



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

DIANA VALADARES PESSOA

**DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM *UROCHLOA DECUMBENS*
STAPF. E *MIMOSA CAESALPINIIFOLIA* BENTH. SOB
MONOCULTIVO E SISTEMA SILVIPASTORIL**

RECIFE-PE

2022

DIANA VALADARES PESSOA

**DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM *UROCHLOA DECUMBENS*
STAPF. E *MIMOSA CAESALPINIIFOLIA* BENTH. SOB
MONOCULTIVO E SISTEMA SILVIPASTORIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Zootecnia da Universidade Federal Rural de
Pernambuco para obtenção do título de Doutora
em Zootecnia.

Área de concentração: Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha

Coorientadores: Prof. Dr. Alexandre Carneiro
Leão de Mello e Prof^a. Dr^a. Mércia Virginia
Ferreira dos Santos

RECIFE-PE

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P 475d

Pessoa, Diana Valadares

Dinâmica da serapilheira e da matéria orgânica do solo em *Urochloa decumbens* Stapf. e *Mimosa caesalpinifolia* Benth. sob monocultivo e sistema silvipastoril / Diana Valadares Pessoa. - 2022.
93 f.

Orientador: Marcio Vieira da Cunha.
Inclui referências e apêndice(s).

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, 2022.

1. Consórcio. 2. leguminosa. 3. gramínea. 4. decomposição. 5. nutrientes. I. Cunha, Marcio Vieira da, orient. II. Título

CDD 636

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**DINÂMICA DA SERAPILHEIRA E DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO EM *UROCHLOA DECUMBENS*
STAPF. E *MIMOSA CAESALPINIIFOLIA* BENTH. SOB
MONOCULTIVO E SISTEMA SILVIPASTORIL**

Tese elaborada por
DIANA VALADARES PESSOA

Aprovada em 25/05/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(Orientador)

Dr. José de Paula Oliveira
Instituto Agrônômico de Pernambuco

Prof. Dr. Valdson José da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Giselle Gomes Monteiro Fracetto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

*A **Deus**, acima de tudo, pela constante presença em minha vida, movendo minha fé e me dando forças para seguir em frente.*

*À minha mãe, **Maria de Jesus**, à minha avó, **Maria Rodrigues** (in memoriam), ao meu tio, **José Domingos**, e à minha segunda mãe, **Maria José**, pelo amor, carinho, ensinamentos e conselhos, ajudando-me traçar os melhores caminhos para alcançar meus ideais, de forma honesta e humilde.*

*Ao meu esposo, **Adão**, o grande amor de minha vida, pelo amor, carinho, confiança e ainda por ser meu melhor amigo, estimulando-me principalmente nas horas mais difíceis, com longas conversas incentivadoras e que acalmam meu coração.*

*E, por fim, a toda minha **família** por toda educação que me foi dada e, principalmente, pela confiança e estímulos durante toda minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela vida e por ser minha base e força em todos os momentos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ), pela oportunidade de realização do doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual não seria possível a realização deste curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha, pela orientação, atenção, incentivos, paciência e ensinamentos, além da confiança depositada em mim.

Aos meus coorientadores, Prof^ª. Dr^ª. Mércia Virginia Ferreira dos Santos e Prof. Dr. Alexandre Carneiro Leão de Mello, pela grande contribuição neste trabalho com orientações, disponibilidade, amizade e, acima de tudo, pela confiança no desenvolvimento deste trabalho. A contribuição de vocês foi mais que essencial.

Aos professores da banca examinadora, pelas valiosas contribuições a este trabalho.

A todos os professores do PPGZ, pelas horas dedicadas e conhecimentos passados.

À Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em especial à direção e a todos os funcionários pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Aos laboratórios de Forragicultura, Nutrição animal (LNA), Química agrícola e Solos da UFRPE, pela oportunidade de realização das análises.

Aos meus amigos Gabriela Duarte, Géssica Solanna, Dayane Camelo, Pedro Mouzinho, Pedro Henrique, Chrislanne Carvalho, José Lypson, Suellen Miranda, Valéria Apolinário, Elayne Soares, Ercvania Costa, Italvan Macêdo, Lenildo Teixeira, Maikon Lemos, Marilene Maciel, Tafnes Bernardo, Williane Patrícia, Jessica Marques e Rayanne Thalyta, por toda colaboração nas atividades de campo, laboratoriais e apoio durante todo o curso. A ajuda de vocês foi essencial.

Enfim, a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

*Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.*

Charles Chaplin

Dinâmica da serapilheira e da matéria orgânica do solo em *Urochloa decumbens*
Stapf. e *Mimosa caesalpinifolia* Benth. sob monocultivo e sistema silvipastoril

RESUMO GERAL

O sistema silvipastoril corresponde a exploração, na mesma área, de árvores, pasto e animais manejados de forma integrada. Objetivou-se avaliar as dinâmicas da serapilheira e da matéria orgânica do solo em *urochloa decumbens* stapf. e *mimosa caesalpinifolia* benth. sob monocultivo e sistema silvipastoril, durante a fase de estabelecimento das árvores. O delineamento experimental foi blocos casualizados, com três repetições. Ao longo de dois anos avaliou-se a deposição de serapilheira da leguminosa sabiá, bem como a decomposição de folhas senescentes da sabiá e do capim-braquiária em monocultivo e em sistema silvipastoril (entre a fileira dupla das árvores e a dois metros de distância das fileiras duplas), por 512 dias. Além disso, avaliou-se a densidade, concentrações e estoques de carbono e nitrogênio, biomassa microbiana e fracionamento da matéria orgânica do solo, tanto no sistema silvipastoril (a 0, 2, 4 e 6 metros de distância em relação às filas duplas), como nos monocultivos de sabiá e capim-braquiária. As coletas de solo foram realizadas na implantação do sistema (16 meses após o plantio das árvores, 1º ano), um ano após a implantação (2º ano) e dois anos após a implantação (3º ano), nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm do solo. A maior deposição total (531,9; 347,9; 201,6 kg ha⁻¹) e de folhas (425,3; 235,9; 130,5 kg ha⁻¹) de serapilheira foram, respectivamente, para o monocultivo, entre a fileira dupla das árvores (0 m) e a 2 m das árvores. A maior deposição total, de folhas, ramos e de miscelâneas, assim como os maiores teores de matéria orgânica, matéria mineral, Potássio (K) e Cálcio (Ca) na serapilheira depositada e as maiores contribuições de todos os nutrientes ocorreram no período seco do ano. O maior teor de carbono (C) na serapilheira foi observado no período chuvoso. O teor de magnésio (Mg) na serapilheira foi maior a 2 m de distância das árvores. Na decomposição da serapilheira, a biomassa remanescente de cada espécie foi influenciada pelo sistema de cultivo sofreu, mas diminuiu de forma exponencial ao longo do período de incubação. O teor de N remanescente aumentou, enquanto a relação C/N e o teor de C sofreram redução ao longo do tempo de incubação. Quanto a composição química da serapilheira remanescente, foi observado maior teor de N no monocultivo (10,13 g kg⁻¹ MO) da gramínea. No sistema silvipastoril, os teores de C (438,23), lignina (225,68) e a relação lignina/N (39,77) da gramínea foram maiores entre as filas duplas das árvores, enquanto a relação C/N (120,01) foi maior a 2 m das filas duplas. Com relação a leguminosa, as concentrações de N foram maiores entre as filas duplas das árvores (22,06 g/kg MO) e a 2 m das filas duplas (22,52 g/kg MO), em comparação ao monocultivo. Por outro lado, a relação C/N foi maior (21,79) no monocultivo. A fração fibrosa aumentou com o tempo de incubação. O monocultivo da leguminosa apresentou maiores concentrações e estoques de N em relação ao monocultivo da gramínea, porém não diferiu do sistema silvipastoril. No início da implantação do sistema silvipastoril, houve maior concentração do carbono microbiano no solo (419,09 mg kg⁻¹). A densidade do solo foi maior no 2º ano, enquanto no 3º ano houve diminuição, sobretudo na camada de 40 cm, com aumentos de 7,80; 7,57; 7,22 g kg⁻¹ para a concentração de C e de 9,18; 8,38; 14,18 Mg ha⁻¹ para os estoques de C, no 2º ano. O consórcio de sabiá e capim-braquiária em sistema silvipastoril pode possibilitar a formação de matéria orgânica mais estável e otimizar o retorno de nutrientes no solo, devido à composição e decomposição distintas da serapilheira de ambas as espécies. Além disso, a utilização do sabiá no sistema demonstrou potencial de elevar as concentrações e estoques de N no solo e, após três anos de implantação do sistema, de aumentar consideravelmente os níveis de estoques de C do solo.

Palavras-chave: Consórcio, Leguminosa, Gramínea, Decomposição, Solo, Nutrientes.

Litter dynamics and soil organic matter in *Urochloa decumbens* Stapf. and *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. under monoculture and silvopastoral system

ABSTRACT

Silvopastoral systems are productive systems composed of trees, herbaceous forage swards, and livestock in an integrated way. The study aimed evaluate the dynamics of litter and soil organic matter in *urochloa decumbens* stapf. and *mimosa caesalpiniiifolia* benth. under monoculture and silvopastoral system, during the trees establishment phase. Treatments were distributed in a randomized complete block design with three repetitions. Litter deposition was assessed in a two-year trial, and leaf decomposition was measured in both legume and grass, until 512 days, in monocropping and silvopastoral systems (between rows, at a 2-m distance). Moreover, the contents and stocks of C and N, also the microbial biomass, soil density and organic matter fractionation were evaluated in the silvopastoral system considering distances of 0, 2, 4, and 6 m from double-rows, and in the monocropping system too. Soil samplings were collected at the establishment of the silvopastoral system (16 months after tree planting = one year), one year later (two years), and two years later (three years), on soil layers of 0-10, 10-20, and 20-40 cm. The greatest total litter deposition (531.9; 347.9; 201.6 kg ha⁻¹) and leaf deposition (425.3; 235.9; 130.5 kg ha⁻¹) were observed in the monocropping system, between double-rows (0 m) and at a 2-m distance. Greater total deposition and those of leaves, stems, and miscellaneous, also litter contents of organic and mineral matter, calcium, potassium, and contributions of all nutrients, were verified in the dry season. Conversely, the greatest C content of litter was found in the rainy season. The Mg content of litter was greater at a 2-m distance from the tree double-row. Regarding litter decomposition, the remaining biomass from each species was not influenced by the cropping systems, but it decreased exponentially during the incubation period. The content of remaining N increased while the C/N ratio and C content reduced during the incubation period. Regarding the chemical composition of the remaining litter, greater remaining N was verified in palisade grass under the monocropping system (10.13 g kg⁻¹ OM). In the silvopastoral system, contents of C (438.23) and lignin (225.68), and lignin/N ratio (39.77) of palisade grass were greater between tree double-rows while the C/N ratio was greater at 2 m from this double-row. Concerning the chemical composition of remaining litter from sabiá, the N content was greater between double-rows (22.06 g kg⁻¹ OM) and at a 2-m distance (22.52 g kg⁻¹ OM) compared to the legume's monocropping. Conversely, the C/N ratio (21.79) was greater in the monocropping system. Fiber fractions like NDF, ADF, and lignin increased throughout incubation time. Sabiá monocropping displayed greater contents and stocks of N compared to palisade grass pasture, but without differences regarding the silvopastoral system. At the implantation of the silvopastoral system, there was a greater content of microbial carbon in the soil (419.09 mg kg⁻¹). Soil density was greater in the the first year, while a reduction was verified in the second-year, mainly at the 40-cm soil layer. In the second year of implantation, there were increases in C contents (7.80, 7.57, and 7.22 g kg⁻¹), and C stocks (9.18; 8.38; 14.18 Mg ha⁻¹) compared to the first year, in all soil layers. Intercropping between *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. and *Urochloa decumbens* Stapf., in silvopastoral systems, can produce more stable organic matter and constant return of soil nutrients because these species provide different compositions of litter. Furthermore, using sabiá in this system showed the potential to increase both contents and stocks of soil nitrogen, and after two years, to increase considerably carbon stocks.

Keywords: Intercropping, Legume, Grass, Decomposition, Soil, Nutrients.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO II

Figura 1. Dados mensais de precipitação pluvial e temperatura do ar média durante o período em que antecedeu a implantação do experimento (2018) e durante o experimento (março de 2019 a março de 2021)	37
Figura 2. Croqui e detalhamento da área experimental	38
Figura 3. Coletores entre a fileira dupla das árvores de <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth. (0 m) e a dois metros em relação a fileira dupla (2m)	39
Figura 4. Coletores distribuídos no monocultivo de <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth	40
Figura 5. Folhas (A), ramos (B), estruturas reprodutivas (ER) e miscelânea (D)	41
Figura 6. Biomassa remanescente de <i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth. (A) e de <i>Urochloa decumbens</i> Stapf. (B) ao longo do tempo de incubação	49

CAPÍTULO III

Figura 1. Dados mensais de precipitação pluvial e temperatura do ar média durante o período em que antecedeu a implantação do experimento (2018) e durante o experimento (março de 2019 a março de 2021)	68
---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Deposição total de folhas, ramos, estruturas reprodutivas e miscelâneas de serapilheira de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em sistemas de monocultivo e silvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf., em duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores e em dois períodos do ano.....43
- Tabela 2.** Composição química da serapilheira depositada da leguminosa *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. sob monocultivo e em sistema silvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf., em duas distâncias em relação à fileira das árvores e em dois períodos do ano.....45
- Tabela 3.** Contribuição (deposição) dos nutrientes, em kg ha⁻¹, oriundos da serapilheira depositada de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. para o solo sob monocultivo e em sistema silvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf., em duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores e em dois períodos do ano.....47
- Tabela 4.** Serapilheira remanescente (%) de *Urochloa decumbens* Stapf. e de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., após 512 dias de incubação no solo, em monocultivo e em sistema silvipastoril, a duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores.....48
- Tabela 5.** Composição química, relação carbono/nitrogênio (relação C/N) e relação lignina /nitrogênio (lignina/N) na serapilheira remanescente de *Urochloa decumbens* Stapf. em monocultivo e sistema silvipastoril, em duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores.....51
- Tabela 6.** Composição química, relação carbono/nitrogênio (relação C/N) e relação lignina /nitrogênio (relação lignina/N) na serapilheira remanescente de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em monocultivo e sistema silvipastoril, em duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores.....51
- Tabela 7.** Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), carbono (C), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), lignina, relação carbono/nitrogênio (C/N), relação lignina/nitrogênio (lignina/N) da serapilheira remanescente de *Urochloa decumbens* Stapf. em diferentes períodos de incubação.....52
- Tabela 8.** Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), carbono (C), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), lignina, relação carbono/nitrogênio (C/N), relação lignina/nitrogênio (lignina/N) da serapilheira remanescente de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em diferentes períodos de incubação.....53

CAPÍTULO III

- Tabela 1.** Características químicas do solo no início do experimento70
- Tabela 2.** Densidade (Ds), concentração e estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) do solo em áreas de pastagens sob diferentes sistemas de cultivo.....72
- Tabela 3.** Respiração basal do solo (RBS), relação carbono/nitrogênio (C/N) carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente microbiano (qMIC), O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), fração leve (FL) e fração pesada (FP) do solo, em áreas de pastagens.....73
- Tabela 4.** Densidade do solo (Ds), concentração e estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) em no sistema silvipastoril em diferentes anos de coleta do solo.....75
- Tabela 5.** Respiração basal do solo (RBS), Relação carbono e nitrogênio (C/N), carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente microbiano ($q\text{MIC}$), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), fração leve (FL) e Fração pesada (FP) do solo, em áreas de pastagem em diferentes anos de coleta do solo.....76
- Tabela 6.** Densidade (Ds), concentração e estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) no sistema silvipastoril, em diferentes distâncias em relação a fila dupla das árvores.....77
- Tabela 7.** Respiração basal do solo (RBS), Relação carbono e nitrogênio (C/N), carbono da biomassa microbiana (Cmic), quociente microbiano (qMIC), quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), fração leve (FL) e fração pesada (FP) do solo, no sistema silvipastoril em diferentes distâncias em relação à fila dupla das árvores.....78

SUMÁRIO	12
INTRODUÇÃO GERAL	12
CAPÍTULO I	14
1. REVISÃO DE LITERATURA	15
1.1 Sistemas silvipastoris	15
1.2 Matéria orgânica do solo e serapilheira	18
1.3 Estoque de carbono e nitrogênio no solo	22
2. REFERÊNCIAS	25
CAPÍTULO II	32
RESUMO	33
ABSTRACT	34
1. INTRODUÇÃO	35
2. MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1 Local e descrição do experimento	36
2.2 Amostragem	39
2.2.1 Deposição de serapilheira	39
2.2.2 Decomposição de serapilheira	41
2.3 Análises estatísticas	42
3. RESULTADOS	43
3.1 Deposição de serapilheira	43
3.2 Decomposição de serapilheira	48
4. DISCUSSÃO	54
4.1 Deposição de serapilheira	54
4.2 Decomposição de serapilheira	59
5. CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	59
CAPÍTULO III	63
RESUMO	64
ABSTRACT	65
1. INTRODUÇÃO	66
2. MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1 Local e Descrição do experimento	68
2.2 Amostragem e análises dos solos	70
2.3 Análise estatística	71
3. RESULTADOS	72
4. DISCUSSÃO	78
5. CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS	82
APÊNDICES	87

INTRODUÇÃO GERAL

O uso eficiente da terra é tido como ponto-chave para satisfazer as necessidades humanas e evitar a perda de recursos naturais. No entanto, a função e a sustentabilidade dos ciclos de nutrientes da terra têm sido afetadas pela superexploração dos recursos naturais e planejamento inadequado de seu uso, contribuindo para a degradação de terras produtivas, sobretudo em regiões áridas e semiáridas (RAMAKRISHNAN *et al.*, 2021).

A produção pecuária normalmente está associada ao uso inadequado da terra, sendo tida como causadora de impactos negativos ao meio ambiente, contribuindo para as mudanças climáticas. Entre os fatores que tornam esse sistema insustentável ao longo do tempo estão o desmatamento, a biodiversidade reduzida, a degradação do solo e das pastagens, e a dependência de fertilizantes químicos para manter a produção de biomassa (MAURICIO *et al.*, 2019).

No entanto, mediante o interesse de recuperar a capacidade produtiva das pastagens, assim como impactos negativos envolvendo a produção pecuária, os sistemas silvipastoris surgem como uma opção viável, uma vez que as múltiplas combinações possíveis de componentes dentro desses sistemas criam diferentes opções que têm como objetivo comum a capacidade de gerar resultados positivos relacionados à produtividade da terra e benefícios ambientais e climáticos (BATISTA; OLIVEIRA, 2021).

As árvores implantadas nesses sistemas contribuem para as constantes entradas de serapilheira e cobertura do solo, associadas à existência de extensos sistemas radiculares que podem resultar no aumento dos teores de N orgânico e melhoria da qualidade do solo ao longo do tempo (ABREU *et al.*, 2020; CHEN *et al.*, 2017). Além disso, pode contribuir para a fixação de carbono (retirando carbono da atmosfera), promovendo o bem-estar dos animais e atendendo as necessidades de segurança alimentar associadas à conservação do meio ambiente (LOPEZ-SANTIAGO *et al.*, 2019; MAURICIO *et al.*, 2019).

Devido à capacidade de fixar nitrogênio simbioticamente com bactérias do solo, as leguminosas arbóreas têm sido bastante utilizadas nesses sistemas, fornecendo, portanto, N e contribuindo para maior decomposição de serapilheira, raízes e nódulos, favorecendo a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (CAMELO *et al.*, 2021; SCHUMACHER *et al.* 2018). É importante destacar que este N fixado pode ser reciclado no sistema por meio da deposição e decomposição da serapilheira, bem como pela excreta animal, e ficar disponível para as gramíneas em consórcio após a mineralização da

serapilheira. Além disso, a transferência de nitrogênio de leguminosas arbóreas para as gramíneas pode ocorrer por meio de exsudados diretos liberados pelas leguminosas, decomposição das raízes, nódulos ou pelas excretas de N presentes nas fezes e urinas dos animais (BARCELLOS *et al.*, 2008; COSTA *et al.*, 2016).

As características biológicas são representadas por uma grande diversidade de espécies e são responsáveis por inúmeras e complexas funções no solo. Devido à sua ampla funcionalidade e sensibilidade é possível detectar alterações decorrentes do manejo do solo, principalmente na qualidade de sua matéria orgânica. Entre os atributos para mensurar a dinâmica da matéria orgânica destacam-se a biomassa microbiana do solo, respiração basal do solo, o quociente metabólico e os processos que envolvem o ciclo de carbono e nitrogênio, entre outros (SILVA *et al.*, 2021a).

Estudos recentes mostraram que a presença de leguminosas em sistema silvipastoril favoreceu a microbiota do solo, com a redução na perda de carbono na forma dióxido de carbono (C-CO₂), sem indicação de estresse metabólico e maior biomassa microbiana e quociente microbiano na estação chuvosa, aumentos nos estoques de C e N (CAMELO *et al.*, 2021; LIRA JUNIOR *et al.*, 2020), assim como contribuíram para aumentar o ganho de peso dos animais (SILVA *et al.*, 2021).

A hipótese desta tese é que o sistema o silvipastoril, composto por capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) e a leguminosa arbórea sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) em comparação aos seus respectivos monocultivos, seja mais eficiente na dinâmica da serapilheira e da matéria orgânica, atividade microbiana e retorno de nutrientes para o solo. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica da serapilheira e da matéria orgânica do solo em sistema silvipastoril composto por capim-braquiária e sabiá e em seus respectivos monocultivos, durante a fase de estabelecimento das árvores.

CAPÍTULO I
REVISÃO DE LITERATURA

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Sistemas silvipastoris

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são normalmente utilizados como estratégia para desenvolvimento rural sustentável, tendo como combinação a utilização de espécies arbóreas frutíferas ou lenhosas, com culturas agrícolas e/ou criação de animais, em uma mesma área (GARCIA *et al.*, 2021).

Entre as modalidades de SAFs está o sistema silvipastoril (SSP), caracterizado como a exploração, em uma mesma área, de árvores, pasto e animais, manejados de forma integrada e que promovem uma série de interações ecológicas, além de criar benefícios econômicos com a diversificação da renda (FELICIANO *et al.*, 2018; LÓPEZ-SANTIAGO *et al.*, 2018).

Esses sistemas têm o potencial de diminuir os impactos ambientais impostos aos sistemas convencionais de criação de gado, favorecendo a restauração ecológica de pastagens degradadas, diversificando a produção agrícola, gerando lucros e produtos adicionais, reduzindo a dependência de insumos externos e melhorando o uso sustentável da terra (PEZARICO *et al.*, 2013). Piroli e Piroli (2018) mencionam que o consórcio entre diferentes espécies reduz os riscos de investimento em uma única cultura, apesar de ser uma atividade complexa e que demanda tempo.

Um ponto primordial nesses sistemas é a interação entre os componentes, pois respondem pelo êxito do sistema e fornecem os pontos de intervenção para o manejo das árvores, animais e pasto (BERNADI *et al.*, 2014). Quanto componente arbóreo é essencial selecionar espécies apropriadas para aumentar a sustentabilidade do sistema (SILVA *et al.*, 2021). De acordo com Osewold *et al.* (2022), as árvores utilizadas nesses sistemas fornecem múltiplas funções ecológicas e econômicas. Paludo e Costabeber (2012) acrescentam ainda que as árvores, pela influência que exercem no processo de ciclagem de nutrientes e no aproveitamento da energia solar, são consideradas os elementos estruturais básicos e principais para a sustentabilidade do sistema.

