrância, as correlações citadas indicam que resíduos orgânicos com maior grau de

recalcitrância e menor teor de NT resultam em resíduo orgânico com alta relação C:N, favorecendo a imobilização (BRANDANI; SANTOS, 2016).

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas dos solos dos diferentes sistemas de cultivos.

	RBS	CBM	NBM	C:Nmic	qCO <sub>2</sub>	qMIC	COT	NT	C:N	C <sup>13</sup>	N <sup>15</sup>
RBS	1,00	-0,08	0,21	-0,11	0,82**	0,04	-0,20	0,04	-0,25*	-0,13	0,26*
CBM		1,00	0,16	0,45**	-0,45**	0,67**	0,12	0,19	-0,01	0,01	0,13
NBM			1,00	-0,65**	0,06	0,11	0,00	-0,06	0,00	0,04	-0,18
C:Nmic				1,00	-0,20	0,24*	0,14	0,20	0,02	-0,08	0,23*
qCO <sub>2</sub>					1,00	-0,23	-0,22	-0,08	-0,18	-0,02	0,16
qMIC						1,00	-0,52**	0,03	-0,52**	0,04	0,02
COT							1,00	0,22	0,79**	-0,04	0,01
NT								1,00	-0,39**	0,00	0,15
C:N									1,00	-0,07	-0,12
C <sup>13</sup>										1,00	0,39**
N <sup>15</sup>											1,00

\* e \*\*: Significativos a 5 e 1 %; RBS: respiração basal do solo; CBM: carbono da biomassa microbiana; NBM: nitrogênio da biomassa microbiana; C:Nmic: relação C/N microbiana; qCO<sub>2</sub>: quociente metabólico; qMIC: quociente microbiano; COT: carbono orgânico; NT: nitrogênio total; C/N: relação C/N; C<sup>13</sup>: δ<sup>13</sup>C; N<sup>15</sup>: δ<sup>15</sup>N.

O qMIC se correlacionou positivamente com o CBM e relação C:Nmic (Tabela 2), correlacionando-se negativamente com COT e relação C:N. Ou seja, a eficiência da biomassa microbiana em imobilizar carbono só foi reduzida com o aumento de frações recalcitrantes. Para δ<sup>15</sup>N, encontrou-se correlação positiva entre a respiração basal, C:Nmic e δ<sup>13</sup>C. Para qCO<sub>2</sub>, entre a respiração basal do solo (positiva) e CBM (negativa). Isso infere que o qCO<sub>2</sub> funciona como um indicador de condições de estresse para a biomassa microbiana, uma vez que a biomassa microbiana é mais eficiente (menor emissão de CO<sub>2</sub>) em utilizar frações de rápida decomposição.

### **Conclusões**

A atividade microbiana foi semelhante nos solos cultivados com palma forrageira em monocultivo e consorciada com leguminosas arbóreas em out/2018 e abr/2019 na profundidade de 0-10 cm.

Em jul/2019, os sistemas consorciados favorecem a biomassa microbiana por contribuírem com a maior deposição de resíduos orgânicos (baixa relação C:N), em relação ao monocultivo.

O gradiente de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  nos transectos perpendiculares às linhas das leguminosas arbóreas indicam a maior contribuição das leguminosas na área sob a copa, afetando a composição e a dinâmica da matéria orgânica.

Recomenda-se, para a região Agreste de Pernambuco, o consórcio de palma forrageira por garantirem a preservação do carbono orgânico no solo e redução das emissões de  $\text{CO}_2$ .

## Referências Bibliográficas

- AGUIAR, M. I.; FIALHO, J. S.; CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, T. S. Florística e estrutura vegetal em áreas de Caatinga sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 1-11, 2019.
- ALONSO, J. M.; LELES, P. S. S.; FERREIRA, L. N.; OLIVEIRA, N. S. A. Aporte de serapilheira em plantio de recomposição florestal em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 1-11, 2015.
- ALVES, T. S. et al. 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.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.
- APOLINÁRIO, V. X. O. et al. Tree legumes provide marketable wood and add nitrogen in warm-climate silvopasture systems. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1915-1921, 2015.
- ARAÚJO, J. K. S. et al. Humic Haplustox under different land uses in a high altitude environment in the Agreste region of Pernambuco, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1337-1349, 2014.
- ARF, O. et al. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n. 3, p. 431-444, 2018.
- AZEVEDO, W. D. S. L.; PEREZ-MARIN; A. M.; FERREIRA, T. C. *Opuntia* sp., fertilidade e sazonalidade climática podem influenciar a microbiologia do solo em área com SAF? **Journal of Biology and Pharmacy and Agricultural Management**, v. 15, n. 4, p. 374-386, 2019.
- BOREUX, V. et al. Agroforestry coffee production increased by native Chade trees irrigation, and liming. **Agronomy for sustainable development**, v. 36, n. 3, p. 1-9, 2016.
- BRANDANI, C. B.; SANTOS, D. G. Transformações do carbono no solo. In: ANDREOTE, F. D.; CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do solo**, 2 ed. p. 221, 2016.
- BRUMME, R.; KHANNA, P. K. **Funcionamento e gestão de ecossistemas europeus de faia**: Springer. p. 439, 2009.
- COSER, T. R. et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de cerrado com aplicação de fertilizantes nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 399-406.
- CRAYN, D.M.; WINTER, K.; SMITH A. C. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit in the neotropical family Bromeliaceae. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 101, n. 10, p. 3703 – 3708, 2004.