Já os animais inseridos nesses sistemas desempenham importante papel na manutenção de menor competitividade do sub-bosque com o componente arbóreo, em função do consumo da forragem. Também aceleram a ciclagem de nutrientes, por meio do retorno de fezes e urina ao solo em compostos mais facilmente mineralizáveis, e antecipam o retorno de capital investido, por meio da produção animal em prazo inferior ao do produto florestal (GARCIA; TONUCCI; GOBBI, 2010).

Lima *et al.* (2013) mencionam que, para o sucesso desse sistema, devem-se utilizar espécies adaptadas às condições ecológicas do local, compatíveis com outros componentes do sistema, leguminosas quando se deseja aumentar a fertilidade do solo, árvores com potencial econômico (sem efeito tóxico para os animais e para o pasto), árvores de rápido crescimento, tolerância ao corte para forrageiras, espécies silvícolas conhecidas.

Ressalta-se que a produtividade e qualidade das forrageiras cultivadas nos sistemas silvipastoris determinam a capacidade de suporte animal, assim como contribuem para a viabilidade econômica do sistema (SHIBU; DOLLIGER, 2019). Sanchez-Romero *et al.* (2022) comentam que as regiões tropicais possuem alta diversidade de espécies arbóreas locais com potencial forrageiro, as quais podem ser recurso estratégico na concepção de sistemas pecuários mais sustentáveis, como é o caso dos sistemas silvipastoris.

Assim, aos SSPs podem ser atribuídas algumas vantagens, tais como: restauração da fertilidade e biodiversidade do solo, melhoria do conforto animal pela distribuição de sombra na pastagem (MAURÍCIO *et al.*, 2019), incorporação de nitrogênio no solo por meio da fixação biológica do N₂ atmosférico quando se utilizam leguminosas, produção de madeira, proteção do solo pela serapilheira (APOLINÁRIO *et al.*, 2016), sequestro de carbono (NAIR, 2011), melhor exploração do solo pelas raízes das diferentes espécies e aumento da deposição de serapilheira (AZAR *et al.*, 2013).

Além disso, quando comparado a um sistema sem o componente arbóreo, o sistema silvipastoril proporciona redução da radiação solar direta e da velocidade do vento, resultando na diminuição da temperatura média em locais próximos às árvores e em maior umidade do solo (PEZZOPANE *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2016). Como resultado, as condições do solo e a interface solo/serapilheira contribuem para aumentar a atividade dos microrganismos, tendo como consequência o aumento na taxa de mineralização dos nutrientes (BERNADINO; GARCIA, 2009).

O eucalipto (*Eucalyptus* spp.) é a principal espécie florestal mais escolhida para sistemas integrados no Brasil (LOPES *et al.*, 2021), seu potencial de utilização está relacionado ao seu rápido crescimento e usos múltiplos (NADIR; ETICH; KEBENEY, 2018).

Leguminosas arbóreas, como a sabiá, podem ser utilizadas em sistemas silvipastoris. Essas possuem o potencial de enriquecer o solo por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) e, ainda, melhorar a dieta dos animais, fornecendo forragem com elevado teor de proteína bruta (APOLINÁRIO *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2018). Elas também podem impactar a dinâmica dos nutrientes na pastagem devido à melhoria da qualidade da serapilheira,

importante via de retorno de nitrogênio e outros nutrientes para o solo (SILVA; LIRA JUNIOR; DUBEUX JÚNIOR, 2013).

No entanto, é importante ressaltar que, mesmo com a melhoria da serapilheira da sabiá, sobretudo pela FBN, às vezes, a sua decomposição pode ser limitada devido às altas concentrações de compostos recalcitrantes, como a lignina (HERRERA *et al.*, 2020) e taninos condensados presentes nas folhas que chegam a variar de 57,1 a 124 g/kg⁻¹ MS (AZEVEDO *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2018). Por outro lado, esse material mais recalcitrante tem uma vida útil mais longa no solo, indicando uma contribuição a longo prazo (TADINI *et al.*, 2021).

Apolinário *et al.* (2015) identificaram alta concentração de N fixado biologicamente em folhas de sabiá. As maiores concentrações foram identificadas na época chuvosa, com 97 kg de N ha⁻¹ em agosto 2012 e 121 kg de N ha⁻¹ em agosto de 2013, em comparação à estação de seca, com 30 kg de N ha⁻¹ em fevereiro de 2012 e 43 kg de N ha⁻¹ em fevereiro de 2013.

Xavier *et al.* (2014) estudaram sistemas silvipastoris com leguminosas (*Acacia mangium* e *Mimosa arteminisiana*) e eucalipto, em comparação ao monocultivo de capim-braquiária e identificaram maior teor de N na serapilheira do sistema silvipastoril (média anual de 10,5 mg g⁻¹) em comparação ao monocultivo (média anual de 6,6 mg g⁻¹).

No estudo realizado por Lima *et al.* (2018) foi verificado que a incorporação de leguminosas arbóreas em fileiras duplas na pastagem de braquiária pode melhorar a composição química do solo ao longo do tempo, aumentar a taxa de infiltração de água e a concentração da fração leve da matéria orgânica do solo próximo às árvores.

As leguminosas arbóreas, por apresentarem alta concentração de minerais notadamente N, quando consumidas pelos animais, participam ativamente da ciclagem de nutrientes, retornando grande parte deles via excreta (fezes e urina). No estudo de Xavier *et al.* (2014) foi identificado maior concentração do N depositado via excreta animal para sistema silvipastoril (49 kg ha⁻¹), em comparação ao monocultivo (38 kg ha⁻¹).

Entre as gramíneas que são utilizadas em sistemas silvipastoris predominam as do gênero *Brachiaria* que ocupam cerca de 85% das áreas de pastagem cultivadas no Brasil (MOREIRA *et al.*, 2011). Nesse cenário, as braquiárias se destacam por apresentarem metabolismo fotossintético C₄, com potencial de rápido crescimento associado à sua maior eficiência de assimilação de CO₂ e tolerante ao sombreamento moderado. As gramíneas adaptadas à sombra podem ajustar sua morfofisiologia, modificando a alocação de biomassa e

fotoassimilados para maximizar a captura de luz (LIMA *et al.*, 2021; PACIULLO *et al.*, 2017).

1.2. Matéria orgânica do solo e serapilheira

A matéria orgânica do solo (MOS) refere-se a todo material orgânico depositado no solo na forma de resíduos vegetais, biomassa microbiana, mesofauna e macrofauna, fração leve, substâncias orgânicas solúveis e matéria orgânica estabilizada (substâncias húmicas), associada ou não à fração mineral (BARRETO-GARCIA; GOMA-RODRIGUES; GOMA-RODRIGUES, 2014; COTRUFO *et al.*, 2015), sendo esta o maior reservatório de carbono terrestre (WEIGLEIN *et al.*, 2022). Navarro-Pedreno, Conde e Zorpas (2021) mencionam que uma preocupação com a matéria orgânica é devida aos solos desempenharem papel importante no ciclo global do carbono. Além disso, a MOS é considerada um componente muito complexo do solo, pelo fato de ser uma mistura heterogênea de substâncias orgânicas com diferentes composições químicas e taxas de renovação (BLANCO-MAURE *et al.*, 2016).

A MOS desempenha um papel importante na manutenção da produtividade agrícola, uma vez que seu acúmulo no solo promove melhorias nas propriedades físicas, biológicas e químicas do solo, permitindo aumento de produtividade e redução de custos com irrigação, fertilizantes, condicionadores de solo e outros insumos agrícolas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2017). Assim, em todas as formas de sistemas envolvendo o uso da terra, tradicionais ou modernos, a MOS desempenha um papel essencial na sustentação da produção e na prevenção da degradação da terra (PRAPHA; MUNIYANDI; PARAMASIVAM, 2020).

As árvores utilizadas nos sistemas silvipastoris podem aumentar e melhorar a qualidade do material orgânico depositado no solo e contribuir com benefícios às pastagens. A profundidade das raízes possibilita o deslocamento de nutrientes de camadas mais profundas para a superfície do solo, a reserva temporária de nutrientes, imobilizados nas raízes e parte aérea, evitando sua perda por erosão ou mesmo lixiviação, a redistribuição de carbono e nutrientes em profundidade, favorecendo a atividade microbiana e da fauna do solo, com consequências benéficas em termos de aeração e permeabilidade (SENE *et al.*, 2018).

Os teores e características da MOS, que são resultados da taxa de produção, alteração e decomposição dos resíduos, são dependentes de diversos fatores, como temperatura, aeração, pH e disponibilidade de água e nutrientes, muitos deles condicionados pelo uso e manejo dos solos (NASCIMENTO *et al.*, 2010). Por outro lado, a decomposição da MOS está

diretamente relacionada aos estoques de C e N, assim como com a qualidade do solo e riqueza das comunidades de plantas (MARTÍNEZ-ATENCIA *et al.*, 2020).

Sendo assim, o estudo da matéria orgânica e seu fracionamento, bem como sua relação com o manejo da área, é importante, uma vez que, por meio disso, é possível desenvolver estratégias para a utilização sustentável dos solos, com vistas a diminuir os impactos causados pelas ações antrópicas. Com o fracionamento densimétrico é possível separar a MOS em dois compartimentos principais: a fração leve e a pesada (RANGEL *et al.*, 2007).

A fração leve da MOS corresponde a uma fração intermediária entre os resíduos vegetais recém-incorporados ao solo e ao húmus estabilizado. Há uma grande variação na quantidade e labilidade dessa fração entre solos tropicais e temperados, e dependem de alguns fatores, como o pH, umidade, mineralogia do solo e estado de nutrientes do solo. As variações na fração leve no solo são indicativos das consequências sobre a dinâmica da MOS causadas pelas mudanças no manejo. Apesar de representar somente em torno de 10 a 30% do C do solo, é a fração lábil do solo, ou seja, apresenta ciclagem rápida e, por isso, contribui para ciclagem de nutrientes, pois é fonte de energia prontamente disponível para os microrganismos responsáveis por essa ciclagem (LEITE, 2004).

A fração pesada corresponde ao C ligado aos minerais do solo e apresenta grau avançado de decomposição. O teor de C associado a essa fração contribui com a maior parte do C encontrado nos solos (cerca de 90 %) e engloba frações de maior estabilidade química associadas à argila, ao silte e à areia (CHRISTENSEN, 1992; SOARES *et al.*, 2008).

Prado *et al.* (2016) avaliaram alterações nos teores de carbono orgânico e nitrogênio total nas frações leve e pesada da MOS em floresta nativa e sistema agroflorestal, e observaram que em comparação à mata nativa, o sistema agroflorestal aumentou tanto o carbono orgânico quanto o nitrogênio total nas frações leve e pesada da MOS, sendo que a fração leve foi responsável pelo armazenamento de, aproximadamente, 45% e 70% do carbono orgânico e nitrogênio total, respectivamente. Portanto, a fração densimétrica leve mostrou-se útil na identificação precoce do declínio geral da MOS nos sistemas de uso da terra avaliados.

Com relação aos sistemas silvipastoris, uma das suas grandes contribuições para o solo está relacionado à sustentabilidade dos processos biológicos. As diferentes espécies presentes nesses sistemas aumentam a quantidade de serapilheira depositada (AZAR *et al.*, 2013), a qual é constituída por material vegetal (folhas, ramos e miscelânea, que corresponde a estruturas reprodutivas, sendo as flores, sementes e frutos) (INKOTTE *et al.*, 2015). Assim, o

maior aporte de serapilheira na camada superficial do solo e, juntamente com o volume de raízes nesses sistemas e a adoção de outras práticas de conservação, podem contribuir para o aumento da qualidade do solo (FREITAS *et al.*, 2020).

Xavier *et al.* (2011), ao avaliarem o efeito da introdução de leguminosas arbóreas (*Acacia mangium* Willd e *Mimosa artemisiana* Heringer e Paula) e eucalipto (*Eucalyptus grandis* W.Hill. ex Maiden) em pastagens de capim-braquiaria na dinâmica da serapilheira, verificaram maiores produções de MS (matéria seca) de serapilheira para o sistema silvipastoril (21.811 kg ha⁻¹ ano de MS e 228 kg ano⁻¹ de N) em comparação ao monocultivo, que produziu 16.262 kg ha⁻¹ por ano de MS de serapilheira e de 107 kg ano⁻¹ de N.

Apolinário *et al.* (2016) avaliaram a contribuição dos nutrientes de serapilheira de leguminosas arbóreas para o solo sob sistema silvipastoril em dois ciclos de 336 dias. Os autores verificaram que as contribuições foram de 105 e 109 kg N ha⁻¹ e 87 e 98 kg N ha⁻¹ para gliricídia (*Gliricidia sepium* Jacq.) e sabiá, respectivamente.

De acordo com Godinho *et al.* (2014), o compartimento formado pela serapilheira e pelo solo é o sítio da decomposição da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. Assim, à medida que as folhas, galhos e raízes vão sendo incorporados à serapilheira e sofrem o processo de decomposição, ocorre liberação desses nutrientes ao solo e, conseqüentemente, disponibilização para as plantas. Neste sentido, a biomassa microbiana é um dos componentes que controlam funções primordiais no solo, como a decomposição e o acúmulo de matéria orgânica ou transformações envolvendo os nutrientes minerais (SCHMIDT *et al.*, 2013). É considerada a parte viva e mais ativa do solo, sendo constituída principalmente por fungos e bactérias (VASQUES *et al.*, 2020).

De acordo com Gomez-Sagasti *et al.* (2012), as propriedades microbianas do solo estão sendo cada vez mais usadas como indicadores biológicos da qualidade do solo, em virtude da sua resposta rápida, alta sensibilidade e, sobretudo, por sua capacidade de fornecer informações que integram muitos fatores ambientais.

É importante ressaltar que mudanças na biomassa microbiana do solo podem levar a alterações em funções importantes, como decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (SCHMIDT *et al.*, 2013). As mudanças no solo podem alterar o número ou a atividade de microrganismos do solo, o que pode afetar os processos bioquímicos do solo e, finalmente, influenciar a sua fertilidade e o crescimento das plantas (ARAÚJO *et al.*, 2010).

Nos sistemas silvipastoris, de maneira geral, não há a aração da terra para o plantio, pois o plantio das árvores normalmente ocorre em pastos já estabelecidos. Assim, reduz-se a

taxa de degradação da MOS, melhorando a estrutura do solo e a estabilidade (CUBILOS *et al.*, 2016), contribuindo para o aumento nas concentrações de nutrientes no solo. Para as Gichangi *et al.* (2016), qualquer prática que aumente a produção de carbono da biomassa via fotossíntese e retarde o retorno de C à atmosfera aumenta as reservas de C nos solos.

Almeida *et al.* (2021), avaliando sistemas silvipastoris compostos por capim-marandu (*Urochloa brizantha* syn. *Brachiaria brizantha*) e *Eucalyptus cloeziana* ou *Eucalyptus urograndis*, foi verificado que esses sistemas contribuíram para aumentar o C_{mic} (carbono microbiano) do solo com baixas taxas de emissões de CO₂ devido à diversidade de substratos para o crescimento da população microbiana e atividade do solo, refletindo um aumento na eficiência da ciclagem de nutrientes e manutenção dos estoques de N. No entanto, de modo geral, a estabilidade da biomassa microbiana do solo foi observada na estação chuvosa, evidenciada pelos baixos valores de qCO_2 (quociente metabólico) em relação ao período seco. Assim, menos C foi perdido pela respiração basal do solo e houve um maior acúmulo de C no tecido microbiano pelos processos de imobilização.

No trabalho desenvolvido por Rodrigues *et al.* (2015) foram avaliadas características microbiológicas do solo em sistemas silvipastoris com diferentes densidades de palmeira de babaçu (*Attalea speciosa*) associado a *Brachiaria brizantha* e foi verificado que o sistema silvipastoril favoreceu a biomassa e a atividade microbiana do solo com valores de carbono e nitrogênio microbiano mais elevados em solo com alta densidade de palmeira de babaçu, o que pode favorecer a mineralização do solo e, conseqüentemente, aumentar a fertilidade.

Ao avaliarem a biomassa e a atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura do pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e silvipastoril, formado por pasto e coqueiro (*Cocos nucifera* L.), Azar *et al.* (2013) verificaram maiores valores de carbono orgânico (10,43 g kg⁻¹) e carbono microbiano (42,36 mg kg⁻¹) para o solo sob sistema silvipastoril em comparação ao monocultivo, que apresentou 9,01 g kg⁻¹ de carbono orgânico e 27,41 mg kg⁻¹ para carbono microbiano. Esses autores concluíram que as características do sistema silvipastoril contribuíram para aumentar o carbono orgânico e microbiano no solo.

É importante ressaltar que os processos microbianos são conduzidos pela disponibilidade de carbono orgânico disponível no solo, o que destaca a relevância de manter e melhorar as concentrações de matéria orgânica do solo, para que grandes populações microbianas permaneçam ativas no solo (JONES *et al.*, 2009; GICHANGI *et al.*, 2016). Os sistemas silvipastoris têm demonstrado impactos positivos no aumento carbono, assim como

de outros nutrientes como o nitrogênio no solo e o fósforo (HOOSBEEK; REMME; RUSCH, 2018; LIRA JR *et al.*, 2020).

1.3 Estoques de carbono e nitrogênio no solo

A quantificação e a avaliação contínua dos estoques de C e N no solo são fundamentais para entender os efeitos da pecuária ou mudanças no uso da terra/cobertura do solo no funcionamento do ecossistema (TESFAYE *et al.*, 2016). O aumento dos estoques de C no solo resulta no favorecimento dos processos de humificação formando compostos orgânicos estabilizados.

Assim, a contribuição dos solos, para reduzir a presença de carbono na atmosfera e mitigar o aquecimento global, baseia-se no sequestro e armazenamento em formas estabilizadas (NAVARRO-PEDRENO; CONDE; ZORPAS, 2021). Devido ao carbono orgânico do solo ter taxas de renovação mais lentas nos ecossistemas terrestres, o sequestro nos solos pode ter o potencial de mitigar o CO₂ na atmosfera (PAUSTIAN *et al.*, 1997; DEB *et al.*, 2015). Freitas *et al.* (2015) enfatizam que pastagens bem manejadas levam a melhorias na qualidade do solo e nos estoques de C e N.

O C entra no sistema por meio do sequestro de C atmosférico que ocorre via fotossíntese realizada pelas plantas. Com a decomposição da MOS, grande parte do C é liberado para atmosfera na forma de CO₂ e o restante passa a fazer parte da MOS, sendo este um processo natural e essencial para o metabolismo das plantas e o equilíbrio global (BRAGHIROLI *et al.*, 2012).

Nos últimos anos têm ocorrido aumentos significativos na emissão de CO₂ para atmosfera, causando impactos nas mudanças climáticas. Atehortua *et al.* (2019) abordam que o setor pecuário geral é considerado responsável por 18% das emissões de gases de efeito estufa medidos em equivalentes de CO₂. Além disso, a degradação de mais de 65% das pastagens está contribuindo para o aumento do CO₂ atmosférico (LÓPEZ-SANTIAGO *et al.*, 2019).

Segundo Singh *et al.* (2014), um processo extremamente importante para o acúmulo de C no solo é a decomposição da serapilheira e a liberação de nutrientes inorgânicos por meio da atividade microbiana, em que a relação C/N geralmente controla a biodegradação (mineralização da serapilheira), a biomassa microbiana e a evolução de CO₂. Serapilheira com menor relação C/N tende a se decompor mais rapidamente, aumentando a mineralização de N e a biomassa microbiana.

Por outro lado, com relação ao N, a mudança no estoque no solo é um balanço de entrada de N, por exemplo, mediante deposição atmosférica de N, fixação biológica de N e de saída por meio da absorção de N pela planta, emissão de N para as águas subterrâneas ou para a atmosfera (LI; NGUYEN; FINLAY, 2012).

O C e o N possuem associação em suas dinâmicas, uma vez que esses dois elementos são componentes da MOS, diferindo, no entanto, quanto aos mecanismos de adição e perda no sistema. Esses mecanismos são influenciados por vários fatores como clima, solo (pH, textura), espécies utilizadas, resíduos vegetais ou animais depositados no solo, manejo adotado, tipos de sistemas, dentre outros (SCHULTE-UEBBING; VRIES, 2017).

Quanto ao manejo, a intensidade de pastejo é uma característica de suma importância quando relacionado aos estoques de C. Ao analisarem as condições de pastejo pesado e leve no estoque de C no solo, Enriquez *et al.* (2015) verificaram que o armazenamento do C total foi significativamente maior em área de pastagem com pastejo leve em comparação à pastagem com pastejo pesado. Este último reduziu em média 35% o estoque do C no ecossistema, resultado que pode ter ocorrido devido à redução identificada da biomassa vegetal e da serapilheira acima do solo e das raízes abaixo do solo.

O excesso de pastejo é um dos principais contribuintes para a degradação das pastagens em todo o mundo, por meio da redução da cobertura vegetal, degradação superficial do solo, causando compactação do solo como resultado do pisoteio, redução das taxas de infiltração do solo e aumento da suscetibilidade dos solos à erosão que contribuem não apenas para a ameaça da biodiversidade e a estabilidade da pastagem, mas também altera a estrutura e o funcionamento do ecossistema, levando ao aumento das perdas de C e N (EZE; PALMER; CHAPMAN, 2018; LU *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2016).

Outra característica que pode influenciar os estoques de carbono e nitrogênio no solo são os tipos de sistemas de uso do solo. No trabalho desenvolvido por Campos *et al.* (2016) foi avaliado os estoques de C em cinco diferentes sistemas, os quais foram floresta nativa, agrofloresta, pastagem, cana-de-açúcar e mandioca e foi constatado que os estoques de C no solo variaram de 4,72 a 22,83 Mg ha⁻¹, e que houve diferenças estatísticas significativas entre os sistemas de manejo estudados, em que os maiores estoques foram observados nas áreas de cana-de-açúcar e pastagem (22,83 e 21,72 Mg ha⁻¹, respectivamente), seguidos pelas áreas de mandioca (18,14 Mg ha⁻¹), agrofloresta (16,25 Mg ha⁻¹) e floresta nativa (4,72 Mg ha⁻¹). Os autores atribuíram o maior estoque de C para pastagem em relação aos outros três sistemas

devido ao maior acúmulo de matéria orgânica à superfície em função do sistema radicular das gramíneas.

Por outro lado, Creme *et al.* (2016) analisaram a quantidade de N adicionado ao solo por meio da FBN em diferentes sistemas, sendo monoculturas de *Medicago sativa* (alfafa), *Festuca arundinacea* (festuca) e *Dactylis glomerata* (capim-de-pomar) e os consórcios de capim-de-pomar com alfafe e festuca com alfafe por um período de quatro anos (2009 a 2013). Os monocultivos de festuca e capim-de-pomar receberam adubação nitrogenada na forma de nitrato de amônia (NH_4NO_3) e os consórcios nenhuma adubação. Os autores observaram que o N fixado no solo pela alfafe ficou entre 227 e 280 kg ha^{-1} e aumentou ligeiramente nesse período de quatro anos. Nos consórcios, o N fixado pela FBN variou de 335 e 354 kg ha^{-1} , enquanto as monoculturas receberam 165 kg ha^{-1} via adubação. Sendo assim, o solo com o monocultivo de alfafe e ambos os consórcios acumularam maiores quantidades de N no solo do que as monoculturas das gramíneas que receberam N via adubação.

Os sistemas silvipastoris são considerados sistemas sustentáveis para restaurar pastagens degradadas e aumentar os estoques de carbono e nitrogênio em solos tropicais (LIRA JUNIOR *et al.*, 2020). Devido principalmente a interação simultânea dos componentes no sistema (árvores, forragem e gado). Nesses sistemas, além dos excrementos animais, a serapilheira (folhas, galhos, estruturas reprodutivas e tecido radicular) das árvores é a outra via principal de adição e retorno de nutrientes (COSTA *et al.*, 2014; HERRERA *et al.*, 2020).

No trabalho desenvolvido por Lira Junior *et al.* (2020), utilizando o monocultivo de capim-braquiária e dois sistemas silvipastoris compostos com capim-braquiária consorciado com sabiá ou com gliricídia em diferentes distâncias da fila dupla de árvores (0, 4 e 8 m), foi verificado que os estoques de N aumentaram em todas as distâncias, na profundidade de 0 a 10 cm, apresentando valores de 5,7 e 6,4 Mg ha^{-1} , no quarto ano após a implantação do experimento em comparação aos dois anos de implantação, que apresentou 2,0 Mg ha^{-1} para ambos os sistemas consorciados e 2,5 Mg ha^{-1} no monocultivo de capim-braquiária. Almeida *et al.* (2021) também verificaram aumento nos estoques de N e C após quatro anos de implantação de sistemas silvipastoris.

Olaya-Montes *et al.* (2021) avaliaram o estoque de C e o C da biomassa microbiana do solo (C_{mic}) em três sistemas, os quais foram: vegetação nativa, pastagem tradicional e sistema silvipastoril, nas profundidades de 0-10, 20-20 e 20-30 cm em dois locais da região amazônica colombiana, especificamente nos municípios de La Sonatina e El Doncello, em

Caquetá. Verificou-se que os estoques de C, assim como o Cmic, aumentaram nas áreas de pastagem tradicional e silvipastoril em comparação à vegetação nativa em ambos os locais. Os estoques de C na camada de 0 a 10 cm de solo na pastagem tradicional e no sistema silvipastoril aumentaram 32 e 18 %, em comparação à vegetação nativa em La Montañita e 53 e 62% em El Doncello. Já na comparação do sistema silvipastoril com a pastagem tradicional houve maiores estoques de C em ambos os locais, mas somente na camada de 20 a 30 cm. Por outro lado, para o Cmic houve pequenas mudanças específicas do local e da profundidade, tendo um padrão pouco claro entre os usos da terra. No geral, o Cmic representou, em média, 5% do estoque de C.

Na Índia foi avaliada a utilização de *Quercus leukotrichophora* sob sistema silvipastoril e agrossilvicultura em duas altitudes (1400 a 1800 m, baixa) e (1800 a 2200m, alta) no sequestro de carbono no solo. Foi constatado que o sistema silvipastoril sequestrou nas altitudes baixa e alta, respectivamente, 51,14 e 42,34 Mg ha⁻¹ e o sistema de agrossilvicultura sequestrou 36,94 e 38,83 Mg ha⁻¹ (KUMAR *et al.*, 2021).

Os aumentos de C e N do solo em sistemas silvipastoris também podem estar relacionados a outras melhorias que o sistema é capaz de gerar, sobretudo a longo prazo. Silva-Olaya *et al.* (2022) verificaram que a utilização de sistemas silvipastoris durante 15 anos e o manejo da terra nesses sistemas aumentam a fertilidade química do solo, reduzindo a acidez e aumentando os teores de macro e micronutrientes. Além disso, favoreceram a atividade biológica, mitigando também os processos de degradação física do solo causados pela atividade pecuária, na região da Amazônia Colombiana.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.H.G. *et al.* Variation in soil carbon, nitrogen and microbial attributes within a silvopastoral system in Brazilian cerrado. **Agroforestry Systems**, v.96, n.6, pp.1-11, 2020.
- ALMEIDA, L.L.S. *et al.* Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil e Tillage Research**.v. 205, pp.1-10, 2021.
- APOLINÁRIO, V.X.O. *et al.* Arboreal legume litter nutrient contribution to a tropical silvopasture. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, pp. 2478-2484, 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, pp.1915-1921, 2015.

- ARAÚJO, A.S.F. *et al.* The effect of converting tropical native savanna to *Eucalyptus grandis* forest on soil microbial biomass. **Land Degradation & Development**, v.21, n.6, pp.540-545, 2010.
- ATEHORTUA, M.P. *et al.* Reservas de carbono del pasto *Cenchrus clandestinus* (Poaceae) en sistemas tradicionales y silvopastoriles, en diferentes relieves. **Revista de Biología Tropical**, v.67, n.4, 2019.
- AZAR, G.S. *et al.* Biomassa e atividade microbiana do solo sob pastagem em sistemas de monocultura e silvipastoril. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, pp.2727-2736, 2013.
- AZEVEDO, T.K.B. *et al.* Tannic substances present in parts of (*Mimosa caesalpinifolia*) in commercial plantation of 5 years. **Agroecossistemas**, v. 9, n. 2, pp. 263-274, 2017.
- BARCELLOS, A.O. *et al.* Sustainability of animal production based on mixed pastures and the use of legume as protein bank in the Brazilian tropics. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 37, pp. 51-67, 2008.
- BARRETO-GARCIA, P.A.B.; GOMA-RODRIGUES, A.C.; GOMA-RODRIGUES, E. Carbono das frações da matéria orgânica em solos sob plantações de eucalipto de diferentes idades Fração de carbono na matéria orgânica em solos sob plantio de eucalipto em idade. **Scientia Forestalis**, v.42, n.104, 2014.
- BATISTA, E.S.; OLIVEIRA, M.I.F. Grazing in silvopastoral systems: multiple solutions for diversified benefits. **Agroforestry Systems**, v.95, pp.1-6, 2021.
- BERNARDINO, F.S.; GARCIA, R. Sistemas Silvopastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.60, pp.77-87, 2009.
- BERNARDI, C.M.M.; MACEDO, H.R.; PINHEIRO, R.S.B.; FREITAS, M.L.M. Eucalyptus planted forests silvipastoral systems and the impact of animal component input. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9, n.5, pp.125-132, 2014.
- BRAGHIROLI, F.L. *et al.* Fungos Micorrízicos Arbusculares na Recuperação de Florestas Ciliares e Fixação de Carbono no Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, pp.733-743, 2012.
- BRANCO-MOURE, N. *et al.* Soil organic matter fractions as affected by tillage and soil texture under semiarid Mediterranean conditions. **Soil and Tillage Research**, v.155, pp.381-389, 2016.
- CAMELO, D. *et al.* Soil microbial activity and biomass in semiarid agroforestry systems integrating forage cactus and tree legumes. **Agronomy**.v.11, n.8, p.1558, 2021.
- CAMPOS, M.C.C. *et al.* Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, 11, n.2. 2016.
- CHEN, C. *et al.* Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon: Implications for land use. **Geoderma**, v.299, pp.13-24, 2017.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, v.20, pp.1-90, 1992.

- CONCEIÇÃO, M.C.G. *et al.* Changes in Soil Carbon Stocks under Integrated Crop-Livestock-Forest System in the Brazilian Amazon Region. **Agricultural Sciences**, 8 n.9, 2017.
- COTRUFO, M.F. *et al.* Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. **Nature Geoscience**, v.8, pp.776-779, 2015.
- COSTA, S.B.M. *et al.* Livestock Performance in Warm-Climate Silvopastures Using Tree Vegetables. **Agronomy Journal**, v.108, n.5, 2016.
- COSTA, M. Leguminous trees to recovery of degraded pastures in northern Rio de Janeiro, Brazil. **Scientia Forestalis**, v.42, n. 101, pp. 101-112, 2014.
- CRÈME, A. *et al.* Effects of grasses and a legume grown in monoculture or mixture on soil organic matter and phosphorus forms. **Plant and Soil**, v.402, pp.117-128, 2016.
- CUBILLOS, A.M. *et al.* Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. **European Journal of Soil Biology**, v.72, pp.42-50, 2016.
- DEB, S. *et al.* Soil organic carbon: Towards better soil health, productivity and climate change mitigation. **Climate Change and Environmental Sustainability**, v.3, n.1, pp.26-34, 2015.
- ENRIQUEZ, A.S. *et al.* Grazing intensity levels influence C reservoirs of wet and mesic meadows along a precipitation gradient in Northern Patagonia. **Wetlands Ecology and Management**, v.23, pp.439-451, 2015.
- EZE, S.; PALMER, S.M.; CHAPMAN, P.J. Soil organic carbon stock in grasslands: Effects of inorganic fertilizers, liming and grazing in different climate settings. **Journal of Environmental Management**, v.223, pp.74-84, 2018.
- FELICIANO, D. *et al.* Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.254, n.15, pp.117-129, 2018.
- FREITAS, I.C. *et al.* Agrosilvopastoral Systems and Well-Managed Pastures Increase Soil Carbon Stocks in the Brazilian Cerrado. **Rangeland Ecology and Management**. v. 73, n.6, pp.776-785, 2020.
- GARCIA, L.T. *et al.* Viabilidade financeira de sistemas agroflorestais biodiversos no centro oeste brasileiro. **Research, Oscites and Development**, v. 10, n. 4, 2021.
- GARCIA, R., TONUCCI, R. G., GOBBI, K. F. Sistemas silvipastoris: uma integração pasto, árvore e animal. In: OLIVEIRA NETO, S, *et al.* **Sistema agrossilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 2010. pp.123-165.
- GICHANGI, E.M. *et al.* Effects of Brachiaria grasses on soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in soils of the semi arid tropics of Kenya. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.19, pp.193-203, 2016.
- GODINHO, T.O. *et al.* Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada 11

em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, pp. 11-20, 2014.

GÓMEZ-SAGASTI, M.T. *et al.* Microbial monitoring of the recovery of soil quality during heavy metal phytoremediation. **Water, Air, and Soil Pollution**, v.223, pp.3249-3262, 2012.

HERRERA, A.M. *et al.* Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbency* Stapf. R. Webster) and arboreal vegetables in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**.v.94, pp.2213-2224, 2020.

HOOSBEEK, M.R.; REMME, R.P.; RUSCH, G.M. Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. **Agroforestry Systems**, v: 92, pp. 263-273, 2018.

INKOTTE, J. *et al.* Litter fall deposition in eucalyptus plantations and native forests in the highland and west regions of Santa Catarina, Southern Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, pp. 261-270, 2015.

JONES, D. L.; NGUYEN, C.; FINLAY, R. D. Carbon flow in the rhizosphere: carbon trading at the soil– root interface. **Plant and Soil**. v. 321, pp. 5-33, 2009.

KUMAR, S. Comparison of Carbon Sequestration Potential of *Quercus leucotrichophora*–Based Agroforestry Systems and Natural Forest in Central Himalaya, India. **Water Air Soil Pollut**, v.232, n.350, 2021.

LEITE, L.F.C. **Matéria Orgânica do Solo**. Teresina-PI, Embrapa Meio Norte, 2004.

LI, D.; NIU, S.; LUO, Y. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: A meta-analysis. **New Phytologist**, v.195, pp.172-181, 2012.

LIMA, H.N.B *et al.* Soil attributes of a silvopastoral system in Pernambuco Forest Zone. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicale**,v. 6, n.1, pp.15-25, 2018.

LIMA, M.A. Seasonal changes in carbon and nitrogen metabolism of *Brachiaria decumbens* in a long-term silvopastoral system. **Grass and Forage Science**, v.76, n.4, 2021.

LIMA, P.R. *et al.* Espécies lenhosas nativas com potencial de uso em sistema silvipastoril em Mato Grosso do Sul. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 2, pp.67-78, 2013.

LIRA JUNIOR, M.A. *et al.* Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. **Catena**, v.189, 2020.

LOPES, L.C.A. Forest development in an integrated crop-livestock-forestry system. **Scientific Electronic Archives**, v.14, n.11, 2021.

LÓPEZ-SANTIAGO, J.G. *et al.* Carbon storage in a silvopastoral system compared to that in a deciduous dry forest in Michoacán, Mexico. **Agroforestry Systems**, v.93,n.1, pp.199-211, 2019.

LU, X. *et al.* Effects of grazing on ecosystem structure and function of alpine grasslands in Qinghai-Tibetan Plateau: A synthesis. **Ecosphere**, v.8, pp.1-16, 2017.

MARTÍNEZ-ATENCIA, J. *et al.* Leaf litter decomposition in diverse silvopastoral systems in a neotropical environment. **Journal of Sustainable Forestry**, v.39, n.1, pp.1-20, 2020.

MAURICIO, R.M. *et al.* Silvopastoral Systems in Latin America for Biodiversity, Environmental, and Socioeconomic Improvements. In: LEMAIRE, G. **Agroecosystem Diversity**. Academic Press, pp.287-297, 2019.

MOREIRA, L.M. *et al.* Produção animal em pastagem de capim-braquiária adubada com nitrogênio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.4, pp.914-921, 2011.

NADIR, S.W.; ETICH, W.K.; KEBENEY, S.J. Performance of crops under Eucalyptus tree-crop mixtures and its potential for adoption in agroforestry systems. **Australian Journal of Crop Science**. v.12, n.08, pp.1231-1240, 2018.

NAIR, P.K.R. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n.3, pp.784-790, 2011.

NASCIMENTO, P.C. *et al.* Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do espírito santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, pp.339-348, 2010.

NAZARRO-PEDRENO, J.; CANDEL, M.B.A.; ZORPAS, A.A. The Increase of Soil Organic Matter Reduces Global Warming, Myth or Reality? **SCI**, v.3, n.18, 2021.

OLAYA-MONTES, A. *et al.* Restoring soil carbon and chemical properties through silvopastoral adoption in the Colombian Amazon region. **Land Degradation & Development**, v.32, n.13, 2021.

OSEWOLD, L. *et al.* Support trees in vanilla agroforests of Madagascar: diversity, composition and origin. **Agroforest Systems**, v. 96, pp.717-730, 2022.

PACIULLO, D. S. C. *et al.* Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Planica maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, v. 72, pp. 590- 600, 2017.

PALUDO, R.; COSTABEBER, J.A. Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, n.2, pp.63-76, 2012.

PEREIRA, T.P. Characterization and biological activity of condensed tannins from tropical forage legumes. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. v.53, n.9, 2018.

PEZARICO, C.R. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista Ciências Agrárias**. 2013, v.56, n.1, pp. 40-47, 2013.

PEZZONE, J.R.M. *et al.* Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil, **Bragantia**, v.74, n. 1, pp.110-119, 2015.

PIROLI, E.L.; PIROLI, L.B. sistemas agroflorestais em assentamentos rurais: aplicação no município de Rosana, SP, Brasil. **Revista em Ciência em extensão**, v.14, n.2, pp. 159-169, 2018.

PRABHA, A.C.; MUNIYANDI, S.; PARAMASIVAM, A. Soil quality indicators for different land uses: A review. **International Journal of Plant and Soil**, v.17, n.9, 2020.

PRADO, M.R. *et al.* Organic carbon and total nitrogen in the densimetric fractions of organic matter under different soil management. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, pp. 263-273, 2016.

PAUSTIAN K. *et al.* Agricultural soil as a C sink to offset CO₂ emissions. **Soil Use Manage**, v.13, pp. 230-244, 1997.

RAMAKRISHNAN, S. *et al.* Silvopastoral system for resilience of key soil health indicators in semi-arid environment. **Archotes of Agronomy and Soil Science**, v.66, n.3, pp.1834-1847, 2020.

RANGEL, O.J.P.; SILVA, C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, pp. 1609-1623, 2007.

RODRIGUES, R.C. Soil microbial biomass in an agroforestry system of Northeast Brazil. **Tropical Grasslands – Forrajes Tropicales**, v. 3, p. 41-48, 2015.

SANCHEZ-ROMERO, R. *et al.* Estimation of the forage potential of trees in silvopastoral systems of a dry tropical forest in Jalisco, Mexico. **Agroforestry Systems**, v. 96, n.2, pp.1-17, 2022.

SANTOS, D.C. *et al.* Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piaã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.233, pp.16-24, 2016.

SCHMIDT, R.O. *et al.* Biomassa e atividade microbiana do solo em sistemas de produção olerícola orgânica e convencional. **Ciência Rural**, v.43, n.2, pp.270-276, 2013.

SCHULTE-UEBBING, L.; VRIES, W. Global-scale impacts of nitrogen deposition on tree carbon sequestration in tropical, temperate, and boreal forests: A meta-analysis. **Global Change Biology**, v.24, pp.1-17, 2017.

SCHUMACHER, M,V. Litter and nutrient input in seasonal forest in the central region of Rio Grande do Sul state. **Ciência Florestal**, v.28, n.2, 2018.

SENE, G.A. *et al.* Sistemas agropecuários integrados e sua interface com a adaptação às mudanças climáticas. In: BALIEIRO, J.C.C. *et al.* **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal**. São Paulo: 2018. 294 p.

SHIBU, J.; DOLLINGER, J. Silvopasture: a sustainable livestock production system. **Agroforestry Systems**, v.93. n.1, pp.1-9, 2019.

SILVA, A.B.; LIRA JUNIOR, M.A.; DUBEUX JÚNIOR., J.C.B. Soil litter stock and fertility after planting leguminous shrubs and forage trees on degraded signal grass pasture. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 2, pp. 502-511, 2013.

SILVA, I.A.G. *et al.* Tree legume enhances livestock performance in a silvopasture system. **Agronomy journal**, v.113, pp.358-369, 2021.

SILVA, M.O. *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.1., pp.6853-6875, 2021.

SILVA-OLAYA, A.M. *et al.* Silvopastoral Systems Enhance Soil Health in the Amazon Region. **Sustainability**, v.14, n.1, 2022.

SOARES, E.M.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O.; BETTIO, W.; BELIZÁRIO, M.H. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.9, pp.1231-1240, 2008.

TADINI, A.M. Evaluation of soil organic matter from integrated production systems using laser-induced fluorescence spectroscopy. **Soil and Tillage Research**, v.211, 2021.

TESFAYEA, M.A. *et al.* Impact of changes in land use, species and elevation on soil organic carbon and total nitrogen in Ethiopian Central Highlands. **Geoderma**, v.261, pp.70-79, 2016.

VASQUES, N.C. *et al.* Resposta da biomassa microbiana a diferentes corretivos de solo. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, pp.161-169, 2020.

WEIGLEIN, T.L. *et al.* Key predictors of soil organic matter vulnerability to mineralization differ with depth at a continental scale. **Biogeochemistry**, 157, pp.87-107, 2022.

XAVIER, D.F. *et al.* Litter dynamics in signal grass pastures in a silvipasture system and in monoculture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, pp. 1214-1219, 2011.

XAVIER, D.F. *et al.* Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.99, pp.45-62, 2014.

ZHOU. *et al.* Grazing intensity significantly affects belowground carbon and nitrogen cycling in grassland ecosystems: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v.23, pp.1167-1179, 2017.

CAPÍTULO II

Deposição, decomposição e composição química da serapilheira remanescente de *Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) e *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. sob monocultivo e sistema silvipastoril

RESUMO

O uso de sistemas integrados, como os silvipastoris, formados por árvores, pasto e gado, é uma alternativa estratégica sustentável para preservar e recuperar a qualidade do solo em pastagens, sobretudo quando se utiliza leguminosas arbóreas. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a deposição e a contribuição dos nutrientes para o solo da serapilheira da leguminosa arbórea *Mimosa caesalpinifolia* Benth., em diferentes períodos do ano (chuvoso e seco), assim como a decomposição de folhas (até 512 dias) da serapilheira da gramínea *Urochloa decumbens* Stapf. e da leguminosa arbórea, em diferentes distâncias das árvores (0 e 2m) e sistemas de cultivo (silvipastoril e monocultivo). As árvores foram plantadas na pastagem da gramínea em filas duplas (2m x 1m), espaçadas 25m umas das outras. O mesmo espaçamento entre árvores foi adotado no monocultivo da leguminosa. O delineamento experimental foi blocos ao acaso com três repetições. A maior deposição total e de folhas da serapilheira foram, respectivamente, para o monocultivo (531,9 e 425,3 kg ha⁻¹), entre a fila dupla das árvores (347,9 e 235,9 kg ha⁻¹) e a 2m da fila dupla (201,6 e 130,5 kg ha⁻¹). A maior deposição total de folhas, ramos e de miscelâneas, assim como os maiores teores de matéria orgânica, matéria mineral, K e Ca na serapilheira depositada e as maiores contribuições de todos os nutrientes ocorreram no período seco. O maior teor de C na serapilheira ocorreu no período chuvoso. O teor de Mg na serapilheira foi maior a 2m de distância da fila dupla das árvores. Na decomposição da serapilheira, a biomassa remanescente de cada espécie não sofreu influência dos sistemas de cultivo, mas diminuiu de forma exponencial ao longo do período de incubação. O teor de N remanescente aumentou, enquanto o teor de C e relação C/N diminuíram ao longo do tempo de incubação. Quanto à composição química da serapilheira remanescente, na gramínea houve maior teor de N no monocultivo (10,13 g kg⁻¹ de MO). No sistema silvipastoril, os teores de C (438,23 g kg⁻¹ de MO) e lignina (225,68 g kg⁻¹ de MO), e a relação lignina/N (39,77) da gramínea foi maior entre a fila dupla das árvores, enquanto a relação C/N foi maior (120,01) a 2m da fila dupla. Em relação à composição química da serapilheira remanescente da leguminosa, as concentrações de N foram maiores entre a fila dupla das árvores (22,06 g kg⁻¹ MO) e a 2 m (22,52 g kg⁻¹ de MO) em comparação ao monocultivo. Por outro lado, a relação C/N foi maior (21,79) no monocultivo. A fração fibrosa da serapilheira aumentou com o tempo de incubação. O consórcio de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e *Urochloa decumbens* Stapf. em sistema silvipastoril pode possibilitar a formação de matéria orgânica mais estável, com retorno constante de nutrientes no solo, em virtude de apresentarem composição e decomposição distintas da serapilheira.

Palavras-chave: Consórcio, gramínea, leguminosa, solo, nutrientes.

ABSTRACT

The use of integrated systems like silvopastoral ones, which is based on the exploitation of trees, herbaceous forage swards, and livestock in an integrative way, is a sustainable alternative to preserving and recovering the soil quality of pastures, mostly when arboreal legumes are included. In this sense, the objective of this study was to evaluate litter deposition in a two-year trial, and the decomposition of the legume sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) and palisade grass (*Urochloa decumbens* Stapf.) leaves until 512 days, under monocropping and in the silvopastoral system. The greatest total litter deposition (531.9; 347.9; 201.6 kg ha⁻¹) and leaf deposition (425.3; 235.9; 130.5 kg ha⁻¹) were observed in the monocropping system, between double-rows (0 m) and at a 2-m distance. Greater total deposition and those of leaves, stems, and miscellaneous, besides litter contents of organic and mineral matter, calcium, and potassium, were verified in the dry season. Conversely, the greatest C content of litter was found in the rainy season. The Mg content of litter was greater at a 2-m distance from the tree double-row. Regarding litter decomposition, the remaining biomass from each species was not influenced by the cropping systems, but it decreased exponentially during the incubation period. The content of the remaining N increased while the C/N ratio and C content reduced during the incubation period. About the chemical composition of remaining litter, greater remaining N was verified in palisade grass under the monocropping system (10.13 g kg⁻¹ OM).. In the silvopastoral system, contents of C (438.23) and lignin (225.68), and lignin/N ratio (39.77) of palisade grass were greater between tree double-rows while the C/N ratio was greater at 2 m from this double-row. Concerning the chemical composition of remaining litter from the legume sabiá, the N content was greater between double-rows (22.06 g kg⁻¹ OM) and at a 2-m distance (22.52 g kg⁻¹ OM) compared to the legume's monocropping. Conversely, the C/N ratio (21.79) was greater in the monocropping system. Fiber fractions like NDF, ADF, and lignin increased throughout incubation time. Intercropping between *Mimosa caesalpinifolia* Benth. and *Urochloa decumbens* Stapf., in silvopastoral systems, can produce more stable organic matter and constant return of soil nutrients because these species provide different litter compositions.