CUNHA, E. Q. et al. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II - Atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 603-611, 2011.

DIJKSTRA, F.A.; HOBBIE, S. E.; KNOPS, J. M. H.; REICH, P. B. Nitrogen deposition and plant species interact to influence soil carbon stabilization. **Ecology Letters**, v.7, n.12, p.1192-1198, 2004.

DING, G. C. et al. Changes of soil bacterial diversity as a consequence of agricultural land use in a semi-arid ecosystem. *Plos One*, v. 8, n. 3, p.1-10, 2013.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B. et al. Potential of cactus pear in South America. **Cactusnet Newsletter**, v. 13, ed. esp., p. 29-40, 2013.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B. et al. Soil characteristics under legume and non-legume tree canopies in signalgrass (*Brachiaria decumbens*) pastures. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª.ed. Brasília, DF: 356 p., 2018.

FAUCI, M. F; DICK, R. Soil microbial dynamics: Short-and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 3, p. 801-806, 1994.

FREITAS, A. D. S. et al. Fixação biológica de nitrogênio no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 585-597, 2015.

GOVEIA, J. S. S. et al. Partial replacement of corn by forage cactus in the diets of lactating goats. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 969-976, 2016.

GUIMARÃES, N. D. F. et al. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

HOLLAND, T. C. et al. The response of soil biota to water availability in vineyards. **Pedobiologia**, v.56, n. 1, p. 9-14, 2013.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, n. 4, p. 408-416, 1998.

IWATA, B. F. et al. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: Measurement and turnover. In: PAUL, E. A.; LADD, J. M., eds. **Soil biochemistry**. 5.ed. NewYork, Marcel Decker, p. 415-471, 1981.

LEÓN-GONZÁLEZ, F. et al. Cactus crop as an option to reduce soil C–CO<sub>2</sub> emissions in soils with declining fertility. **Agronomy for sustainable development**, v. 38, n.1, p. 1-10, 2018.

LISBOA, C. C. et al. Taxa de mineralização do nitrogênio de resíduos orgânicos. **Cultura Agrônômica: Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 27, n. 2, p. 341-355, 2018.

MACHADO FILHO, G. C.; SILVA, F. R. Benefícios sociais, econômicos e ambientais dos sistemas agroflorestais (SAFs) em pequenas propriedades. **Inclusão social**, v. 6, n. 1, p. 219-225, 2012.

MARTINELLI, L. A. et al. Stable carbon isotope ratio of tree leaves, boles and fine litter in a Tropical Forest in Rondônia, Brazil. **Oecologia**, v. 114, n. 2, p. 170-179, 1998.

MARTINS, C. M.; GALINDO, I. C. L.; SOUZA, E. R.; POROCA, H. A. Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1883-1890, 2010.

MELLONI, R. et al. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 67-75, 2013.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa: UFV, 107p., 2005.

MENDONÇA, L. A. R. et al. Identificação de mudanças florestais por  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n. 3, p. 314-319, 2010.

MENOR, T. R. F. L. **Sistemas de cultivo e composição isotópica de carbono e nitrogênio em palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*)**. 166 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018.

MICCOLIS, A. et al. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais**. Brasília: Instituto Sociedade, População e Natureza – ISPN/Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal – World Agroforestry, p. 10-14, 2016.

MIRANDA, K. R. **Contribuição de leguminosas arbóreas em consórcio com palma forrageira fertilizada com diferentes esterco**s. 80 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2018.

MIRANDA, K. R. et al. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, v. 49, n. 1.p. 1-6, 2019.

NEFZAOU, A.; KETATA, H.; EL MOURID, M. Agricultural technological and institutional innovations for enhanced adaptation to environmental change in North Africa. In: YOUNG, S. S.; SILVERN, S. E. eds. **International perspectives on global environmental change**. InTech, p. 57–84, 2011.

SAS. SAS Institute Inc. **SAS/STAT® 14.1 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2015.

SILVA, A. B. et al. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 502-511, 2013.

SILVA, C. F. et al. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1680-1689, 2012.

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

SOUZA, T. C. et al. Produtividade e concentração de nutrientes na palma miúda sob diferentes adubações e densidades de plantio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 555-560, 2017.

XAVIER, D. F. et al. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em Sistema silvipastoril e monocultura. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1214-1219, 2011.

YADAV, R. S. et al. Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 3, p. 195-202, 2011.