Keywords: Intercropping, grass, legume, soil, nutrients.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas silvipastoris (SPPs) têm sido uma alternativa estratégica sustentável para preservar e recuperar a qualidade do solo em pastagens, podendo aumentar a produtividade de todo o sistema, ao mesmo tempo que fornece vários serviços ecossistêmicos, tais como: madeira, celulose, forragem, alimentos para humanos, biocombustível, mitigação de impactos de riscos ambientais atuais e futuros, dentre outros (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2017; SMITH *et al.*, 2022), sobretudo, quando se utiliza leguminosas arbóreas. Estas plantas podem contribuir com a fertilidade do solo por meio do N fixado simbioticamente por bactérias e mitigar a erosão da superfície do solo mediante deposição de serapilheira (APOLINÁRIO *et al.*, 2016).

As constantes entradas de serapilheira (folhas, ramos, estruturas reprodutivas e miscelânea) e a cobertura do solo, associado a extensos sistemas radiculares em sistemas florestais, contribuem para os aumentos nas concentrações de C e N orgânico do solo, o que colabora para a melhoria da qualidade do solo ao longo tempo (CHEN *et al.*, 2017; ABREU *et al.*, 2020). Em SPPs, Hoosbeek *et al.* (2018) mostraram que a deposição de serapilheira aumentou os conteúdos de carbono, nitrogênio, fósforo e as frações da matéria orgânica livre e oclusa em comparação ao monocultivo de pastagem.

Apolinário *et al.* (2016) avaliaram a contribuição dos nutrientes de serapilheira de leguminosas arbóreas para o solo sob sistema silvipastoril e verificaram que as contribuições foram de 105 e 109 kg N ha⁻¹ e 87 e 98 kg N ha⁻¹, para *Gliricidia sepium* (Jacq.) e *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., respectivamente.

A decomposição da serapilheira é um processo biogeoquímico altamente complexo, envolvendo fatores físicos, químicos e biológicos (KRISHNA, MOHAN 2017). De acordo com Padalia *et al.* (2015), estima-se que até 87 % das necessidades anuais totais de nutrientes essenciais para as árvores são atendidas pela decomposição da serapilheira. No entanto, a decomposição da serapilheira é influenciada por vários fatores, como sua concentração de C e N, qualidade do solo, clima, e as espécies de plantas utilizadas no sistema (MARTÍNEZ-ATENCIA, 2020). Cassart *et al.* (2020) mencionam que um dos principais fatores que influenciam a decomposição é a qualidade da serapilheira. Herrera *et al.* (2020) avaliaram a decomposição de folhas senescentes de *Mimosa caesalpiniiifolia* e do capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.), e verificaram que a relação C/N foi menor na serapilheira da leguminosa do que na gramínea, o que pode indicar taxa de ciclagem mais rápida.

Com base no exposto, a hipótese deste trabalho é que a deposição e a contribuição dos nutrientes ao solo via serapilheira da leguminosa arbórea *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., bem como a decomposição da serapilheira da gramínea *Urochloa decumbens* Stapf. e da leguminosa são influenciadas pelo período do ano, distância das árvores e sistema de cultivo (sistema silvipastoril e monocultivo).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a deposição e a contribuição dos nutrientes para o solo da serapilheira da leguminosa arbórea *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em diferentes períodos do ano, assim como a decomposição de folhas da serapilheira da gramínea *Urochloa decumbens* Stapf. e da leguminosa arbórea, em diferentes distâncias das árvores e sistemas de cultivo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e descrição do experimento

O experimento foi realizado no período de março de 2019 a março de 2021, na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Garanhuns, Pernambuco, Brasil. Pela classificação de Köppen-Geiger, o clima é o tropical quente subúmido seco, referentes ao As', BShs' e Cs'a. A temperatura média anual é de 22,8 °C, latitude 08°53'30"S e longitude 36°30'00"W e altitude de 842m. A precipitação anual histórica média de 53 anos do município é de 866 mm (BARBOSA *et al.*, 2016). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo, classe textural franco-agiloaremos (SANTOS *et al.*, 2018). A análise de solos da área experimental, apresentou as seguintes características: pH em água (5,30), fósforo (2 mgdm⁻³), cálcio (0,35 cmol_c.dm⁻³), magnésio (0,53 cmol_c.dm⁻³), sódio (0,06 cmol_c.dm⁻³), potássio (0,19 cmol_c.dm⁻³), alumínio (0,95 cmol_c.dm⁻³), hidrogênio (4,95 cmol_c.dm⁻³), soma de bases (1,15 cmol_c.dm⁻³), capacidade de troca de cátions (7,05 cmol_c.dm⁻³), saturação por bases (16 %), saturação por alumínio (46,5 %).

A correção do solo foi realizada 60 dias antes do plantio das mudas, utilizando calcário dolomítico (54,3% de carbonato de cálcio (CaCO₃) e 45,7% de carbonato de magnésio (MgCO₃), PRNT= 90 %) em área total, na ordem de 2,5 t/ha. No momento do plantio foi realizada adubação com 30 kg K₂O ha⁻¹ (cloreto de potássio) e 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ (superfosfato simples), seguindo as recomendações de adubação para o estado de

Pernambuco: 2ª aproximação, com base nas recomendações para a cultura da leucaena *leucocephala* (Leucena) (CAVALCANTI, 2008).

Os dados mensais referentes à precipitação pluvial e temperatura média do ar durante o período em que antecedeu a implantação do experimento (2018) e durante o experimento (março de 2019 a março de 2021) estão apresentados na Figura 1.

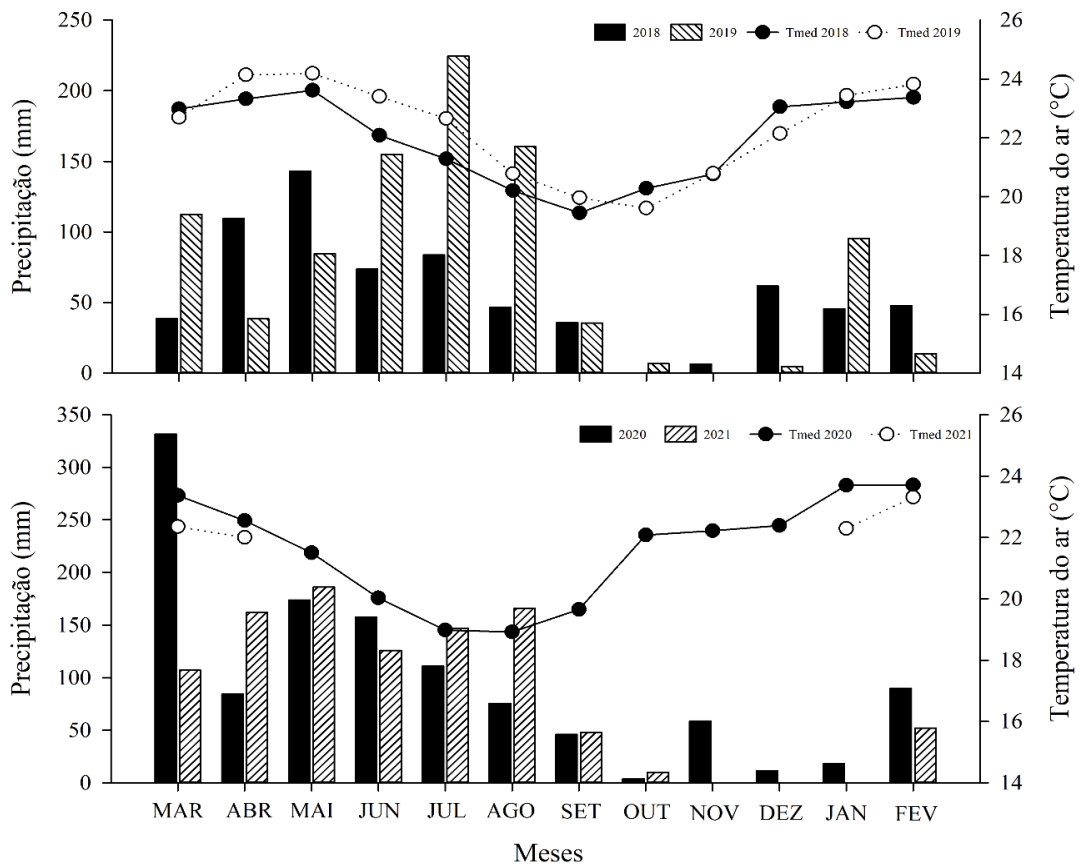


Figura 1. Dados mensais de precipitação pluvial e temperatura do ar média durante o período em que antecedeu a implantação do experimento (2018) e durante o experimento (março de 2019 a março de 2021).

Os tratamentos incluíram um sistema silvipastoril com capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.), a leguminosa arbórea *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (sabiá) e os monocultivos das respectivas espécies num delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

A pastagem de capim-braquiária foi formada em meados do ano de 1998. As mudas de leguminosa foram provenientes de um viveiro credenciado da cidade de Igarassu, Pernambuco, Brasil. Estas mudas foram transplantadas para covas de 15x15 cm, no sentido leste-oeste, em filas duplas espaçadas de 25m x 2m x 1 m em outubro de 2017, sendo realizados replantios em maio e julho de 2018.

As parcelas experimentais do silvipastoril e do capim-braquiária em monocultivo possuiu área de 1 ha, enquanto o monocultivo da leguminosa possuiu área de 600 m² (30 m x 20 m), seguindo os mesmos espaçamentos adotados nas filas duplas nas parcelas consorciadas (2m x 1m). A população de árvores foi de 600 ha⁻¹ no consórcio e de 5.000 ha⁻¹ no monocultivo da leguminosa. Assim, a área experimental total foi de 7,8 ha⁻¹. O croqui e detalhamento da área experimental se encontram na Figura 2.

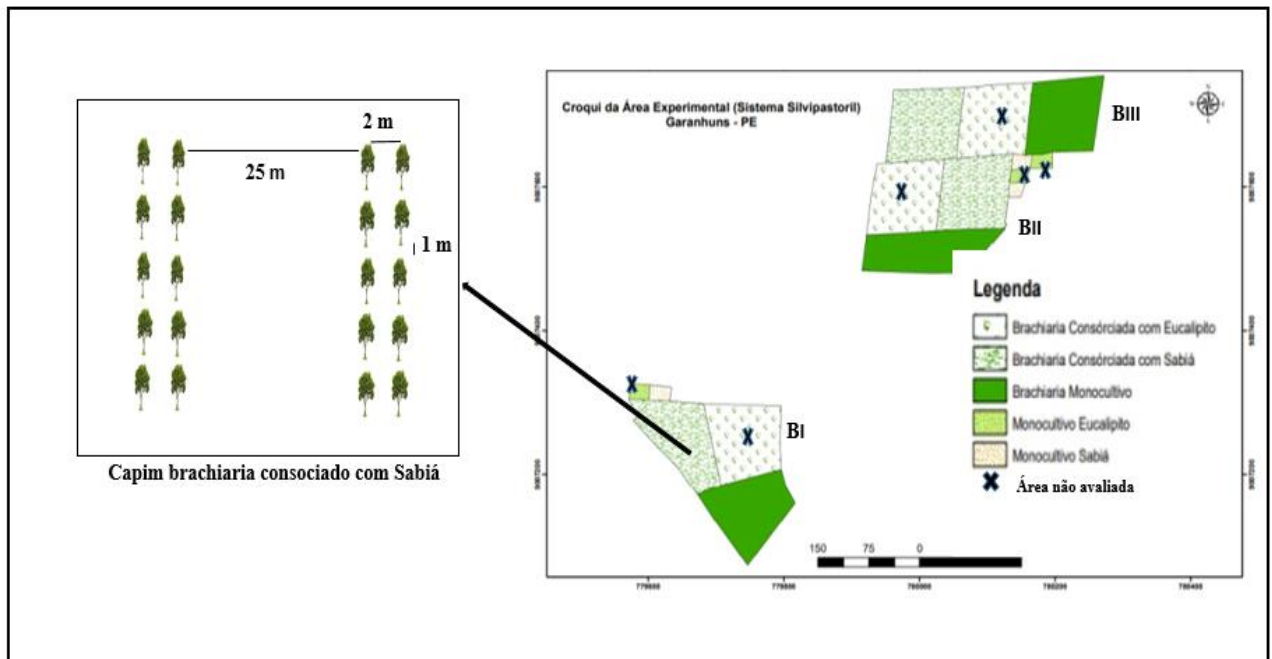


Figura 2. Croqui e detalhamento da área experimental. Adaptado de Carvalho (2021).

As pastagens consorciadas e o monocultivo da gramínea foram pastejadas por bovinos machos mestiços holandês × zebu, com aproximadamente 170 ± 15 kg de peso corporal (PC), os quais foram distribuídos nas parcelas experimentais, sob lotação contínua e taxa de lotação variável (MOTT; LUCAS, 1952). A taxa de lotação foi ajustada a cada 28 dias em função da relação entre a massa de forragem e o peso corporal dos animais (SOLLENBERGER *et al.*, 2005), buscando-se a manutenção de uma oferta de forragem de 3 kg de MS de forragem verde por kg de PC. Água e mistura mineral foram disponibilizadas *ad libitum* em todos os piquetes. As estações de pastejo foram de março/2019 a janeiro/2020 e de agosto/2020 a abril/2021; no intervalo de janeiro/2020 a agosto/2020 o pasto ficou em repouso para recuperação do pastejo anterior.

2.2 Amostragem e análises

2.2.1 Deposição de serapilheira

Para a quantificação da deposição da serapilheira no consórcio foram construídas três áreas de exclusões com nove metros de comprimento e três metros e meio de largura (31,5 m²) cada, uma por fila dupla em cada parcela, as quais circundavam seis árvores, sendo três em cada linha. Dentro de cada exclusão e obedecendo aos espaçamentos de 0 m (entre a fila dupla) e 2 metros de distância em relação às filas duplas, foram colocados três coletores metálicos por distância para coletar massa de serapilheira depositada (Figura 3). Os coletores foram confeccionados com tela de náilon de 1 mm de abertura de malha e com 1 m² de área e suspensos a 20 cm do solo para evitar perdas de serapilheira pela ação de microrganismos.

No monocultivo de leguminosa, devido ao menor tamanho da área e ausência de pastejo pelos animais, foram utilizados somente nove coletores, das mesmas dimensões dos utilizados no consórcio, os quais foram distribuídos dentro de um quadrado localizado no centro de cada parcela com dimensões das exclusões do consórcio (Figura 4).



Figura 3. Coletores entre a fileira dupla das árvores de *Mimosa caesalpinifolia* Benth (0 m) e a dois metros em relação à fileira dupla (2 m).



Figura 4. Coletores distribuídos no monocultivo de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.

As coletas da massa da serapilheira depositada nos coletores foram realizadas mensalmente a partir do mês de julho de 2019 (após um ano e oito meses do plantio das árvores) até fevereiro de 2021. No entanto, devido aos entraves causados no início da pandemia da covid-19, não foi possível coletar nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro de 2020, totalizando, portanto, 17 meses de avaliação que foram agrupados em período chuvoso (2019/mês: julho e agosto; 2020/mês: janeiro, fevereiro, março e abril; 2021/mês: janeiro, fevereiro, março e abril) e período seco (2019/mês: setembro, outubro, novembro e dezembro; (2020/mês: outubro, novembro e dezembro).

O material coletado foi pesado e colocado em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 55°C até o peso constante. Após esse período, foi pesado novamente para a quantificação da deposição total, separado e pesado nas frações: folhas, ramos ≤ 1 cm de diâmetro, estruturas reprodutivas e miscelânea (restos mortais de insetos e material vegetal não pertencente às forrageiras em estudo). (Figura 5).



Figura 5. Folhas (A), ramos (B), estruturas reprodutivas (ER) e miscelânea (D).

Para as realizações das análises químicas, as amostras foram novamente agrupadas, com exceção da fração miscelânea, e passadas em peneira com mesh de 1 mm. As análises de matéria seca (MS) (930.15), matéria orgânica (MO) (942.05) e matéria mineral (MM) (942.05) foram realizadas de acordo com a metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1990).

Os nutrientes minerais foram determinados por meio da digestão nítrico-perclórica, conforme a metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011), em que os teores de K e Na foram obtidos por fotometria de emissão de chama, P por espectrofotometria UV-VIS, o Mg e o Ca por espectrofotometria de absorção atômica. O N foi obtido por digestão sulfúrica, e em sequência quantificado pelo método de Kjeldahl. O carbono foi determinado pela oxidação da matéria orgânica em presença de ácido sulfúrico e dicromato de potássio, e posterior dosagem, por titulação, do excesso de dicromato, com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal (BEZERRA NETO; BARRETO, 2011). A relação carbono e nitrogênio (C/N) foi calculada pela razão entre os teores de C e N. A contribuição de cada nutriente foi calculada pelo produto dos teores e a quantidade de serapilheira depositada.

2.2.2 Decomposição de serapilheira

Folhas senescentes (serapilheira) da leguminosa e da gramínea foram coletadas quando ainda estavam presas à planta. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar na temperatura de 55°C até peso constante e utilizadas para incubação. Utilizaram-se sacos de náilon (100% poliéster, referência do tecido:0065 fixado) com

dimensões 20 x 22,50 cm (400 cm²) e poros de aproximadamente 75 µm. Em cada saco foram utilizados 18 gramas de serapilheira, na proporção de 1 g de material para cada 25 cm² de área do saco, seguindo a metodologia de Dubeux Jr. *et al.* (2006a).

No consórcio, em cada parcela, os sacos foram incubados na superfície do solo e cobertos por uma fina camada de folhas. Ao todo, foram 36 sacos entre a fila de leguminosas e a 2 metros de distância da fila dupla. Dezoito destes sacos continham material de ambas as espécies e nove eram sacos vazios (referências). Nos monocultivos foram incubados somente dezoito sacos, nove com serapilheira e nove sacos vazios. Os sacos foram coletados nos tempos 0, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 e 512 dias de incubação. Em cada tempo eram recolhidos somente três sacos no consórcio por distância, dois com material (um de cada espécie) e um saco vazio. Nos monocultivos eram coletados somente dois sacos, um com material e outro vazio. Os sacos referentes ao tempo 0 foram separados para serem avaliados como valores iniciais.

As análises de matéria seca (MS) (método 930.15), matéria orgânica (MO) (método 942.05), matéria mineral (MM) (método 942.05) e o nitrogênio (N) (método 954.01) foram realizadas de acordo com a metodologia descrita pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1990). As determinações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram realizadas conforme a metodologia de Van Soest *et al.* (1991), com adaptação de Senger *et al.* (2008). A lignina digerida em ácido (LDA) foi determinada segundo a metodologia de Van Soest *et al.* (1991). O teor de carbono foi determinado conforme Bezerra Neto e Barreto (2011). A relação C/N foi calculada pela razão entre os teores de C e N e a relação lignina/nitrogênio pela razão entre lignina digerida em ácido e nitrogênio.

2.3 Análises estatísticas

Os dados de deposição da serapilheira foram agrupados em período chuvoso e seco dos diferentes anos. A análise estatística foi realizada por meio do software SAS® OnDemand for Academics, utilizando o PROC MIXED (LITTELL; HENRY; AMMERMAN, 1998). Os sistemas foram considerados como efeito fixo, enquanto bloco experimental e ano como efeito aleatório. O período do ano foi considerado como medidas repetidas no tempo.

Para os dados de decomposição da serapilheira, a análise foi realizada separadamente para a leguminosa e gramínea. Foram considerados como tratamentos a incubação da

serapilheira no 1) monocultivo, 2) entre a fileira dupla de leguminosa e a 3) dois metros da fileira dupla no sistema silvipastoril, nos diferentes períodos de incubação (0, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 e 512 dias). Os tratamentos e os períodos de incubação foram considerados como efeito fixo e o bloco experimental como efeito aleatório. O período de incubação foi considerado como medidas repetidas no tempo. Quando o efeito do período de incubação foi significativo, isolado ou em interação com os tratamentos, foi realizado análise de regressão exponencial, por meio do software Sigmaplot versão 14.0.

Todas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

3.1 Deposição de serapilheira

Houve efeito significativo dos sistemas sobre a deposição total, de folhas e de ramos (Tabela 1). Maior deposição total e de folhas foram, respectivamente, para o monocultivo, entre a fileira das árvores (0 m) e a 2m da fileira dupla. A menor deposição de ramos foi a 2 m da fileira dupla, enquanto não houve diferenças entre o monocultivo e a deposição no meio da fileira.

Tabela 1. Deposição total, de folhas, de ramos, de estruturas reprodutivas e miscelâneas de serapilheira de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. em sistema de monocultivo e em sistema silvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf., em duas distâncias em relação a fileira dupla das árvores e em dois períodos do ano.

Tratamento	Deposição total	Folhas	Ramos	Estruturas reprodutivas	Miscelânea
Monocultivo	531,91 A	425,35 A	74,60 A	22,97	8,98
0 m	347,98 B	235,97 B	77,18 A	28,05	7,07
2 m	201,64 C	130,52 C	50,01 B	14,52	6,84
EPM	34,75	19,51	6,46	10,67	1,35
<i>P-valor</i>	<0,0001	<0,0001	0,0023	0,6647	0,4769
Período					
Seco	541,21 A	410,21 A	99,03 A	23,16	8,97 A
Chuvoso	179,82B	117,68 B	35,50 B	20,54	6,31 B
EPM	289,54	263,94	0,001	6,41	0,99
<i>P-valor</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,5545	0,0311

EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna não diferem ($P>0,05$) pelo teste de Tukey.

Houve efeito significativo do período do ano sobre a deposição total e dos demais componentes (Tabela 1). No período seco do ano houve maior deposição total e dos demais componentes que no período chuvoso.

Não houve efeito significativo para as concentrações de nutrientes na serapilheira entre os sistemas (Tabela 2), exceto para Mg, com menor concentração no monocultivo em comparação ao sistema silvipastoril a 2m da fileira dupla. Por outro lado, houve efeito significativo do período do ano nas concentrações de matéria orgânica, matéria mineral, K, Ca e C. No período seco houve maior concentração de matéria orgânica e mineral, K e Ca, enquanto no período chuvoso houve maior concentração de C na serapilheira depositada. O período do ano não influenciou os teores de MS, N, P, Mg, Na e C/N.

Tabela 2. Composição química da serapilheira depositada da leguminosa *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. sob monocultivo e em sistema silvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf., em duas distâncias em relação à fileira das árvores e em dois períodos do ano.

Tratamento	MS	MM	MO	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Relação
											C/N
g kg ⁻¹											
Monocultivo	875,08	39,46	960,55	512,10	14,38	0,51	6,81	4,39	1,54 B	2,31	37,48
Entre fileiras	879,17	40,84	959,15	511,77	14,05	0,54	6,76	4,65	1,72 AB	2,32	37,37
Dois metros das fileiras	879,50	39,40	960,59	513,57	13,43	0,48	6,26	4,72	1,75 A	2,19	39,51
EPM	0,71	1,78	0,17	5,47	0,77	0,06	0,52	0,35	0,05	0,16	1,94
<i>P</i> -valor	0,6280	0,7814	0,7814	0,9693	0,6791	0,8251	0,7213	0,7843	0,0258	0,8113	0,6802
Período											
Seco	882,16	43,24 A	963,43 A	503,46 B	13,66	0,45	8,17 A	5,23 A	1,64	2,79	37,90
Chuvoso	870,85	36,56 B	956,75 B	521,49 A	14,25	0,57	5,06 B	3,95 B	1,70	1,76	38,34
EPM	0,59	1,46	0,14	4,70	0,48	0,04	0,41	0,25	0,04	0,12	1,31
<i>P</i> -valor	0,1975	0,0002	0,0002	0,0114	0,1393	0,0106	<0,0001	0,0001	0,5178	<0,0001	0,7545

EPM: Erro padrão da média. MS: matéria seca, MM: matéria mineral, MO: matéria orgânica, C: carbono, N: nitrogênio, P: fósforo, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: Magnésio, Na: sódio, C/N: relação carbono e nitrogênio. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna não diferem ($P>0,05$) pelo teste de Tukey.

Houve interação tratamento x período do ano ($P < 0,05$) para contribuição dos nutrientes para o solo. As maiores quantidades de matéria orgânica, matéria mineral, C, N, K, Ca, Mg e Na foram depositadas no período seco em comparação ao período chuvoso, em todos os tratamentos (Tabela 3).

Para contribuição dos nutrientes no período seco, as maiores quantidades de MS, MM, C, N, K e Na foram depositadas, respectivamente, para o monocultivo, entre a fileira dupla das árvores (0 m) e a 2m das fileiras duplas. Para P e Ca, as maiores quantidades foram depositadas no monocultivo em comparação a 2m da fileira, enquanto ambos não diferiram da quantidade depositada entre as fileiras duplas. Por outro lado, para o Mg, no monocultivo, houve maior deposição deste nutriente do que no silvipastoril. No período chuvoso não houve diferença entre os tratamentos para a contribuição dos nutrientes (Tabela 3).

Tabela 3. Contribuição (deposição) dos nutrientes, em kg ha⁻¹, oriundos da serapilheira depositada de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. para o solo sob monocultivo e em sistema silvipastoril com *Urochloa decumbens* Stapf., em duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores e em dois períodos do ano.

Tratamento	Período do ano	
	Seco	Chuvoso
	Matéria orgânica ($p = <0,0001$ e EPM= 9,02)	
Monocultivo	820,04 Aa	199,60 Ba
Entre fileiras	461,41Ab	199,48 Ba
Dois metros das fileiras	268,85 Ac	121,06 Ba
	Matéria mineral ($p = <0,0001$ e EPM= 47,79)	
Monocultivo	22,72 Aa	7,76 Ba
Entre fileiras	27,72 Ab	7,34 Ba
Dois metros das fileiras	13,05 Ac	4,19 Ba
	Carbono ($p = <0,0001$ e EPM=25,07)	
Monocultivo	429,95 Aa	106,87 Ba
Entre fileiras	238,13 Ab	105,49 Ba
Dois metros das fileiras	136,77 Ac	64,09 Ba
	Nitrogênio ($p = <0,0001$ e EPM= 0,82)	
Monocultivo	11,42 Aa	3,16 Ba
Entre fileiras	6,98 Ab	2,82 Ba
Dois metros das fileiras	3,98 Ac	1,67 Ba
	Fósforo ($p = 0,0187$ e EPM=0,04)	
Monocultivo	0,41Aa	0,13Ba
Entre fileiras	0,26 Aab	0,13 Ba
Dois metros das fileiras	0,13 Ab	0,07 Ba
	Potássio ($p = <0,0001$ e EPM=0,57)	
Monocultivo	7,73Aa	1,11 Ba
Entre fileiras	4,36 Ab	0,90 Ba
Dois metros das fileiras	2,27 Ac	0,51 Ba
	Cálcio ($p = 0,0167$ e EPM=0,35)	
Monocultivo	4,11 Aa	0,85 Ba
Entre fileiras	2,88 Aab	0,73 Ba
Dois metros das fileiras	1,69 Ab	0,45 Ba
	Magnésio ($p = 0,0055$ e EPM=0,08)	
Monocultivo	1,29 Aa	0,33 Ba
Entre fileiras	0,84 Ab	0,36 Ba
Dois metros das fileiras	0,52 Ab	0,21 Ba
	Sódio ($p = <0,0001$ e EPM=0,18)	
Monocultivo	2,55 Aa	0,37 Ba
Entre fileiras	1,48 Ab	0,31 Ba
Dois metros das fileiras	0,77 Ac	0,17 Ba

P: P-valor, EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na linha e minúsculas na coluna não diferem ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

3.2 Decomposição de serapilheira

Não houve efeito significativo dos diferentes tratamentos na serapilheira remanescente da gramínea e nem da leguminosa (Tabela 4). No entanto, houve diferença significativa para a serapilheira remanescente de ambas as espécies ao longo do tempo de incubação, ajustando-se ao modelo de regressão exponencial negativo simples (Figura 6).

Tabela 4. Serapilheira remanescente (%) de *Urochloa decumbens* Stapf. e de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., após 512 dias de incubação no solo, em monocultivo e em sistema silvipastoril, a duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores.

Tratamento	<i>Urochloa decumbens</i> Stapf.
Monocultivo	28,31
Entre fileiras	31,73
Dois metros das fileiras	30,75
EPM	8,21
<i>p-valor</i>	0,9555
	<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth.
Monocultivo	38,96
Entre fileiras	36,79
Dois metros das fileiras	40,25
EPM	6,67
<i>P-valor</i>	0,7333

EPM: Erro padrão da média.

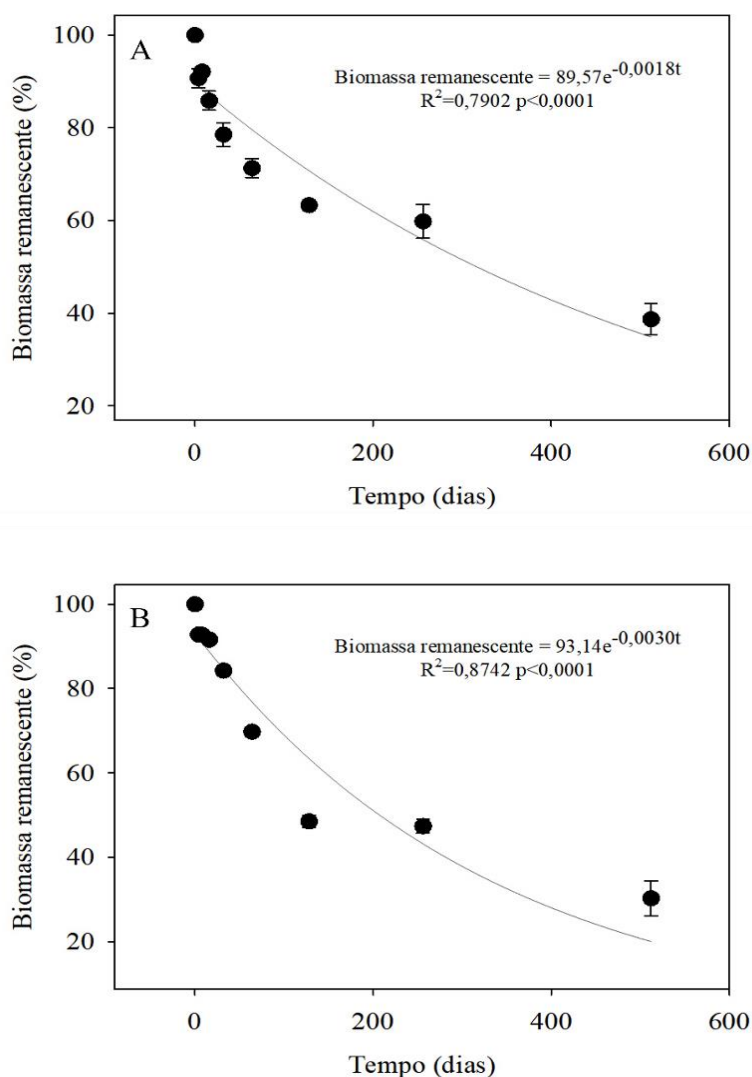


Figura 6. Biomassa remanescente de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. (A) e de *Urochloa decumbens* Stapf. (B) ao longo do tempo de incubação.

Houve efeito significativo dos tratamentos sobre os teores de N, C, lignina, relação C/N e relação Lignina/N da serapilheira remanescente da gramínea (Tabela 5). O monocultivo apresentou maior valor de N em comparação ao sistema silvipastoril.

Para o C e relação Lignina/N, os maiores valores foram no sistema silvipastoril entre a fileira dupla das árvores (0 m) em comparação ao monocultivo. A maior concentração de lignina foi no sistema silvipastoril entre a fila dupla das árvores em comparação aos demais tratamentos. Por outro lado, a maior relação C/N foi no sistema silvipastoril a 2m das fileiras duplas em relação aos demais tratamentos.

Para a composição química da serapilheira remanescente da leguminosa (Tabela 6) houve efeito significativo entre os tratamentos para o teor de N e relação C/N. O monocultivo apresentou menor teor de N em relação ao sistema silvipastoril nas duas distâncias. Para a

relação C/N, o monocultivo apresentou maior relação em comparação ao sistema silvipastoril, a 2m de distância da fileira dupla.

Não houve efeito significativo do tempo de incubação sobre os teores de MS, C, FDN, FDA, lignina, e relação lignina/N na serapilheira remanescente de *U. decumbens* nos diferentes períodos de incubação. No entanto, houve efeito significativo do tempo de incubação para o teor de N e relação C/N (Tabela 7). O teor de N se ajustou a um modelo exponencial de crescimento ao máximo, enquanto a relação C/N a um modelo de exponencial negativo simples. Também, houve efeito significativo do tempo de incubação sobre os teores de todas as variáveis e sobre a relação C/N e lignina/N da serapilheira remanescente de *M. caesalpiniiifolia* (Tabela 8). Neste caso, os teores de N, FDN, FDA, lignina e relação lignina/N se ajustaram a um modelo exponencial de crescimento ao máximo, enquanto os teores de MS, MO e relação C/N se ajustaram a um modelo de exponencial negativo. O teor de C não se ajustou a nenhum modelo testado.

Tabela 5. Composição química, relação carbono/nitrogênio (relação C/N) e relação lignina /nitrogênio (lignina/N) na serapilheira remanescente de *Urochloa decumbens* Stapf. em monocultivo e sistema silvipastoril, em duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores.

Tratamento	MS	MO	N	C	FDN	FDA	Lignina	Relação C/N	Relação Lignina/N
g kg ⁻¹ MO									
Monocultivo	88,18	936,13	10,13 A	415,95 B	801,99	414,61	104,34 B	66,94 B	14,72 B
Entre fileiras	88,58	924,23	6,09 B	438,23 A	810,18	424,04	225,68 A	80,77 B	39,77 A
Dois metros das fileiras	88,49	899,49	5,01B	430,98 AB	795,71	422,26	113,22 B	120,01 A	27,00 AB
EPM	0,28	17,41	1,56	8,08	11,13	8,51	36,23	9,77	7,71
<i>P-valor</i>	<i>0,5206</i>	<i>0,3240</i>	<i>0,0002</i>	<i>0,0562</i>	<i>0,4182</i>	<i>0,7092</i>	<i><0,0001</i>	<i>0,0010</i>	<i>0,0010</i>

MS: Matéria seca, MO; matéria orgânica, N: nitrogênio, C: carbono, FDN: fibra insolúvel em detergente neutro, FDA: fibra insolúvel em detergente ácido. EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey. g/kg MO= g/kg Matéria orgânica.

Tabela 6. Composição química, relação carbono/nitrogênio (relação C/N) e relação lignina /nitrogênio (relação lignina/N) na serapilheira remanescente de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em monocultivo e sistema silvipastoril, em duas distâncias em relação à fileira dupla das árvores.

Tratamento	MS	MO	N	C	FDN	FDA	LIG	Relação C/N	Relação lignina/N
g kg ⁻¹ MO									
Monocultivo	88,56	958,67	20,55 B	439,10	751,51	650,27	380,30	21,79 A	18,25
Entre fileiras	87,92	954,33	22,06 A	450,89	769,56	669,73	387,04	20,60 AB	17,32
Dois metros das fileiras	87,94	956,47	22,52 A	442,34	745,99	663,37	389,11	20,09 B	17,10
EPM	1,00	1,79	0,64	24,51	8,98	18,64	12,93	0,74	0,83
<i>P-valor</i>	<i>0,3859</i>	<i>0,2437</i>	<i>0,0003</i>	<i>0,4101</i>	<i>0,0729</i>	<i>0,4879</i>	<i>0,8224</i>	<i>0,0050</i>	<i>0,3634</i>

MS: Matéria seca, MO; matéria orgânica, N: nitrogênio, C: carbono, FDN: fibra insolúvel em detergente neutro, FDA: fibra insolúvel em detergente ácido. EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais na coluna não diferem ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey. g kg⁻¹ MO= g kg⁻¹ na matéria orgânica.

Tabela 7. Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), carbono (C), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), lignina, relação carbono/nitrogênio (C/N), relação lignina/nitrogênio (lignina/N) da serapilheira remanescente de *Urochloa decumbens* Stapf. em diferentes períodos de incubação.

Tempo	MS	MO	N	C	FDN	FDA	Lignina	Relação C/N	Relação lignina/N
	g kg ⁻¹ MO								
0	88,79	948,97	5,50	453,16	826,40	416,07	114,08	134,26	32,27
4	88,24	943,20	5,71	433,35	811,10	415,84	112,89	111,58	27,84
8	87,81	943,82	5,22	439,80	822,44	410,53	106,99	114,72	27,03
16	88,19	944,54	5,11	405,77	806,05	419,72	119,36	106,67	29,71
32	87,98	942,43	5,60	420,02	780,08	406,31	117,52	99,45	29,01
64	88,72	934,10	6,47	428,49	787,69	408,53	146,36	85,81	27,58
128	88,92	903,43	9,07	424,86	796,59	427,99	198,41	58,43	27,25
256	88,56	906,84	9,46	421,23	796,07	433,65	199,33	51,37	23,15
512	88,54	912,22	11,58	428,82	797,19	444,16	214,79	40,65	20,61
EPM	0,46	30,16	1,96	12,25	15,57	14,75	44,82	16,92	10,03
<i>p</i> -valor	0,6782	0,0519	0,0179	0,2228	0,2542	0,6635	0,0889	0,0020	0,9908
Equação	y = 88,34	y = 939,92	Y=5,61- 1740,57(1-e ^(-0,0001X))	y = 429,38	y = 805,68	y = 412,91	y = 121,4	y = 115,14e ^{-0,003x}	y = 29,26
R ²	-	-	R ² = 0,1446	-	-	-	-	R ² = 0,2275	-

EPM: Erro padrão da média. g kg⁻¹ MO= g kg⁻¹ na matéria orgânica.

Tabela 8. Teores de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), nitrogênio (N), carbono (C), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), lignina, relação carbono/nitrogênio (C/N), relação lignina/nitrogênio (lignina/N) da serapilheira remanescente de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. em diferentes períodos de incubação.

Tempo	MS	MO	N	C	FDN	FDA	Lignina	C/N	Lignina/N
				gkg ⁻¹ MO					
0	90,42	963,7	20,39	457,61	652,70	532,97	244,33	22,45	12,05
4	90,77	964,8	19,48	465,10	651,13	512,97	236,35	23,98	12,51
8	89,15	965,0	19,59	469,57	644,79	516,85	254,19	24,11	13,11
16	88,84	964,3	20,06	444,51	683,81	565,33	268,66	22,40	13,60
32	86,74	963,1	20,39	456,14	762,74	634,33	332,59	22,41	16,58
64	87,08	958,9	21,52	431,52	815,30	755,35	483,18	20,28	22,57
128	86,36	957,7	23,09	413,26	882,45	827,91	547,89	17,95	23,86
256	86,87	947,6	24,53	431,49	857,76	811,75	565,51	17,61	23,27
512	87,00	923,0	26,36	427,81	848,01	792,83	536,61	16,25	20,42
EPM	1,12	3,11	0,80	26,13	13,82	24,86	19,57	0,89	1,18
<i>P</i> -valor	<,0001	<,0001	<,0001	0,0076	<,0001	<,0001	<,0001	<0,0001	<,0001
Equação	$Y=86,72-4,16e^{-0,05X}$	$y = 965,6e^{-8 \times 10^{-05} x}$	$y=19,66-7,51(1-e^{-0,0043x})$	$y = 451,38$	$y=628,40-236,96(1-e^{-0,0236x})$	$y=492,45-325,58(1-e^{-0,0208x})$	$y=212,35-350,35(1-e^{-0,0178x})$	$y = 22,69e^{-0,0008x}$	$y=11,11-11,70(1-e^{-0,0259x})$
R ²	R ² =0,3038	R ² = 0,6998	R ² = 0,5269	-	R ² = 0,8166	R ² = 0,7907	R ² = 0,8476	R ² = 0,4767	R ² = 0,6396

EPM: Erro padrão da média. g kg⁻¹ MO= g kg⁻¹ na matéria orgânica.

4 DISCUSSÃO

4.1 Deposição de serapilheira

A maior deposição de serapilheira da leguminosa foi no monocultivo, o que impulsionou também a maior deposição de folhas para este mesmo sistema em comparação ao demais (Tabela 1). Isso se deve provavelmente ao maior adensamento das árvores no monocultivo, pois a população das árvores foi 5.000 plantas ha⁻¹, enquanto no silvipastoril somente 600 plantas ha⁻¹. Embora não avaliada, a influência do vento também pode ter contribuído para as menores deposições entre a fileira das árvores e a dois metros de distância, pois foi possível perceber *in loco* que o vento deslocava para áreas adjacentes parte da serapilheira que possivelmente iria cair nos coletores. Vale ressaltar que a deposição de galhos no monocultivo e entre as fileiras duplas não diferiu. Esse componente é mais pesado que folhas e possivelmente não sofreu efeito do vento.

No sistema silvipastoril, a deposição total e de folhas foi maior entre a fileira das árvores (0 m), resultado este que corrobora os de Silva (2015), que também identificou maiores deposições entre a fileira dupla das árvores, tanto de *Gliricidia sepium* (Jacq.), quanto de sabiá em sistema silvipastoril. No entanto, a deposição total de serapilheira da leguminosa no presente estudo é menor do que a relatada no trabalho do autor citado acima, que apresentou 18.615; 9.445 e 4.290 kg ha⁻¹, entre a fileira dupla, a 2m e a 3m, respectivamente. Isso pode estar relacionado ao menor tempo de implantação das árvores no sistema, pois a primeira coleta ocorreu com apenas um ano e oito meses após o plantio das árvores, enquanto os resultados da referida pesquisa são provenientes de árvores com cinco anos após o plantio.

Ao avaliar a deposição de serapilheira em dois sistemas agrossilvipastoris compostos por eucalipto (*Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*) e acácia (*Acacia mangium*) consorciadas com *Urochloa decumbens* Stapf., Freitas *et al.* (2013) também identificaram maior deposição de serapilheira quanto mais próximo da copa das árvores. Esses autores ainda acrescentam que a escolha do espaçamento de plantio em sistemas consorciados pode beneficiar a ciclagem de nutrientes advindos da serapilheira. No presente estudo, embora tenham sido estudadas apenas duas distâncias (entre a fileira dupla das árvores e a dois metros em relação à fileira dupla), devido ao pouco tempo do plantio das árvores, já foi possível identificar diferença, com maior deposição entre a fileira dupla das árvores que, conseqüentemente, também impulsionou as maiores concentrações de nutrientes nesse espaçamento.

A maior deposição total e de componentes da serapilheira ocorreu no período seco (Tabela 1). Espécies caducifólias como a *M. caesalpinifolia* perdem suas folhas durante a estação seca ou na transição do período chuvoso para o período seco, o que reduz suas taxas de transpiração e respiração. No entanto, no período de maior precipitação produzem folhas de baixo custo de energia e alta capacidade fotossintética (GONZÁLEZ-M *et al.*, 2019).

Ao avaliar a deposição anual de serapilheira *M. caesalpinifolia* em um sistema agroflorestal, Primo *et al.* (2021) relataram sua maior deposição no período de transição do período chuvoso para o período seco. Os resultados do presente estudo são consistentes com outros trabalhos que também identificaram maiores deposições de serapilheira no período seco (ALMEIDA; LUIZÃO; RODRIGUES, 2015; MOURA *et al.* 2016; PEREIRA *et al.*, 2017).

Com relação à composição química da serapilheira depositada, as maiores concentrações de matéria mineral, matéria orgânica, K e Ca que ocorreram no período seco (Tabela 2) pode estar relacionada ao maior aporte de serapilheira também nesse período (Tabela 1), decorrente do maior desenvolvimento da copa no período chuvoso. Sabe-se que altas precipitações pluviais podem provocar a lixiviação dos nutrientes minerais, o que pode ter contribuído para menores concentrações destes componentes no período chuvoso. Dentre os elementos mais lixiviados está o K, sobretudo por este elemento não fazer parte de nenhum componente estrutural da planta (ESPIG *et al.*, 2009), haja vista que houve maior participação de folhas na serapilheira depositada. Por outro lado, entre os menos lixiviados está o Ca, devido a sua baixa mobilidade no tecido vegetal e possível associação à lignificação e constituição da parede celular (SCHUMACHER *et al.*, 2004).

A concentração de C da serapilheira foi maior no período chuvoso, embora a deposição tenha sido menor nesse período (Tabela 1). A assimilação de C via fotossíntese ocorre em maior proporção no período chuvoso (MORAES *et al.*, 2017), o que pode ter contribuído para maior assimilação de C pelas folhas nesse período.

Como houve maior deposição de serapilheira no período seco, a maior contribuição dos nutrientes oriundos da serapilheira para o solo ocorreu também durante o período seco (Tabela 3). Este resultado pode estar relacionado a menor lixiviação dos nutrientes da serapilheira neste período, deixando, portanto, os nutrientes por mais tempo na biomassa e liberando para o solo mais lentamente. Além disso, foi neste período que ocorreram maiores teores de matéria mineral (Tabela 2) na serapilheira, o que pode ter influenciado também esse

resultado. O monocultivo no período seco foi o que apresentou as maiores contribuições, o que certamente foi devido também a maior deposição de serapilheira (Tabela 1).

É importante ressaltar que, independente do tratamento e do período do ano, é alta a contribuição dos nutrientes da serapilheira para o solo, mas apenas após a mineralização estes nutrientes estarão disponíveis para as plantas. Esses nutrientes poderão ser absorvidos novamente pelas por elas na forma de íons livres e usados em seus processos metabólicos (PADALIA *et al.*, 2015).

4.2 Decomposição de serapilheira

A ausência de diferenças na biomassa remanescente entre os tratamentos de ambas as espécies (Tabelas 4) pode indicar que as diferentes condições microambientais dos tratamentos não foram suficientes para influenciar a decomposição da serapilheira. No entanto, a biomassa remanescente diminui ao longo do tempo para ambas as espécies, ajustando-se ao modelo exponencial simples negativo (Figura 6). Esse padrão de diminuição da decomposição em função do tempo é comum na literatura (DUBEUX *et al.*, 2006a; HERRERA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2016; SILVA, 2015).

No último tempo de incubação (512 dias), a *U. decumbens* apresentou em média 30% de biomassa remanescente, ou seja, 70% de decomposição, enquanto na leguminosa restava cerca de 39% de biomassa remanescente e, portanto, 61% de decomposição. Além disso, observou-se que as maiores taxas de decomposição ocorreram até 128 dias para as duas espécies e, a partir daí, a decomposição foi mais lenta. É importante ressaltar que, além das características intrínsecas de cada espécie (composição química), vários outros fatores podem influenciar na deposição de serapilheira, tais como o ambiente, fatores químicos, físicos e biológicos (APOLINÁRIO *et al.*, 2016; BARBOSA *et al.* 2017).

Para o N remanescente na serapilheira entre os tratamentos das diferentes espécies (Tabelas 5 e 6), o comportamento foi diferente. Para a gramínea, a maior média foi para o monocultivo, enquanto a leguminosa apresentou menor média no monocultivo comparado aos demais tratamentos. No monocultivo da leguminosa foi possível perceber que as copas das árvores favoreciam menor radiação solar direta no solo e alta cobertura do solo pela serapilheira, contribuindo, portanto, na manutenção da umidade do solo e alta produção de energia via matéria orgânica para as bactérias, condições essas que contribuem para a perda de nitrogênio por desnitrificação (CARVALHO; ZABOT, 2012). Isso pode explicar a menor concentração desse elemento neste tratamento em comparação ao sistema silvipastoril entre as

fileiras duplas e a 2m destas, no qual provavelmente apresentavam menor umidade. No monocultivo da gramínea não havia a interferência da copa das árvores e, portanto, também deveria ter menor umidade.

A ausência das árvores no monocultivo de *U. decumbens* (Tabela 5), em que o impacto direto das partículas de água no solo possivelmente foi maior, aliado a altas temperaturas, pode ter influenciado a decomposição de C mais rapidamente. Apolinário *et al.* (2014) explicam que maiores precipitações pluviais também podem lixiviar o C de compostos mais solúveis.

A maior relação lignina/N remanescente da serapilheira da gramínea no sistema silvipastoril entre as fileiras duplas das árvores pode estar associada a menor concentração de N e maior valor de lignina também neste tratamento (Tabela 5). Essa alta relação pode ser um indicativo que a lignina é um dos compostos recalcitrantes predominantes no material (Freire *et al.*, 2010).

É possível que os altos valores de relação C/N a 2m da fileira dupla no sistema silvipastoril (Tabela 5) para a gramínea seja decorrente do distanciamento da fileira dupla das árvores, que possivelmente diminuiu a cobertura do solo pela serapilheira depositada pelas árvores, assim como a umidade do solo, contribuindo para aumento de materiais mais recalcitrantes. A maior relação C/N remanescente da serapilheira da leguminosa no monocultivo pode ser devido também ao menor valor de N para este mesmo tratamento (Tabela 6).

O N remanescente aumentou até determinado ponto ao longo do tempo de incubação, notadamente no início do período de incubação, em ambas as espécies (Tabelas 7 e 8). Esse aumento no teor N pode ser devido à aderência e imobilização do N pelos microrganismos do solo para decompor o material incubado. Compostos menos recalcitrantes, como açúcares solúveis e aminoácidos, são rapidamente mineralizados no início da incubação, enquanto a fração do N ligada à fibra é de difícil decomposição, resultando, portanto, em uma maior concentração do N na biomassa incubada ao longo do período de incubação (DUBEUX Jr. *et al.*, 2006a; FREIRE *et al.*, 2010). Siqueira *et al.* (2021) acrescentam ainda que outra explicação para o aumento na concentração de N na serapilheira com o passar do tempo de incubação é devido a outros fatores externos, como a deposição atmosférica, que, segundo eles, ocorrem principalmente nos períodos de maiores precipitações pluviais

A relação C/N do material remanescente de ambas as espécies diminuiu de forma exponencial à medida que aumentou o período de incubação (Tabela 8 e 9). Este resultado é

semelhante aos encontrados por Apolinário *et al.* (2014) e Herrera *et al.* (2020). Dubeux Jr *et al.* (2006b) citaram que a relação C/N diminui com o tempo de incubação devido às frações mais solúveis de carbono se decomporem mais rápido, diminuindo, assim, a relação. Por outro lado, Freire *et al.* (2010) mencionam que o decréscimo nessa relação pode contribuir no equilíbrio entre a mineralização e a imobilização dos nutrientes na serapilheira. A relação C/N da gramínea variou de 134,26 no momento da incubação a 40,65 aos 512 dias, enquanto na leguminosa foi de 22,45 a 16,25 aos 512 dias. A menor relação C/N da leguminosa de certa forma já era esperada, devido a sua alta concentração de N. Siqueira e Franco (1988) abordam que quando a serapilheira apresenta C/N superior a 30, o nitrogênio fica imobilizado, e como consequência há redução na disponibilidade de N-NH_4^+ (amônio) e N-NO_3^- (nitrito) no solo. Porém, quando a relação fica entre 20-30, os processos de imobilização e mineralização se igualam, tornando-se favorável a decomposição e liberação de nutrientes para o solo.

Os teores de matéria seca e orgânica na serapilheira da leguminosa, embora tenha diminuído de forma exponencial ao longo do período de incubação, apresentaram baixa decomposição, de 90,4 a 87,0 e 963,71 a 923,00 g kg^{-1} nos tempos 0 a 512 dias, respectivamente. A lenta decomposição da matéria seca e orgânica resulta em menor mineralização e liberação de nutrientes para o solo, contribuindo não só para a manutenção dos resíduos orgânicos na camada superficial do solo, mas também no favorecimento da biodiversidade edáfica, interações benéficas para o solo (HERREIRA, 2020; RAMOS *et al.*, 2018).

Para a leguminosa, a FDN, FDA, lignina e relação lignina/N aumentaram de forma exponencial, até certo ponto, de acordo com o tempo de incubação, ajustando-se à regressão exponencial positiva. Tratam-se de componentes da parede celular das plantas, ou seja, há em sua constituição maiores concentrações de moléculas não nitrogenadas (fibrosas) em detrimento de moléculas orgânicas (PESSOA *et al.*, 2020). Houve certa estabilização a partir de 128 dias. O processo de decomposição ocorre em duas fases, em que na primeira ocorre a deterioração mais rápida de materiais mais lábeis, como o amido, carboidratos simples, proteínas e açúcares, enquanto na segunda fase ocorre a decomposição mais lenta de matérias menos lábeis como é o caso da lignina. Isso explica o aumento dessas frações fibrosas (menos lábeis) com o passar do tempo de incubação (LIMA *et al.*, 2016). Dentre esses componentes, a lignina é uma das que apresenta maior resistência à decomposição, pois a produção de enzimas extracelulares para a degradação da lignina é altamente exigente em energia e sua produção limitada reduz a degradação da lignina (HERREIRA *et al.*, 2020;

KLOTZBUCHER, 2011). A relação lignina/N remanescente na serapilheira da leguminosa aumentou até 64 dias, estabilizando em seguida. Esta estabilidade pode ter ocorrido devido ao aumento na concentração de N (Tabela 9).

Embora não tenha sido estudado a deposição e a decomposição entre as espécies, foi possível perceber que as gramíneas e leguminosas possuem decomposição distintas, ou seja, lenta e rápida. Assim, a combinação destas no sistema silvipastoril pode possibilitar formação de matéria orgânica do solo mais estável e, assim, o retorno constante de nutriente no solo.

5 CONCLUSÃO

Os diferentes sistemas de cultivo, a distância das árvores e o período do ano influenciaram a deposição, a composição química e contribuição dos nutrientes para o solo da *Mimosa caesalpinifolia* Benth. A maior produção total e de folhas da serapilheira foram, respectivamente, para o monocultivo, entre a fileira dupla das árvores (0 m) e a 2 m.

A maior deposição de serapilheira ocorreu no período seco, independente dos sistemas, o que possivelmente influenciou também nos maiores teores de MO, matéria mineral, K e Ca da serapilheira e nas maiores contribuições de todos os nutrientes para o solo. O maior teor de C ocorreu no período chuvoso, possivelmente devido à sua assimilação ser mais eficiente nesse período. No período seco, as maiores contribuições de MS, matéria mineral, C, N e K foram, respectivamente, para o monocultivo, entre a fileira dupla das árvores (0 m) e a 2 m. A biomassa remanescente da gramínea e da leguminosa diminuiu à medida que aumentou o tempo de incubação. Ao final do período de incubação, a gramínea apresentou 30% de material remanescente, enquanto a leguminosa cerca de 39 %.

A composição química da serapilheira remanescente das diferentes espécies foi influenciada pelos sistemas de cultivo. Os diferentes tempos de incubação influenciaram a composição química da serapilheira remanescente de ambas as espécies, em que o teor de N e as frações fibrosas aumentaram, enquanto o teor de C e relação C/N diminuíram ao longo do tempo de incubação.

REFERÊNCIAS

ABREU, L.H.G. *et al.* Variation in soil carbon, nitrogen and microbial attrites within a silvopastoral system in Brazilian cerrado. **Agroforestry Systems**, v.96, n.6, pp.1-11, 2020.

ALMEIDA, E.J.; LUIZÃO, F.; RODRIGUES, D.J. Litterfall production in intact and selectively logged forests in southern of Amazonia as a function of basal area of vegetation and plant density, **Acta amazônica**, v.45, n.2, pp.157-166, 2015.

APOLINÁRIO, V.X.O. *et al.* Arboreal legume litter nutrient contribution to a tropical silvopasture. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, pp. 2478-2484, 2016.

APOLINÁRIO, V.X.O. *et al.* Litter Decomposition of Signalgrass Grazed with Different Stocking Rates and Nitrogen Fertilizer Levels. **Soil Fertility and crop nutrition**, v.106, n.2, pp.1-7, 2014.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis**. AOAC, Arlington, USA, 1990. 745p.

BARBOSA, V. *et al.* Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. **Revista Floresta e Ambiente**, v.24, pp. 1-9, 2017.

BARBOSA, V.V. *et al.* Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia e física**, v.9, n. 02, pp. 353-367, 2016.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Editora Universitária da UFRPE. Recife, 2011. 267p.

CASSART, B. *et al.* Average leaf litter quality drives the decomposition of single-species, mixed-species and transplanted leaf litters for two contrasting tropical forest types in the Congo Basin (DRC). **Annals of Forest Science**, v.77, n.2, p.33, 2020.

CAVALCANTI, F.J.A. *et al.* **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ª edição revisada**. Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, Recife, Brasil, 2008. 212p.

CARVALHO, N.L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente? **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.6, n.6, pp.960-974, 2012.

CHEN, C. *et al.* Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon: Implications for land use. **Geoderma**, v.299, pp.13-24, 2017.

DUBEUX Jr, J.C.B. *et al.* Litter decomposition and mineralization in bahia grass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, v.46, n.3, pp.1305-1310, 2006a.

DUBEUX Jr, J.C.B. *et al.* Litter mass, deposition rate, and chemical composition in bahiagrass pastures managed at different intensities. **Crop Science**, v.46, pp. 1299-1304, 2006b.

DUBEUX Jr., J. C. B. *et al.* Tree legumes: An underexploited resource in warm-climate silvopastures. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 8, pp. 689-703, 2017.

ESPIG, S.A. *et al.* Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de mata atlântica. **Revista árvore**, v.33, n.5, pp.949-956, 2009.

FREIRE, J.L. *et al.* Decomposição de serrapilheira em bosque de sabiá na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.8, pp.1659-1665, 2010.

FREITAS, E.C.S. Deposition of serapilheira and nutrients not only in agrossilvipastoral system with eucalyptus and acácia. **Revista árvore**, v.37, n.3, pp.409-417, 2013.

GONZÁLEZ-M, R. *et al.* Climate severity and land-cover transformation determine plant community attributes in Colombian dry forests. **Biotropica**, v.51, n.6, pp.826-837, 2019.

HERRERA, A.M. *et al.* Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) and arboreal vegetables in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v.94, pp.2213-2224, 2020.

HOOSBEEK, M.R. Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. **Agroforestry Systems**, v. 92, pp.263-273, 2018.

KLOTZBUCHER, T. *et al.* A new conceptual model for the fate of lignin in decomposing plant litter. **Ecology**, v.9, n.5, pp.1052-1062, 2011.

KRISHNA, M.P.; MOHAN, M. Litter decomposition in forest ecosystems: a review. **Energy, Ecology and Environment**, v.2, n.4, pp.236-249. 2017.

LIMA, N.B. Decomposition of cattle dung on grazed signalgrass (*Brachiaria decumbens* Stapf) pastures in monoculture or intercropped with tree legumes. **African Journal of Range & Forage Science**, p.1-8, 2016.

LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; AMMERMAN, C.B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, v.76, pp.1216- 1231, 1998.

MARTÍNEZ-ATENCIA, J. *et al.* Leaf litter decomposition in diverse silvopastoral systems in a neotropical environment. **Journal of Sustainable Forestry**, v.39, n.1, pp.1-20, 2020.

MORAES, Y.C.B. Análise do Sequestro de Carbono em Áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.4, 2017.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. I. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. Proceedings of the sixth international Grassland congress. **Anais...** Pennsylvania State College, Pennsylvania, 1952.

MOURA, M.M.S. *et al.* Produção de serapilheira e suas frações em área da Caatinga no Semiárido Tropical. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental & Sustentabilidade**, n.3, v, 5, p.199-209, 2018.

PADALIA, K. *et al.* Leaf litter decomposition of two Central Himalayan oaks. **Current World Environment**, v.10, n.2, pp.509-516, 2015.

PEREIRA, D.N. *et al.* Influência da remoção de serapilheira no teor de fósforo e potássio na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.3, pp.380-38, 2017.

PESSOA, D.V.P. *et al.* Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional value. **Journal of Arid Environments**, v.181, pp.1-8, 2020.

- PRIMO, A.A. *et al.* Litter production and nutrient deposition from native woody species in the Brazilian semi-arid region. **Agroforestry Systems**, v.95, pp.1459-1464, 2021.
- RAMOS, D.D. Decomposition in different species of legumes (Fabaceae). **Caderno de Agroecologia**, v.13, pp.1-8, 2018.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SCHUMACHER, M.V. *et al.* Produção de serapilheira em uma floresta de araucária angustifolia (bertol.) kuntze no município de Pinhal Grande - RS. **Revista Árvore**, v.28, n.1, pp.29-39, 2004.
- SENGER, C. C. D. *et al.* Evaluation of autoclave procedures for fiber analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 146, n.1-2, pp.169-174, 2008.
- SILVA, I.A.G. **Deposição e decomposição de serapilheira de leguminosas arbóreas consorciadas com *brachiaria decumbens* stapff**. 2015. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 96 f.
- SIQUEIRA, D. P. *et al.* Litter decomposition and nutrient release for two tropical N-fixing species in Rio de Janeiro, Brazil. **Journal of Forestry Research**, v.33, pp.487-496, 2021.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotechnologia do solo: fundamentos e perspectivas**. Lavras: ESAL/FAEP, 1988. 235p.
- SMITH, M.M. Silvopasture in the USA: A systematic review of natural resource professional and producer-reported benefits, challenges, and management activities. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.326, pp.1-15, 2022.
- SOLLENBERGER, L. *et al.* Reporting forage allowance in grazing experiments. **Crop Science**.v.45, n.3, pp. 896-900, 2005.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, pp. 3583-3597, 1991.
- XAVIER, F.A.S. *et al.* Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba – CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 30, n. 2, pp. 247-258, 2006.

CAPÍTULO III

Densidade, concentrações e estoques de C e N, biomassa microbiana e fracionamento da matéria orgânica do solo em sistema silvipastoril e monocultivos

Densidade, concentrações e estoques de C e N, biomassa microbiana e fracionamento da matéria orgânica do solo em sistema silvipastoril e monocultivos

RESUMO

Os sistemas silvipastoris são essenciais quando o objetivo é uma produção sustentável, na tentativa de superar os desafios de décadas de produção agrícola com práticas de alto impacto ambiental. Esses sistemas contribuem com a entrada de matéria orgânica, favorecimento dos microrganismos e consequentemente na ciclagem de nutrientes no solo. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a densidade do solo, as concentrações e os estoques de C e N, o fracionamento da matéria orgânica do solo, o carbono da biomassa microbiana do solo e a respiração basal do solo sob sistema silvipastoril com capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) e a leguminosa arbórea *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e em seus monocultivos. Na pastagem consorciada, as amostras de solo foram coletadas em três transectos perpendiculares às filas das árvores, obedecendo aos espaçamentos de 0,2, 4 e 6 metros de distância em relação às filas duplas, e nos monocultivos foram coletadas em três transectos aleatórios. As coletas de solo foram realizadas na implantação do sistema, que ocorreu 16 meses após o plantio das árvores (1º ano), um ano após a implantação (2º ano) e dois anos após a implantação (3º ano), nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm do solo. O monocultivo da leguminosa apresentou maiores concentrações e estoques de N em relação ao monocultivo da gramínea, porém não diferiu do sistema silvipastoril. No início da implantação do sistema silvipastoril, houve maior concentração do carbono microbiano no solo (419,09 mg kg⁻¹). A densidade do solo foi maior no 2º ano. No 3º ano após a implantação do sistema silvipastoril houve aumentos de 7,80; 7,57; 7,22 g kg⁻¹ para a concentração de C e de 9,18; 8,38; 14,18 Mg ha⁻¹ para os estoques de C em relação ao 2º ano nas camadas do solo. O quociente microbiano (q_{MIC}) foi maior no 2º ano, enquanto que o quociente metabólico (q_{CO_2}) foi maior no 3º ano. No geral, a utilização da leguminosa no sistema mostrou potencial de aumentar as concentrações e estoques de N no solo e, após três anos, de aumentar consideravelmente os níveis de estoques de C do solo. No entanto, pesquisas adicionais são necessárias para melhor avaliação da biomassa microbiana e da transferência de N no sistema silvipastoril a longo prazo.

Palavras-chave: Sistema integrado, Leguminosa forrageira, Indicadores microbiológicos, Microrganismos.

Density, concentrations and stocks of C and N, microbial biomass and fractionation of soil organic matter in silvopastoral and monoculturas systems

ABSTRACT

Silvopastoral systems are essential when the objective is sustainable production, in an attempt to overcome the challenges of decades of agricultural production with practices of high environmental impact. These systems contribute to the entry of organic matter, favoring microorganisms and, consequently, nutrient cycling in the soil. In this context, the objective of this work was to evaluate the contents and stocks of carbon and nitrogen, also the density, microbial biomass, and organic matter fractionations of soils from a silvopastoral system composed of palisade grass (*Urochloa decumbens* Stapf.) and sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.), as well as, their monocropping systems. Soil samples were collected in three transects perpendicularly allocated in the swards, distant 0, 2, 4, and 6 m from the double rows of trees. In the monocropping systems, transects were random. Soil samples were collected at the establishment of the silvopastoral system (16 months after tree planting = one year), one year later (two years), and two years later (three years), on soil layers of 0-10, 10-20, and 20-40 cm. Sabiá monocropping displayed greater contents and stocks of N compared to palisade grass pasture, but without differences regarding the silvopastoral system. At the establishment of the silvopastoral system, there was a greater content of microbial carbon in the soil (419.09 mg kg⁻¹). Soil density was greater in the the first year, while a reduction was verified in the second year, mainly at the 40-cm soil layer. In the second year, there were increases in C contents (7.80, 7.57, and 7.22 g kg⁻¹), and C stocks (9.18; 8.38; 14.18 Mg ha⁻¹) compared to the first year, in all soil layers. The microbial quotient (q_{MIC}) was higher in the second year, while the metabolic quotient (q_{CO_2}) was higher in the third year. In general, using sabiá in a silvopastoral system showed the potential to increase both contents and stocks of soil nitrogen, and after two years, to increase considerably carbon stocks. Nevertheless, further studies are necessary for better evaluations of the microbial biomass and N transfer in the system in long term.

Keywords: Integrated system, Forage legume, Biological indicators, Microorganisms.

1 INTRODUÇÃO

Um dos componentes mais importantes para a viabilidade dos sistemas agropecuários é o solo. Este é a base de sustentação de todo habitat vegetal e animal, que depende da interação de diversos fatores, tais como clima, microrganismos e tempo sob o material de origem, garantindo a sustentação da vegetação (SILVA *et al.*, 2020). Sistemas integrados de produção são essenciais quando o objetivo é uma produção sustentável, na tentativa de superar os desafios de décadas de produção agrícola com práticas de alto impacto ambiental e melhora da qualidade do solo (MARÇAL *et al.*, 2022; PULINA *et al.*, 2022).

No entanto, a conversão da vegetação nativa para urbanização, plantio de alimentos, o uso de monoculturas, falta de reposição de nutrientes (principalmente o N) ou adubação feita de forma errônea, altas taxas de lotação e o manejo inadequado das pastagens podem resultar na degradação destas e na perda de fertilidade do solo (ABREU *et al.*, 2020; ARYAL *et al.*, 2019; RATHER *et al.*, 2022; SALES *et al.*, 2019). Estima-se que 80% das pastagens cultivadas no Brasil encontram-se em algum estado de degradação e são incapazes de sustentar os níveis de produção e qualidade exigidos pelos animais (CORDEIRO *et al.*, 2015). Tais resultados podem alterar a quantidade e qualidade da matéria orgânica e, conseqüentemente, os indicadores biológicos do solo, como a biomassa microbiana (OBALUM *et al.*, 2017).

Um das alternativas que vem sendo alvo de várias pesquisas com o intuito de minimizar esses problemas e melhorar a qualidade do solo é a utilização de sistemas integrados (ABREU *et al.*, 2020; OLAYA-MONTES *et al.*, 2021), como os agroflorestais. Dentre as modalidades desses sistemas existe o sistema silvipastoril (SSP), o qual corresponde a um sistema agroflorestal com exploração na mesma área de árvores, pasto e animais, manejados de forma integrada. As interações da criação de animais e os diferentes tipos de vegetação que compõem esses sistemas contribuem para o aporte de matéria orgânica do solo, promovendo, portanto, o aumento e diversificação da microbiota do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Sistemas agroflorestais fornecem maior biomassa microbiana de carbono, atividade microbiana do solo e menor quociente metabólico em comparação a monoculturas (CAMELO *et al.*, 2021; SINGH *et al.*, 2018). A biomassa microbiana é considerada a parte viva e mais ativa do solo, sendo constituída principalmente por fungos e bactérias (VASQUES; LUSTRI; RAMARI, 2020). É responsável ainda pela decomposição da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes (Reis *et al.*, 2018). As propriedades microbianas e as frações da matéria orgânica

do solo estão sendo cada vez mais usadas como indicadores do solo, por serem sensíveis às mudanças do uso da terra (ALMEIDA *et al.*, 2021).

O consórcio de leguminosas com gramíneas em pastagens é importante, pois além da fixação biológica do nitrogênio pela simbiose com bactérias fixadoras de N₂, a deposição e decomposição da serapilheira das leguminosas são fontes importantes de nutrientes a serem reutilizados pelo sistema (APOLINÁRIO *et al.*, 2016; BARROS *et al.*, 2018). A *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. é uma leguminosa nativa do Brasil, conhecida vulgarmente por sabiá, que apresenta crescimento rápido e precoce, além de possuir grandes áreas de sombreamento, levando a uma melhor distribuição dos animais ao redor da pastagem, fornecendo, assim, diferentes formas de entrada de nitrogênio no solo (RODRIGUES *et al.*, 2014; APOLINÁRIO *et al.*, 2015).

Ao avaliar diferentes sistemas silvipastoris de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) com sabiá ou com gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud, nas distâncias 0, 4 e 8 m em relação a fileira dupla das árvores, Lira Jr *et al.* (2020) verificaram que os estoques de N aumentaram em todas as distâncias na profundidade de 0 a 10 cm, apresentando valores de 5,7 e 6,4 7 Mg ha⁻¹, no quarto ano após a implantação do experimento em comparação aos dois anos de implantação, que apresentou 2,0 Mg ha⁻¹ para ambos os sistemas consorciados e 2,5 Mg ha⁻¹ no monocultivo de capim-braquiária.

A quantificação das frações da matéria orgânica do solo, como fração leve e a fração pesada, é fundamental em sistemas silvipastoris, principalmente a primeira, por ser uma fração rica em carbono (cerca de 45%) e nitrogênio (cerca de 70%) (PRADO *et al.*, 2016), o que pode indicar melhor qualidade do solo.

A hipótese deste trabalho é que o sistema silvipastoril composto por *Urochloa decumbens* Stapf. e *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., em comparação aos seus respectivos monocultivos, apresente maiores concentrações e estoques de C e N, maior estimativa da biomassa microbiana e atividade respiratória, degradação mais eficiente da matéria orgânica, menor estresse metabólico e maiores valores das frações leve e pesada da matéria orgânica do solo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as concentrações e estoques de C e N, a atividade da biomassa microbiana e o fracionamento da matéria orgânica do solo nos diferentes sistemas citados acima.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local e descrição do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Garanhuns-PE, região Agreste de Pernambuco. Pela classificação de Köppen-Geiger, o clima é o tropical quente subúmido seco, referentes ao As', BShs' e Cs'a. A temperatura média anual de 22,8 °C, latitude 08°53'30"S e longitude 36°30'00"W e altitude de 842 m. A precipitação anual histórica média de 53 anos do município é de 866 mm (BARBOSA *et al.*, 2016). O solo da área experimental é classificado como Argissolo Amarelo, classe textural franco-argiloarenoso (SANTOS *et al.*, 2018).

Os dados mensais de precipitação e temperatura durante o período em que antecedeu a implantação do experimento (2018) e durante o experimento (março de 2019 a março de 2021) estão apresentados na Figura 1.

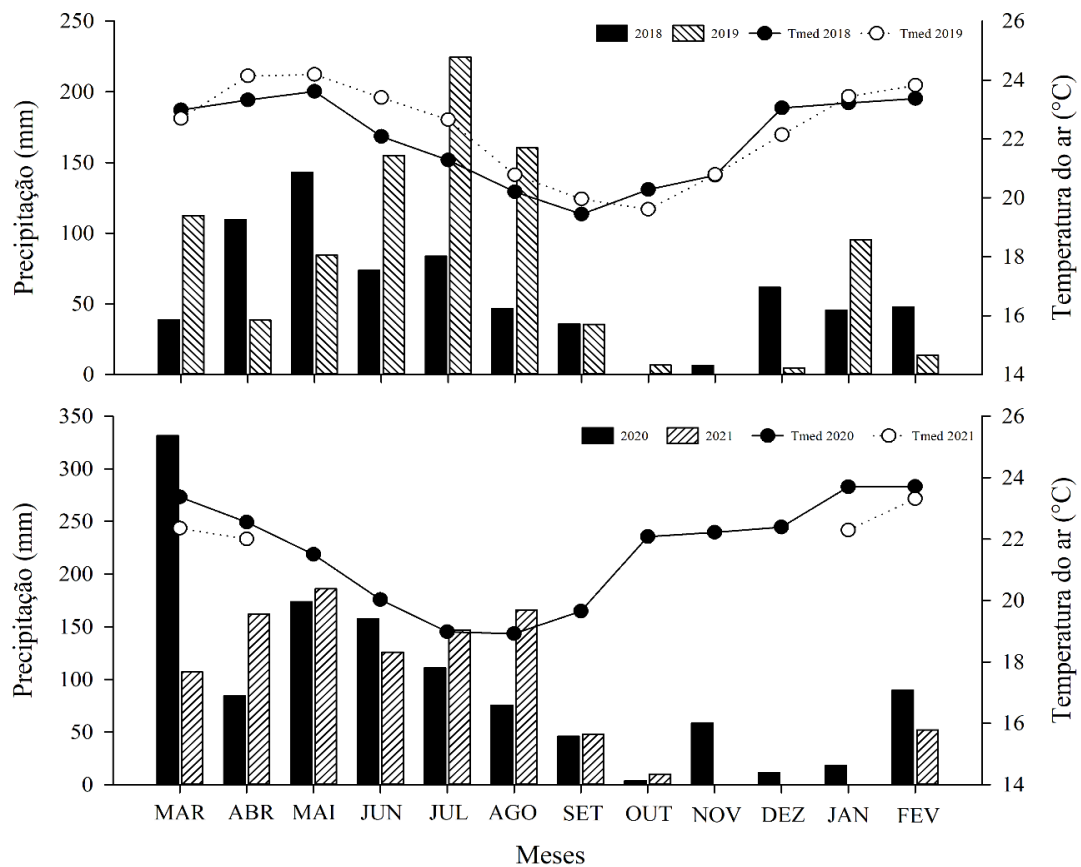


Figura 1. Dados mensais de precipitação pluvial e temperatura do ar média durante o período em que antecedeu a implantação do experimento (2018) e durante o experimento (março de 2019 a março de 2021).

Foram avaliados os seguintes sistemas: sistema silvipastoril de capim-braquiária (*Urochloa decumbens* Stapf.) com a leguminosa arbórea *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e os monocultivos da leguminosa e da gramínea. Foi utilizado delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

A pastagem de capim-braquiária foi formada em meados 1998. As mudas da leguminosa foram provenientes de um viveiro credenciado. Foram transplantadas para covas de 15 cm de diâmetro e 15 cm de profundidade, no sentido leste-oeste, em filas duplas espaçadas de 25,0 x 2,0 x 1,0 m em outubro de 2017, com alguns replantios em maio de 2018.

As parcelas experimentais que constituem o sistema SSP e o capim-braquiária em monocultivo possui área de 1 ha, enquanto o monocultivo de sabiá possui área de 600 m² (30m x 20m), seguindo os mesmos espaçamentos adotados nas filas duplas nas parcelas consorciadas. A população de árvores foi de 600 ha⁻¹ no SSP e de 5.000 ha⁻¹ no monocultivo de sabiá. Assim, a área experimental total apresentou cerca de 7,8 ha⁻¹.

Foram utilizados bovinos machos mestiços Holandês × Zebu com aproximadamente 170 ± 15 kg de peso corporal (PC), os quais foram distribuídos nas parcelas experimentais, sob lotação contínua e taxa de lotação variável (MOTT; LUCAS, 1952). A taxa de lotação foi ajustada a cada 28 dias em função da relação entre a massa de forragem e o peso corporal dos animais (SOLLENBERGER *et al.*, 2005), buscando-se a manutenção de uma oferta de forragem de 3 kg de MS de forragem verde por quilograma de PC. Água e mistura mineral foram disponibilizadas *ad libitum* em todos os piquetes. As estações de pastejo ocorreram de março de 2019 a janeiro/2020 e de agosto de 2020 a abril de 2021.

A análise de solos da área experimental apresentou as seguintes características (Tabela 1). A correção do solo foi realizada sessenta dias antes do plantio das mudas, utilizando calcário dolomítico (54,3% de carbonato de cálcio (CaCO₃) e 45,7% de carbonato de magnésio (MgCO₃), PRNT= 90%) em área total, na ordem de 2,5 t/ha. No momento do plantio foi realizada adubação com 30 kg K₂O ha⁻¹ (cloreto de potássio) e 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ (superfosfato simples), seguindo as recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação, com base nas recomendações para a cultura da leucaena *leucocephala* (Leucena) (CAVALCANTI, 2008).

Tabela 1. Características químicas do solo no início do experimento.

Tratamentos	pH (Água)	P Mg dm ⁻³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺¹	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺	SB	CTC	V %	m
			cmol _c dm ⁻³									
Monocultivo da gramínea	5,40	1,33	1,00	1,15	0,03	0,22	0,40	4,19	2,43	7,00	38,00	14,33
Monocultivo da leguminosa	5,37	1,67	0,93	1,03	0,03	0,22	0,30	2,78	1,33	4,37	20,33	11,00
Sistema silvipastoril	5,29	1,89	0,89	1,03	0,06	0,24	0,52	4,20	2,22	6,92	37,33	19,67

P:fósforo; Ca⁺²:cálcio; Mg⁺²: Magnésio; Na⁺: Sódio; K⁺:potássio; Al⁺³: alumínio; S⁻²: enxofre; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases, m:saturação por alumínio.

2.2 Amostragem e análise dos solos

As coletas de amostras de solo foram realizadas com o auxílio de trado holandês e ocorreu em três períodos: 16 meses após o plantio das árvores (1º ano), um ano após a coleta inicial (2º ano) e dois anos após a cólera inicial (3º ano), nas camadas de solo de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm do solo.

No sistema silvipastoril, as amostras de solo foram coletadas em três transectos perpendiculares às filas das árvores, obedecendo aos espaçamentos de 0, 2, 4 e 6 metros de distância em relação às filas duplas. Em cada transecto foram coletadas três amostras, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm em cada distância. Para as análises foi feita uma amostragem composta para cada profundidade nas distâncias em relação às filas duplas das árvores. Nos monocultivos, as amostras foram coletadas em três transectos aleatórios, sendo somente duas amostras compostas nas mesmas profundidades. As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e mantidas em isopor com gelo até o Laboratório de Forragicultura, no Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde permaneceram em refrigeração a 4°C, até o momento das análises.

Antes das análises, as amostras foram secas ao ar, homogeneizadas e passadas em peneiras de 2 mm para fazer uma parte das análises. Subamostras foram separadas e passadas em peneiras de 250 µm (60 mesh) para determinação das concentrações de carbono orgânico total (C) e nitrogênio total (N). O C foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via

úmida, utilizando-se solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, com fonte externa de calor (YEOMANS; BREMNER, 1988). O N foi obtido por meio de digestão ácida com ácido sulfúrico, seguida de destilação e titulação (TEDESCO, 1995).

A densidade do solo foi determinada pelo método da proveta (EMBRAPA, 1997). Os estoques de N e C foram calculados a partir das concentrações de N e C e dos valores de densidade do solo e das camadas do solo (Equação 1), conforme metodologia de Bernoux *et al.* (2002).

$$E = D_s \times A \times T$$

Em que: E= estoques de N ou C do solo convertidos em hectares ($Mg\ ha^{-1}$), D_s = densidade do solo ($g\ cm^{-3}$); A= camada do solo (cm) e T= teor total de N ou C do solo ($g\ kg^{-1}$).

A respiração basal do solo (RBS) foi avaliada pela quantificação de C-CO₂ liberado pela respiração microbiana, segundo a metodologia de Mendonça e Matos (2005). O carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) foi determinado pelo método de irradiação-extração (ISLAM; WEIL, 1998). O quociente metabólico (q_{CO_2}) foi calculado pela razão entre RBS e C_{mic} (ANDERSON; DOMSCH, 1993) e quociente microbiano (q_{MIC}) foi obtido pela razão entre C_{mic} e o C total. A relação C/N foi calculada pela razão entre as concentrações de C e N.

O fracionamento da matéria orgânica do solo em fração leve e fração pesada foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Meijboom *et al.* (1995) e adaptado por Dubeux Jr. *et al.* (2006).

2.3. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio de modelo misto com medidas repetidas no tempo (coletas) e efeito aleatório dos blocos experimentais, e foi realizada separadamente para cada profundidade de solo, por meio do *software* SAS® OnDemand for Academics, utilizando o PROC MIXED (LITTELL *et al.*, 1998), em duas análises distintas. A primeira considerou um arranjo de parcelas subdivididas, em que as parcelas principais foram constituídas pelo sistema silvipastoril e os monocultivos da gramínea e da leguminosa e as subparcelas pelas coletas (1º ano, 2º ano e 3º ano). A segunda análise considerou um arranjo de parcelas subdivididas, sendo as parcelas principais as quatro distâncias em relação às filas duplas das árvores (0, 2, 4, e 6 m) e as subparcelas as coletas.

Todas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

Os diferentes sistemas de cultivo não influenciaram a densidade do solo, a concentração e o estoque de C no solo. Todavia, influenciaram a concentração e estoque de N na camada de 20 a 40 cm. O monocultivo de sabiá apresentou maior concentração e estoque de N, em relação ao monocultivo da gramínea; no entanto, não diferiu do sistema silvipastoril (Tabela 2).

Tabela 2. Densidade (Ds), concentração e estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) do solo em áreas de pastagens sob diferentes sistemas de cultivo.

Sistema de cultivo	Ds g cm ⁻³	N		C	
		Concentração g kg ⁻¹	Estoque Mg ha ⁻¹	Concentração g kg ⁻¹	Estoque Mg ha ⁻¹
		0 a 10 cm			
Monocultivo de capim-braquiária	1,27	1,42	1,81	10,66	13,61
Monocultivo de sabiá	1,23	1,49	1,81	10,74	13,12
Sistema silvipastoril	1,32	1,52	1,99	11,34	14,79
EPM	0,04	0,10	1,16	0,94	1,54
<i>P-valor</i>	<i>0,3530</i>	<i>0,7973</i>	<i>0,3904</i>	<i>0,8606</i>	<i>0,4771</i>
10 a 20 cm					
Monocultivo de capim-braquiária	1,32	1,2	1,58	8,9	11,78
Monocultivo de sabiá	1,23	1,34	1,64	8,94	10,97
Sistema silvipastoril	1,30	1,27	1,64	9,74	12,47
EPM	0,04	0,08	0,13	0,83	1,37
<i>P-valor</i>	<i>0,3986</i>	<i>0,5274</i>	<i>0,9321</i>	<i>0,7303</i>	<i>0,7464</i>
20 a 40 cm					
Monocultivo de capim-braquiária	1,31	0,84B	2,22B	7,21	19,23
Monocultivo de sabiá	1,25	1,20A	3,00A	8,06	20,31
Sistema silvipastoril	1,32	1,03AB	2,69AB	8,28	20,74
EPM	0,04	0,07	0,15	0,67	2,69
<i>P-valor</i>	<i>0,5013</i>	<i>0,0134</i>	<i>0,0070</i>	<i>0,5080</i>	<i>0,9208</i>

EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Os diferentes sistemas de cultivos também não influenciaram a relação C/N, características microbiológicas e fracionamento da matéria orgânica do solo (Tabela 3).

Tabela 3. Respiração basal do solo (RBS), relação carbono/nitrogênio (C/N) carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), quociente microbiano (qMIC), O quociente metabólico (q CO₂), fração leve (FL) e fração pesada (FP) do solo, em áreas de pastagens.

qSistema de cultivo	RBS	C/N	C _{mic}	qMIC (%)	qCO ₂	Fracionamento MO	
	μg C-CO ₂ .g solo ⁻¹ .dia ⁻¹		mg.kg ⁻¹	%	μg C-CO ₂ .g ⁻¹ C _{mic} .dia ⁻¹	FL	FP
	g.kg ⁻¹						
	0 a 10 cm						
Monocultivo de capim-braquiária	28,48	7,59	261,81	2,68	0,13	2,52	307,82
Monocultivo de sabiá	32,51	7,59	355,76	4,03	0,09	3,11	380,12
Sistema silvipastoril	31,89	8,1	320,61	2,98	0,13	2,72	324,13
EPM	3,96	0,57	31,48	0,54	0,02	0,35	27,24
<i>P-valor</i>	0,7452	0,7677	0,1318	0,2177	0,4142	0,5036	0,1729
	10 a 20 cm						
Monocultivo de capim-braquiária	30,07	7,61	257,94	3,22	0,15	2,13	351,28
Monocultivo de sabiá	26,02	6,72	197,55	4,65	0,14	2,22	434,14
Sistema silvipastoril	27,84	8,46	252,42	2,94	0,10	1,84	366,07
EPM	3,38	0,65	38,13	0,88	0,22	0,22	32,06
<i>P-valor</i>	0,7037	0,1904	0,6654	0,3670	0,3902	0,4969	0,1784
	20 a 40 cm						
Monocultivo de capim-braquiária	26,21	8,71	256,36	4,05	0,13	1,73	382,29
Monocultivo de sabiá	24,05	7,14	261,81	4,84	0,11	1,68	460,24
Sistema silvipastoril	28,07	8,6	290,31	3,87	0,10	1,45	405,64
EPM	5,20	0,61	44,58	0,93	0,02	0,19	30,23
<i>P-valor</i>	0,8121	0,1559	0,8473	0,7422	0,7297	0,5611	0,2021

EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem (P<0,05) entre si pelo teste de Tukey.

Houve efeito significativo do ano de coleta para a densidade do solo, estoque de N, concentração e estoque de C (Tabela 4). Em relação à densidade do solo, o comportamento foi semelhante para as camadas de 0 a 10 e 20 a 40 cm, em que a coleta do segundo ano apresentou maior densidade em relação às demais coletas, que não diferiram entre si. Por outro lado, na camada de 10 a 20 cm, a coleta do segundo ano apresentou maior densidade em relação a coleta do primeiro ano.

Para o estoque de N, a coleta do segundo ano apresentou maior média em relação às demais coletas, que não diferiram em si, tanto na camada de 10 a 20 quanto na de 20 a 40 cm.

Em relação à concentração de C na camada de 0 a 10 cm, a coleta do segundo ano apresentou menor concentração em relação às demais, que não diferiram entre si. Porém, nas camadas de 10 a 20 cm e 20 a 40 cm o comportamento foi semelhante, com maiores médias para a coleta no terceiro ano, seguido da coleta no primeiro ano e por último a coleta no segundo ano.

Já para o estoque de C, todas as camadas do solo avaliadas apresentaram comportamento semelhante, havendo diferença significativa entre os três anos de coletas, com valores intermediários para a coleta do primeiro ano. Porém, na coleta do terceiro ano, o estoque de C mais que dobrou em todas as camadas em relação à coleta do segundo ano (Tabela 4).

Tabela 4. Densidade do solo (Ds), concentração e estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) em no sistema silvipastoril em diferentes anos de coleta do solo.

Coleta	ds	N		C	
		Concentração	Estoque	Concentração	Estoque
		g/cm ³	g/kg	Mg ha ⁻¹	g/kg
0 a 10 cm					
1º ano	1,2756B	1,54	1,93 B	11,60A	15,38B
2º ano	1,3657A	1,58	2,32 A	6,66B	9,90C
3º ano	1,323AB	1,30	1,72 B	14,46A	19,08 A
EPM	0,07	0,10	0,10	0,94	1,59
<i>P-valor</i>	<0,0001	0,1767	0,0001	<0,0001	<0,0001
10 a 20 cm					
1º ano	1,25B	1,27	1,54B	9,54B	13,68B
2º ano	1,34A	1,36	1,97A	5,23C	7,63 C
3º ano	1,29AB	1,18	1,41B	12,80A	16,01A
EPM	0,05	0,08	0,08	0,83	0,64
<i>P-valor</i>	0,0002	0,3494	<0,0001	<0,0001	<0,0001
20 a 40 cm					
1º ano	1,28B	0,91	2,42B	7,7B	22,78B
2º ano	1,36 A	1,17	3,20A	4,31C	12,63C
3º ano	1,28B	1,0	2,44B	11,53A	26,81A
EPM	0,04	0,07	0,14	0,67	1,58
<i>P-valor</i>	0,0147	0,0862	<0,0001	<0,0001	<0,0001

1º ano: 16 meses após o plantio das árvores, 2º ano: um ano após a primeira coleta, 3º ano: dois anos após a primeira coleta. EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Os diferentes anos de coleta influenciaram a relação C/N e as características microbiológicas do solo (Tabela 5). Na relação C/N, a coleta no terceiro ano apresentou maior relação ($P < 0,05$), seguidos da primeira coleta e por último da coleta no segundo ano, em todas as camadas avaliadas.

Para a RBS só houve diferença na camada de 10 a 20 cm, com maior média para terceira coleta, quando comparada às demais. Para o Cmic, na camada de 0 a 10 cm, a coleta no primeiro ano apresentou maior média em relação às demais, que não diferiram entre si.

Por outro lado, para o $qMIC$ houve diferença na camada de 20 a 40 cm com menor média para a coleta terceiro ano (2,20%) em comparação à segunda. O qCO_2 apresentou diferença nas camadas de 0 a 10 cm e 20 a 40 cm, com comportamento semelhante, em que os

valores na coleta do terceiro ano foram superiores à coleta do primeiro ano. A FL e FP não sofreu influência dos diferentes anos de coletas.

Tabela 5. Respiração basal do solo (RBS), Relação carbono e nitrogênio (C/N), carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), quociente microbiano ($qMIC$), quociente metabólico (qCO_2), fração leve (FL) e Fração pesada (FP) do solo, em áreas de pastagem em diferentes anos de coleta do solo.

Coleta	RBS	C/N	C_{mic}	$qMIC$	qCO_2	Frações da MO	
	$\mu g C-CO_2 g^{-1} solo^{-1} dia^{-1}$		$mg kg^{-1}$	(%)	$\mu g C-CO_2 g^{-1} C_{mic}^{-1} dia^{-1}$	FL	FP
g kg^{-1} MO							
0 a 10 cm							
1º ano	27,52	7,44B	419,09A	3,87	0,06 B	2,55	328,91
2º ano	26,23	4,20C	223,33B	3,76	0,13AB	2,99	354,73
3º ano	39,13	11,62A	295,76B	2,07	0,16A	2,82	328,43
EPM	3,96	0,57	31,48	0,55	0,02	0,35	27,2
<i>P-valor</i>	0,0641	<0,0001	0,0013	0,0578	0,0179	0,6747	0,7408
10 a 20 cm							
1º ano	21,50B	7,65B	304,24	3,68	0,08B	2,21	371,65
2º ano	24,54B	3,85C	217,92	4,93	0,14AB	2,07	404,93
3º ano	37,89A	11,32A	285,76	2,20	0,16A	1,92	374,91
EPM	3,38	0,65	38,13	0,88	0,22	0,22	32,06
<i>P-valor</i>	0,0070	<0,0001	0,2674	0,1226	0,0436	0,6693	0,7394
20 a 40 cm							
1º ano	20,03	8,71B	295,15	4,56AB	0,09	1,79	397,48
2º ano	26,8	3,83C	249,38	5,91A	0,11	1,65	444,5
3º ano	31,48	11,91A	263,94	2,29B	0,14	1,42	408,19
EPM	5,20	0,61	44,58	0,93	0,02	0,19	30,23
<i>P-valor</i>	0,3166	<0,0001	0,7626	0,0398	0,4406	0,4046	0,5567

1ºano: 16 meses após o plantio das árvores, 2º ano: um ano após a primeira coleta, 3º ano: dois anos após a primeira coleta. EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na coluna diferem ($P<0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

O estoque de N, a concentração e os estoques de C não diferiram nas diferentes distâncias em relação à fila dupla das árvores (Tabela 6). Porém, a densidade do solo, na camada de 0 a 10 cm, foi maior no meio da fila dupla que a de 6 metros de distância dela. Para a concentração de N, as maiores médias foram aos 4 e 6 metros em comparação ao meio da fila dupla (Tabela 6).

Tabela 6. Densidade (Ds), concentração e estoques de nitrogênio (N) e carbono (C) no sistema silvipastoril, em diferentes distâncias em relação à fila dupla das árvores.

Distância	Ds	N		C	
		Concentração	Estoque	Concentração	Estoque
		g cm ⁻³	g kg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹
0 a 10 cm					
0 m	1,36A	1,43	1,94	11,98	16,35
2 m	1,27B	1,46	1,87	10,66	13,34
4 m	1,32AB	1,59	2,08	11,53	14,9
6 m	1,32 AB	1,59	2,08	11,17	14,55
EPM	0,07	0,11	1,15	0,75	1,77
<i>P-valor</i>	<i>0,0325</i>	<i>0,6689</i>	<i>0,6722</i>	<i>0,6521</i>	<i>0,3248</i>
10 a 20 cm					
0 m	1,32	1,04B	1,38	9,96	13,03
2 m	1,27	1,33AB	1,68	9,99	12,68
4 m	1,28	1,34A	1,72	9,67	12,20
6 m	1,3	1,36A	1,77	9,32	11,96
EPM	0,05	0,13	0,14	0,98	0,87
<i>P-valor</i>	<i>0,2283</i>	<i>0,0206</i>	<i>0,2465</i>	<i>0,1631</i>	<i>0,7842</i>
20 a 40 cm					
0 m	1,32	0,93	2,47	8,13	21,28
2 m	1,3	1,04	2,72	7,74	19,70
4 m	1,31	1,09	2,87	7,77	20,35
6 m	1,31	1,03	2,69	8,3	21,63
EPM	0,03	0,08	0,21	0,67	1,50
<i>P-valor</i>	<i>0,5960</i>	<i>0,2602</i>	<i>0,5831</i>	<i>0,8103</i>	<i>0,3911</i>

0 m= distância 0 (entre a fila dupla das árvores), 2 m= distância 2, 4 m= distância 4, 6 m= distância 6. EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem ($P < 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

As diferentes distâncias em relação à fila dupla das árvores só influenciaram a relação C/N na camada de 10 a 20 cm, em que a maior média foi no meio da fila dupla e a menor a 6 m de distância das leguminosas (Tabela 7).

Tabela 7. Respiração basal do solo (RBS), Relação carbono e nitrogênio (C/N), carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), quociente microbiano (qMIC), quociente metabólico (*q*CO₂), fração leve (FL) e fração pesada (FP) do solo, no sistema silvipastoril em diferentes distâncias em relação à fila dupla das árvores.

Distâncias	RBS	C/N	C _{mic}	qMIC	qCO ₂	Fracionamento MO	
	μg C-CO ₂ g solo ⁻¹ dia ⁻¹		mg kg ⁻¹	%	μg C-CO ₂ g ⁻¹ C _{mic} dia ⁻¹	FL	FP
g kg ⁻¹							
0 a 10 cm							
0 m	35,57	9,61	323,64	2,78	0,15	2,79	327,37
2 m	29,22	8,15	328,48	3,93	0,09	2,80	319,29
4 m	34,0	7,37	311,52	2,74	0,14	2,77	317,43
6 m	28,75	7,28	318,79	3,19	0,13	2,53	332,42
EPM	4,42	0,75	56,99	0,64	0,03	0,31	38,6
P-valor	0,6249	0,1376	0,9971	0,5460	0,6131	0,9162	0,9918
10 a 20 cm							
0 m	30,25	10,86A	250,91	2,55	0,13	1,66	382,33
2 m	27,65	8,16AB		2,48	0,15	1,8	366,02
4 m	27,08	7,8AB	271,52	3,28	0,13	1,88	361,96
6 m	26,40	7,12C	263,03	3,46	0,14	2,04	353,98
EPM	4,52	1,03	37,90	0,64	0,03	0,22	61,34
P-valor	0,7872	0,0328		0,3292	0,8945	0,5506	0,3221
20 a 40 cm							
0 m	26,99	9,97	242,64	3,21	0,15	1,5	395,96
2 m	23,43	7,84	215,76	3,1	0,13	1,39	402,4
4 m	26,22	7,27	286,06	3,91	0,12	1,41	414,4
6 m	28,64	8,54	273,95	3,75	0,10	1,57	397,48
EPM	6,42	0,95	59,69	0,70	0,03	0,23	66,70
P-valor	0,8679	0,2294	0,6704	0,6023	0,5560	0,9443	0,7971

0 m= distância 0, 2 m= distância 2, 4 m= distância 4, 6 m= distância 6. EPM: Erro padrão da média. Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna diferem (P<0,05) entre si pelo teste de Tukey.

4 DISCUSSÃO

O estabelecimento do sistema silvipastoril avaliado é recente (em torno de 3,3 anos de implantação), o que provavelmente explica a ausência de efeito significativo sobre a maioria das variáveis estudadas entre os sistemas de cultivo. Embora, não tenha ocorrido diferença significativa entre os sistemas, para o *q*CO₂ (Tabela 3), os valores estão abaixo de 1, o que indica menor gasto de energia com o uso de carbono orgânico disponível (CAMELO *et al.*, 2020).

De acordo com Silva *et al.* (2010), baixos valores de $q\text{CO}_2$ refletem ambientes mais estáveis ou mais próximos do seu estado de equilíbrio e, ao contrário, valores elevados são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio. Por outro lado, Guimarães *et al.* (2017) citam que valores elevados de $q\text{CO}_2$ poderiam ser um indicativo de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento e com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos.

A diferença nas concentrações e estoques de N entre os diferentes sistemas de cultivo, com maior valor para o monocultivo de sabiá em comparação ao de braquiária na camada de 20 a 40 cm (Tabela 2), pode ter sido devido fixação biológica de nitrogênio, por meio da simbiose dessas leguminosas com bactérias do solo. Santana Neto *et al.* (2015) citam que o sabiá possui a capacidade de estabelecer associações com bactérias fixadoras de nitrogênio. Apolinário *et al.* (2015) identificaram altas concentrações de N fixado biologicamente em folhas de Sabiá, com médias de 97 kg de $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ em agosto 2012 e 121 kg de $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ em agosto de 2013 (período chuvoso) e de 30 kg de $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ em fevereiro de 2012 e 43 kg de $\text{N}\cdot\text{ha}^{-1}$ em fevereiro de 2013 (período seco).

O solo da coleta do segundo ano apresentou maior densidade em comparação à primeira coleta nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, assim como menores concentrações e estoques de C em relação às demais coletas em ambas as camadas (Tabela 4). A coleta do segundo ano ocorreu após a primeira estação de pastejo, o que pode ter contribuído para tal resultado, já que resultou no consumo de grande parte da forragem disponível e pisoteio do solo, e conseqüentemente na diminuição da cobertura e na matéria orgânica do solo (MOS). Como a MOS é fonte de grande parte do carbono orgânico do solo (WEIGLEIN *et al.*, 2022), a sua diminuição pode resultar também no declínio da concentração e nos estoques de C.

Associado também às características citadas acima também estão os baixos índices pluviométricos nos meses em que antecederam a coleta (Figura 1). Esses fatores provavelmente contribuíram para diminuir a cobertura do solo, assim como o sistema radicular das plantas e no aumento da densidade do solo. Guimarães *et al.* (2017) mencionam que maiores valores de densidade (acima de 1,2) podem indicar uma possível compactação do solo. Além disso, a maior densidade do solo pode estar associada a outras propriedades físicas do solo que influenciam diretamente o crescimento de raízes, como a aeração e a resistência do solo à penetração das raízes (CORRECHEL; SILVA; TORMENA, 1999).

Houve maior estoque de N no solo no segundo ano (Tabela 4). Portanto percebe-se que mesmo que o estoque de C tenha diminuído, o estoque de N aumentou no segundo ano; este resultado pode ser devido ao maior tempo da leguminosa no sistema e, conseqüentemente, à melhor adaptação e simbiose das bactérias fixadoras de N.

A menor relação C/N no segundo ano pode ser atribuído ao aporte de serapilheira de baixa relação C/N (21) da leguminosa (HERREIRA *et al.*, 2020), nos meses que antecederam a coleta, os quais apresentaram baixas precipitações (Figura 1). Como mecanismo para minimizar a perda de água por evapotranspiração, essas árvores perdem suas folhas geralmente no período seco ou no final da estação chuvosa (ALONSO *et al.*, 2015; CAMELO *et al.*, 2021). No trabalho desenvolvido por Giacocomo *et al.* (2017) foi verificado maior deposição de serapilheira de sabiá, no período de baixa precipitação.

O Cmic apresentou maior valor no primeiro ano (Tabela 5), na camada de 0 a 10 cm, antes do efeito do pastejo pelos animais, ou seja, havia grande quantidade de resíduos vegetais, assim como baixo efeito do pisoteio no solo, o que possivelmente favoreceu o maior Cmic nessa coleta, sendo reflexo também da maior concentração de C no solo. Isso também refletiu nos menores valores para o qCO_2 na camada de 0 a 10 cm para esta mesma coleta, indicando um equilíbrio da microbiota nesse período. Ao avaliar sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas, Camelo *et al.* (2020) associaram também a maior concentração de Cmic a maior deposição de serapilheira.

A maior RBS na camada de 10 a 20 cm no terceiro ano pode indicar maior atividade microbiana devido ao maior aporte de substratos orgânicos e também de raízes de ambas as espécies nos sistemas, que pode ter contribuído para uma rápida mineralização pelos microrganismos. Alto valor de RBS pode significar rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas ou pode ser indicativo de estresse sobre a biomassa pela perturbação do solo, principalmente pelo uso de máquinas, implementos agrícolas e pastejo (MATIAS *et al.*, 2009; TU *et al.*, 2006).

Quanto ao $qMIC$, que representa o quanto de C orgânico, está imobilizado pela biomassa microbiana, o maior valor, na camada de 20 a 40 cm no segundo ano em comparação ao terceiro ano (Tabela 5), pode indicar menor aporte de resíduos, tanto de serapilheira, quanto de matéria vegetal viva acima do solo fez com que a biomassa microbiana imobilizasse o C, ficando temporariamente indisponível para as plantas. No entanto, os valores para todas as coletas encontram-se acima daquele que indica que existe algum fator

limitante à atividade microbiológica no solo, que é de 1% (JAKELAITIS *et al.*, 2008). Além disso, é importante destacar que o C indisponível para as plantas temporariamente também tem pontos positivos, pois nesse caso está ocorrendo o estoque de C no solo, que posteriormente poderá ser utilizado pelas plantas.

As diferentes distâncias em relação à fileira das árvores influenciaram a densidade do solo, com maior valor para a distância 0 em relação à distância de 6 metros; este resultado pode ser devido ao maior aporte de serapilheira depositada pelas árvores neste ponto. Guimarães *et al.* (2017) mencionam que a cobertura vegetal reduz a incidência da radiação solar e favorece a umidade do solo e conseqüentemente o aumento da densidade do solo (BERGAMIM *et al.*, 2010).

As maiores concentrações de N foram encontradas mais distantes da fileira dupla das árvores (a partir de 4 m) (Tabela 6). Este resultado foi diferente dos obtidos por alguns autores em sistemas silvipastoris com eucalipto como componente arbóreo, que apresentaram maiores concentrações entre a fileira dupla ou quanto mais próximo da fileira dupla (ABREU *et al.*, 2020; BORGES *et al.* 2019; GUILLOT *et al.*, 2019). No entanto, o que pode ter contribuído para este resultado foi a deposição de serapilheira e resíduos orgânicos um pouco mais distante da fila dupla da leguminosa, uma vez que embora o sistema seja relativamente novo, as árvores já possuíam um bom desenvolvimento da copa.

De acordo com Lira Jr *et al.* (2020), a sombra provocada pela cobertura do sabiá tem efeito direto na distribuição da serapilheira. Além disso, certamente houve uma contribuição dos resíduos pela gramínea tanto acima do solo, quanto abaixo, principalmente pelas raízes. Loss *et al.* (2011) relataram que a *Urochloa decumbens* possui sistema radicular bem desenvolvido, o que favorece a agregação do solo e maior aporte de matéria orgânica pelo sistema radicular.

A maior relação C/N entre a fila dupla da leguminosa também pode explicar a menor concentração de N neste ponto. Isso pode estar relacionado à baixa relação C/N da leguminosa (CAMELO *et al.*, 2021), que possivelmente favoreceu rápida decomposição e mineralização da serapilheira pelos microrganismos, levando à rápida dispersão do N no solo e, conseqüentemente, deixando uma maior proporção de resíduos mais recalcitrantes de difícil decomposição e lenta liberação de nutrientes para o solo.

O fracionamento da matéria orgânica do solo não sofreu influência de nenhum dos fatores estudados, o que pode estar associado à alta estabilidade da matéria orgânica entre os

sistemas. No entanto, os valores obtidos na fração leve no presente estudo (Tabelas 2, 3 e 4), são maiores que os identificados por Lima *et al.* (2018) em dois sistemas silvipastoris na profundidade de 0 a 20 cm, nos quais um era composto com capim-braquiária e Sabiá e apresentou 0,064 g/kg, enquanto o outro composto de capim-braquiária e *Gliricidia sepium* (Jack) apresentou 0,045 g/kg.

É importante ressaltar que a concentração e os estoques de N no sistema silvipastoril não diferiu do monocultivo de sabiá. Além disso, não houve efeito entre os sistemas para grande parte variáveis avaliadas. No entanto, este resultado indica que a inclusão do sistema silvipastoril foi importante, pois certamente contribuiu com vários outros serviços ecossistêmicos, como a produção de madeira, sequestro de C, conforto térmico aos animais, produção de serapilheira, etc. No entanto, para a obtenção de melhores resultados, que possivelmente refletirá na planta e animal é preciso continuidade da avaliação das características avaliadas ao longo do tempo, assim como também outras variáveis que incrementem os efeitos da leguminosa em vários outros serviços ecossistêmicos.

5 CONCLUSÃO

A atividade da biomassa microbiana e a matéria orgânica do solo não foram afetados pelos sistemas de cultivo.

A utilização da leguminosa aumentou a concentração e o estoque de N no solo sob monocultivo de sabiá e sistema silvipastoril, evidenciando sua capacidade de adaptação e sua contribuição para a qualidade do solo, sobretudo no armazenamento deste nutriente.

Após três anos de implantação do sistema silvipastoril houve diminuição da densidade do solo e aumento das concentrações e estoques de C orgânico do solo até 40 cm, destacando o potencial de armazenamento deste elemento adicional ao longo do tempo. No entanto, pesquisas adicionais nesse sistema são necessárias para avaliação da biomassa microbiana e transferência de N no sistema, a longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABREU, L.H.G. *et al.* Variation in soil carbon, nitrogen and microbial attrites within a silvopastoral system in Brazilian cerrado. **Agroforestry Systems**, v.96, n.6, pp.1-11, 2020.

- ALMEIDA, L.L.S. *et al.* Soil carbon and nitrogen stocks and the quality of soil organic matter under silvopastoral systems in the Brazilian Cerrado. **Soil e Tillage Research**.v. 205, pp.1-10, 2021.
- ALONSO, J.M. *et al.* Litter input after establishment in areas of forestry reclamation, at different planting spacing. **Ciência Florestal**, v. 25, pp. 1-11. 2015.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO_2) 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.25, n.3, pp.393-395, 1993.
- APOLINÁRIO, V.X.O. *et al.* Arboreal legume litter nutrient contribution to a tropical silvopasture. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, pp. 2478-2484, 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, pp.1915-1921, 2015.
- ARYAL, D.R. *et al.* Carbon stocks and tree diversity in scattered tree silvopastoral systems in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, v.93, n.1, pp.213-227, 2019.
- BARBOSA, V.V. *et al.* Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia e física**, v.9, n. 02, pp. 353-367, 2016.
- BARROS, F.M.R. *et al.* Silvopastoral systems drive the nitrogen-cycling bacterial community in soil. **Ciência e Agrotecnologia**, v.42, n.3, pp.281-290, 2018.
- BERGAMIN, A. C. *et al.* Compactação em um latossolo vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.34, pp.681-691, 2010.
- BORGES, W.L.B.; CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. 20. Impact of crop-livestock-forest integration on soil quality. **Agroforestry Systems**, v.93, n.6, pp.2111-2119, 2019.
- BERNOUX, M. *et al.* Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, n.3, pp.888-896, 2002.
- CAMELO, D. *et al.* Soil microbial activity and biomass in semiarid agroforestry systems integrating forage cactus and tree legumes. **Agronomy**.v.11, n.8, pp.1558, 2021.
- CAVALCANTI, F.J.A. *et al.* **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ª edição revisada.** Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, Recife, Brasil, 2008, 212p.
- CORDEIRO, L. A. M. *et al.* Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégia para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.32, n.1/2, pp.15-53, 2015.

CORRECHEL, V.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.23, pp.165-173, 1999.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B. *et al.* Litter Mass, Deposition Rate, and Chemical Composition in Bahiagrass Pastures Managed at Different Intestines. **Crop Science**, v.46, n.6, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

GIÁCOMO, R.G. Deposição de serapilheira e carbono em plantios de sabiá, andiroba e floresta secundária. **Floresta**.v.47, n.2, pp. 186-196, 2017.

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

GUILLOT, E. *et al.* With or without trees: Resistance and resilience of soil microbial communities to drought and heat stress in a Mediterranean agroforestry system. **Soil Biology and Biochemistry**, v.129, pp. 122-135, 2019.

HERRERA, A.M. *et al.* Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) and arboreal vegetables in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**.v.94, pp.2213-2224, 2020.

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, pp. 408-416, 1998.

JAKELAITIS, A. *et al.* Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38n.2, pp.118-127, 2008.

LIRA JUNIOR, M.A. *et al.* Legume-based silvopastoral systems drive C and N soil stocks in a subhumid tropical environment. **Catena**, v.189, 2020.

LIMA, H.N.B. *et al.* Soil attributes of a silvopastoral system in Pernambuco Forest Zone. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 6, n.1, pp.15-25, 2018.

LITTELL, R.C.; HENRY, P.R.; AMMERMAN, C.B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. **Journal of Animal Science**, v.76, pp.1216-1231, 1998.

LOSS, A. *et al.* Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, pp. 1269-1276, 2011.

MATIAS, M.C.B.S. *et al.* Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum**, v.31, n.3, pp.517-521, 2009.

MARÇAL. M.F.M. *et al.* Potential Use of Quartzipsamment under Agroforestry and Silvopastoral System for Large-Scale Production in Brazil. **Agronomy**, v.12, n.900, 2022.

MEIJBOOM, F.W., HASSINK, J., VAN NOORDWIJK, M. 1995. Density fractionation of soil macro organic matter using silica suspensions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, pp.1109-1111, 1995.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. I. The design, conduct, and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. Proceedings of the sixth international Grassland congress. Anais...Pennsylvania State College, Pennsylvania, 1952.

OBALUM, S.E. *et al.* Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. **Environmental Monitoring and Assessment**.v.189, n.176, pp. 32-50, 2017.

OLAYA-MONTES, A. *et al.* Restoring soil carbon and chemical properties through silvopastoral adoption in the Colombian Amazon region. **Land Degradation & Development**, v.32, n.13, 2021.

OLIVEIRA, W.R.D. *et al.* Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, pp.1501-1510, 2016.

PRADO, M.R. *et al.* Organic carbon and total nitrogen in the densimetric fractions of organic matter under different soil management. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, pp. 263-273, 2016.

PAULINA, A. *et al.* Tree cover influences the soil C balance in Mediterranean cork oak-based silvopastoral systems. **Soil and Tillage Research**, v.215, pp.1-13, 2022.

RATHER, R.A. *et al.* Impact of Anthropogenic Pressure on Physico-chemical Characteristics of Forest Soils of Kashmir Himalaya. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, pp.1-10, 2022.

RODRIGUES R.D.; FREIRE A.L.O.; NETO J.H.N. Uso de rejeitos de mineração e materiais orgânicos na composição de substrato para produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.). **Engenharia Ambiental**, v.11, n.1, pp.16-27, 2014.

SALES. K. C. *et al.* What is the maximum nitrogen in marandu palisadegrass fertilization? **Grassland Science**, V. 66, n.3, 2019.

SANTANA NETO, J.A.; OLIVEIRA, V.S.; VALENÇA, R.L. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar para ovinos no semiárido – revisão. **Revista de Ciências Agro veterinárias**, v.14, n.2, pp.191-200, 2015.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, A.M. *et al.* Restoring soil carbon and chemical properties through silvopastoral adoption in the Colombian Amazon region. **Land Degradation and Development**, v.32, n.4, 2020.

SILVA, R.R. *et al.* Soil biomass and microbial activity under different management systems in the physiographic region Campos das Vertentes - Minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.34, pp. 1585-1592, 2010.

SINGH, R. *et al.* Soil microbial characteristics in sub-tropical agro-ecosystems of North Western Himalaya. **Current Science**, v.115, n.10, 2018.

SOLLENBERGER, L. *et al.* Reporting forage allowance in grazing experiments. **Crop Science**.v.45, n.3, pp. 896-900, 2005.

TEDESCO, M.J. *et al.* **Análises de solo, plantas e outros materiais**. UFRGS, Porto Alegre, 1995.174p.

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 & biochemistry**, v.38, n.2, pp. 247-255, 2013.

VASQUES, N.C.; LUSTRI, B.M.; RAMARI, T.O.L. Resposta da biomassa microbiana a diferentes corretivos de solo. **Revista Aero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n.7, pp. 161-169, 2020.

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, pp.1-13, 2018.

WEIGLEIN, T.L. *et al.* Key predictors of soil organic matter vulnerability to mineralization differ with depth at a continental scale. **Biogeochemistry**,157, pp.87-107, 2022.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, pp.1446-1476, 1988.

Apêndices

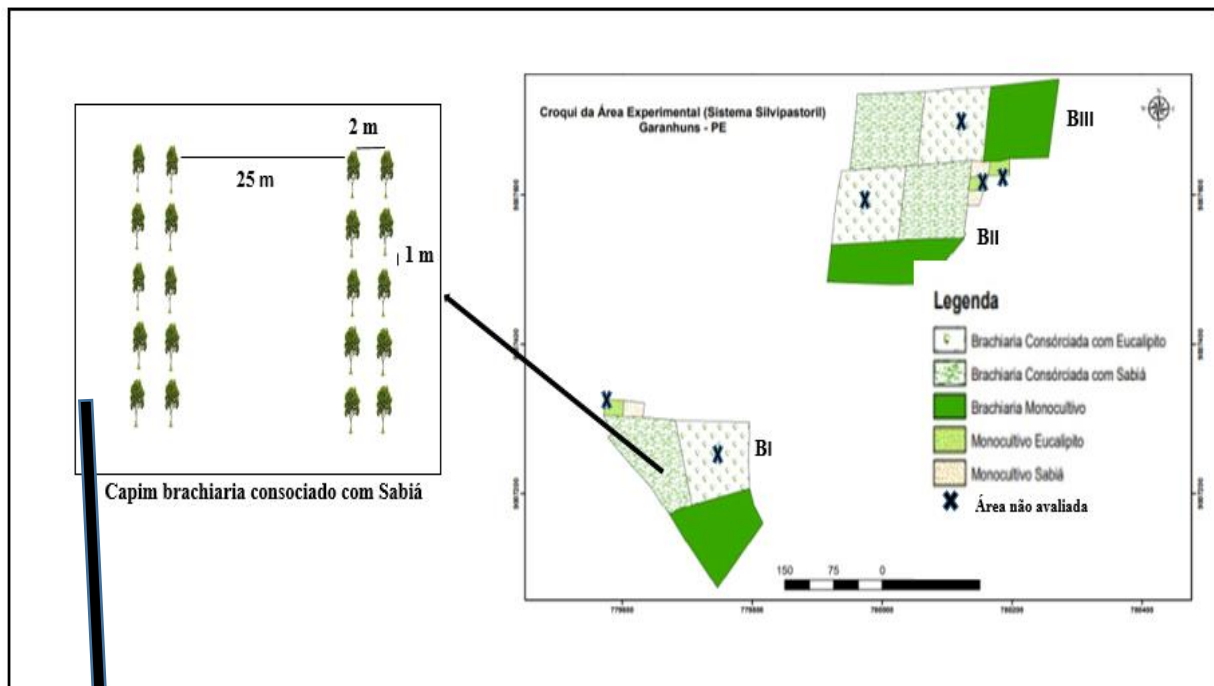


Figura 1. Detalhamento da parcela consorciada de *Urochloa decumbens* Stapf R. D. Webster com *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth durante o estabelecimento.



Figura 2. Parcela consorciada de *Urochloa decumbens* Stapf R. D. Webster com *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth durante o pastejo no período chuvoso.



Figura 3. Parcela consorciada de *Urochloa decumbens* Stapf R. D. Webster com *Mimosa caesalpinifolia* Benth durante o período seco.



Figura 4. Parcela de *Urochloa decumbens* Stapf R. D. Webster sob monocultivo no período seco e chuvoso, respectivamente.



Figura 5. Parcela de *Mimosa caesalpinifolia* Benth durante o estabelecimento no período chuvoso.



Figura 6. Coleta de solos nas parcelas experimentais